



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA 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**

Ricardo Esaú Cardona González

Asesorado por Mtra. Ana Lucía Martínez Arriola

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA 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.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Federico Mijangos Martínez
EXAMINADORA	Inga. Sindy Massiel Godínez de Davila
SECRETARIO	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 ESTADÍSTICO 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.

Ricardo Esaú Cardona González



EEPFI-PP-2025-2022

Guatemala, 12 de noviembre de 2022

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

Estimado Ing. Urquizú

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **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.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Área de Operaciones - Optimización de operaciones y procesos**, presentado por el estudiante **Ricardo Esaú Cardona González** carné número **200915155**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Gestion Industrial.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Ana Lucia Martinez Arriola
Maestra en Gestión de Mercados
Eléctricos Regulados
Col. 15072

Mtra. Ana Lucia Martinez Arriola
Asesor(a)

Mtro. Hugo Humberto Rivera Perez
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIMI-1670-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **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.**, presentado por el estudiante universitario **Ricardo Esaú Cardona González**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, noviembre de 2022



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.043.2023

La Decana 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 Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA 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**, presentado por: **Ricardo Esaú Cardona González**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Aurelia Anabeia Cordova Estrada

Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

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.
- Amigos** David de la Cruz, Carlos González, Oscar Tercero 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
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS	17
5.1. General.....	17
5.2. Específicos	17
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	19
7. MARCO TEÓRICO.....	25
7.1. ¿Qué es un problema en mantenimiento?.....	25
7.2. Aspectos generales del mantenimiento	25
7.2.1. ¿Cuál es el objetivo del mantenimiento?	27
7.2.2. ¿Qué es un problema en mantenimiento?.....	27
7.2.3. ¿Qué es una falla en mantenimiento?	28
7.2.4. ¿Qué es una causa en mantenimiento?	29
7.2.5. ¿Qué es una acción en mantenimiento?	29
7.3. Tipos de mantenimiento	29

7.3.1.	Mantenimiento correctivo	30
7.3.1.1.	Ventajas del mantenimiento correctivo	30
7.3.1.2.	Desventajas del mantenimiento correctivo.....	31
7.3.2.	Mantenimiento preventivo	32
7.3.2.1.	Mantenimiento periódico	33
7.3.2.2.	Mantenimiento programado.....	34
7.3.2.3.	Mantenimiento de mejoras	34
7.3.2.4.	Mantenimiento autónomo	34
7.3.2.5.	Mantenimiento rutinario	35
7.3.3.	Mantenimiento predictivo.....	35
7.4.	Criticidad en activos fijos.....	36
7.4.1.	¿Qué es el riesgo?	37
7.4.2.	Análisis de criticidad.....	37
7.4.3.	Confiabilidad.....	38
7.4.4.	Disponibilidad	38
7.4.5.	Fiabilidad	39
7.4.6.	Mantenibilidad	39
7.5.	Técnicas de análisis.....	39
7.5.1.	Métodos de análisis de criticidad.....	40
7.5.1.1.	Método de Ciliberti	40
7.5.1.2.	Norsok standard Z-008.....	44
7.5.2.	Análisis de riesgo	46
7.5.2.1.	Técnicas cualitativas	46
7.5.2.2.	Técnicas semicuantitativas.....	46
7.5.2.3.	Técnicas cuantitativas	47
7.5.3.	Análisis de fallas.....	47
7.5.3.1.	Determinación de las fallas	48
7.5.3.2.	Determinar las causas por falla	48

	7.5.3.3.	Medidas de detección por falla	49
	7.5.3.4.	Determinar prioridad por falla	49
	7.5.4.	Técnica de los cinco “porqués”	49
	7.5.5.	Diagrama de flujo.....	50
	7.5.6.	Diagrama de Pareto.....	50
	7.5.7.	Diagrama de causa y efecto	51
8.		PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	53
9.		METODOLOGÍA.....	57
	9.1.	Características de estudio	57
	9.2.	Unidades de análisis	58
	9.3.	Variables.....	59
	9.4.	Fases del estudio	60
	9.4.1.	Fase 1. Recopilación y gestión de la información... ..	60
	9.4.2.	Fase 2. Análisis de la información	61
	9.4.3.	Fase 3. Discusión y resultados.....	62
	9.4.4.	Preparación del informe final	62
10.		TÉCNICAS DE ANÁLISIS	63
	10.1.	Recopilación de datos	63
	10.2.	Técnicas de análisis de información y datos	64
11.		CRONOGRAMA.....	67
12.		FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	69
	12.1.	Recursos por utilizar	69
		REFERENCIAS	71

APÉNDICES.....77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Categorías de consecuencias de procesos.....	41
2.	Categorías de probabilidades del proceso	41
3.	Categorías de consecuencias de seguridad, higiene y ambiente.....	42
4.	Categorías de probabilidades de seguridad, higiene y ambiente	42
5.	Matrices de riesgo proceso, seguridad, higiene y ambiente.....	43
6.	Categorías de consecuencias de seguridad, higiene y ambiente.....	43
7.	Diagrama de proceso, estructura funcional y análisis de criticidad	45
8.	Diagrama causa-efecto: representación una relación entre un efecto y sus causas.....	51

TABLAS

I.	Fase 1. Recolección de datos y evaluación inicial	20
II.	Fase 2. Análisis y evaluación de datos	21
III.	Fase 3. Discusión y resultados	22
IV.	Fase 4. Realización del informe final	23
V.	Variables de estudio.....	59
VI.	Cronograma de actividades para realización informe final.....	67
VII.	Recursos de inversión.....	70

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una propuesta para la elaboración de 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.

De los 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. Con esta investigación se busca brindar una guía para tratar y mitigar tiempos muertos o improductivos de estos activos críticos. 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.

Para la realización del trabajo de investigación se tomarán dos organizaciones de diferentes actividades productivas, de las cuales se tomarán sus activos, para realizar la evaluación de criticidad y los registros de ordenes de trabajo equivalentes a un año, para realizar el análisis de fallas, se obtendrán y compararán los resultados obtenidos para presentar una propuesta general para tratar el problema de la disminución en la disponibilidad para activos críticos.

2. ANTECEDENTES

Las máquinas desde la revolución industrial han sido utilizadas y creadas por el hombre como una manera de ayuda en el trabajo, las maquinas 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 maquinas en la industria, Di Fiore y 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 *et al.*, 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 lo 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 un parte del proceso, ya que cada equipo que interviene en un proceso productivo es 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, *et al.*, (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” (Olarde, Botero y Cañón, 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, *et al.*, (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 aumento 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 de 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. Al 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.

3. 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 se realizan recomendaciones generales, pero no existe una guía específica para tratar el problema.

Por esta razón se desea brindar 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 maquinas 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 maquinas 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 requiere realizar un análisis estadístico para evaluar las fallas generales más comunes de los activos, evaluar su frecuencia, magnitud, posición, investigar 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 impacta la calidad los paros no programados de activos en la gestión de mantenimiento?
- ¿Qué repercusiones económicas tiene la disminución de disponibilidad de los activos críticos?
- ¿Cuáles son las mejores prácticas para el mantenimiento industrial y como se rigen?

Delimitación del problema

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

Se tomarán datos de distintas empresas y de distintas actividades productivas 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 pueda ser utilizada en cualquier organización que requiera evaluar la disponibilidad de sus activos críticos.

Así mismo, este trabajo de investigación tomará los estándares de manejo de activos propuestos por la norma ISO 55000, en los que se toma también como supuestos, que las empresas tienen como fin aumentar la disponibilidad de sus activos críticos para la producción.

Las empresas para las cuales se realiza la evaluación ya cuentan con un sistema físico o computarizado de registros de sus mantenimientos y los análisis se realizarán basados en el historial de mantenimientos realizados a los activos críticos de distintas organizaciones.

4. JUSTIFICACIÓN

La elección para el soporte del presente trabajo de investigación y desarrollo será el análisis estadístico de los procesos y simulación de proceso utilizando herramientas informáticas. El análisis estadístico será utilizado con el fin de descubrir patrones y tendencias de los datos a analizar y procesos industriales como la transformación de un bien en producto final.

El problema observado surge de la reducción en la disponibilidad de los activos críticos para las empresas en las cuales se implementa un servicio de evaluación de la ejecución de su mantenimiento industrial. La evaluación tiene el objetivo de brindar un análisis de la ejecución del mantenimiento de las empresas para mejorar su gestión de mantenimiento, asegurar el cumplimiento de la ejecución del mantenimiento, reducción de incidentes por falta de mantenimiento, asegurar la disponibilidad de los activos críticos de las empresas para su producción, minimizar fallas y tiempos entre fallas.

Esto con el fin de beneficiar directamente las operaciones en producción y los departamentos que dependen de este, así como del correcto funcionamiento del departamento responsable del mantenimiento los cuales esperan una disponibilidad oportuna de los activos, estabilidad y rendimiento óptimo de estos.

Esto dará como resultado la obtención de recomendaciones certeras y adecuadas para el tratamiento de los activos y la mejora de la disponibilidad, lo cual se traduce en aumento de productividad y disminución de costos por falla en el mantenimiento.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer un modelo de evaluación de mantenimiento industrial para aumentar la disponibilidad de activos críticos para el proceso productivo.

5.2. Específicos

1. Indicar las principales causas que afectan los tiempos de funcionamiento de los activos críticos para el proceso productivo.
2. Establecer el impacto que tienen los paros no programados de activos en la gestión de mantenimiento respecto a la calidad.
3. Estimar el impacto económico que tiene la disminución de disponibilidad de los activos críticos en la empresa.
4. Identificar las mejores prácticas para el mantenimiento industrial que afectan la gestión de activos críticos y como se rigen.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La necesidad de contar con los activos fijos que son críticos para el proceso productivo en el tiempo y condiciones óptimas es vital para ofrecer un producto con altos estándares de calidad y minimizar los costos de fabricación. Como resultado de la presente investigación se formulará una propuesta para realizar una evaluación de mantenimiento industrial y un análisis estadístico de fallas en los activos críticos para tratar la disminución de la disponibilidad de estos activos críticos para el proceso productivo.

Para realizar la propuesta se tomará una muestra de tres empresas, cada una de ellas de diferente actividad económica, se debe medir su mantenimiento ejecutado a los activos. Como primer paso se deberá identificar los activos críticos para lo cual se realizará para cada empresa una matriz de determinación de equipos críticos; en esta se deberán seleccionar los criterios de evaluación de los activos para evaluar su impacto en producción, calidad, costo de operación, riesgo para la seguridad, entre otros.

El mantenimiento industrial se evaluará sobre la ejecución de mantenimientos a estos activos previamente identificados como críticos para el proceso. Cada mantenimiento tiene un registro, normalmente llamado orden de trabajo, el cual detalla información importante sobre los mantenimientos realizados como el motivo, identificación del activo, su tipo de mantenimiento, observaciones e información que cada organización considere relevante para el proceso. De estas órdenes de trabajo se analizará un periodo de un año en su ejecución identificando los tipos de mantenimiento realizados, su frecuencia y buscando patrones en la ejecución de mantenimiento.

Las ordenes de trabajo normalmente se distribuyen en dos tipos, que son los más representativos en el mantenimiento: mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo. De esta segunda división, se considerarán los códigos de cierre; estos códigos ayudan a identificar el problema presentado por el activo, su falla o error, la causa de esta falla y la acción que lleva a la solución del problema. Esta estructura de información es importante ya que con la misma se realizará un análisis estadístico para encontrar los patrones, desviaciones, frecuencias y modo de falla de los activos los cuales nos permitirán predecir y evitar que estas fallas produzcan paros no programados en los equipos.

Cada una de las causas que se encontrarán deberán ser medibles en tiempo e impacto económico para poder indicar su prioridad e importancia sobre la producción. Con esta información se planteará una propuesta para evitar y/o mitigar la posibilidad de que se produzca una de las causas a el problema planteado y ayudar así a las organizaciones a crear una guía para tratar la disminución en la disponibilidad de sus activos críticos.

Para cumplir con los objetivos planteados para esta investigación se propone la siguiente estructura de trabajo:

Tabla I. **Fase 1. Recolección de datos y evaluación inicial**

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempo
Selección de empresas	Evaluar organizaciones que puedan brindar información representativa de diferentes actividades productivas	Humano	2 semanas

Continuación tabla I.

Contextualización de actividad productiva	Investigar el área de acción e impacto de cada actividad económica de las empresas seleccionadas	Humano, computarizado	4 semanas
Obtención de datos de órdenes de trabajo	Recopilar la información referente a las órdenes de trabajo ejecutadas en un periodo de un año para cada empresa.	Humano, Registros físicos y/o digitales	4 semanas
Matriz de impacto de los activos y criterios de evaluación	Seleccionar criterios de evaluación según la importancia para cada actividad económica.	Humano, investigación	4 semanas
Establecer método de selección de activos críticos	Con base en la matriz de criticidad seleccionar los activos que son críticos para el proceso de producción.	Humano, Computarizado	2 semanas
Crear árbol de problema de activos críticos	Identificar los principales códigos de cierre de órdenes de trabajo según su actividad económica	Humano, Registros físicos y/o digitales	2 semanas

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Fase 2. Análisis y evaluación de datos**

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempo
Matriz de criticidad	Mostrar matriz resumen de los niveles de criticidad de los activos y escala de selección	Humano, Computadora	4 semanas

Continuación tabla II.

Elaborar flujo de jerarquización de activos	Realizar diagrama de flujo según la jerarquización de activos para el proceso a analizar, es decir, como esta conformada la jerarquía de los activos por organización	Humano, Computadora	3 semanas
Identificar causas de paros no programados	Evaluar el historial de ejecución de órdenes de trabajo con tablas dinámicas, ishikawa para determinar causa a los problemas e impacto de paros no programados	Humano, Computadora	2 semanas
Análisis de códigos de falla de los activos críticos	Establecer según histórico de órdenes de trabajo la ocurrencia de falla, tiempo medio entre fallos, desviaciones, modo de falla para evaluar maneras de eliminación y/o mitigación	Humano, Computadora	8 semanas
Identificar impacto económico sobre la organización	Medir las repercusiones económicas que tiene sobre la organización el tiempo no disponible de los activos críticos.	Humano, computadora	4 semanas

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Fase 3. Discusión y resultados**

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempo
Evaluación de los resultados obtenidos	Evaluar los resultados obtenidos y compararlos con la situación actual, evaluar si los activos catalogados como críticos si tienen incidencia relevante en el proceso y las fallas, comparar contra la ocurrencia de las mismas.	Humano, Investigación, Computadora	1 semana

Continuación tabla III.

<p>Comparación de resultados en las organizaciones</p>	<p>Comparar los resultados obtenidos en las dos organizaciones para encontrar fallas comunes y realizar evaluación y plan de mitigación.</p>	<p>Humano, Investigación, Computadora</p>	<p>2 semanas</p>
---	--	---	------------------

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Fase 4. Realización del informe final**

Actividad	Metodología	Recursos	Tiempo
<p>Propuesta de evaluación de mantenimiento</p>	<p>Realizar una propuesta de evaluación de mantenimiento industrial con lineamientos y pasos a seguir para encontrar las causas de la disminución de tiempo disponible y causa raíz para mitigar y/o eliminar el problema</p>	<p>Humano, Investigación, Computadora</p>	<p>11 semanas</p>

Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. ¿Qué es un problema en mantenimiento?

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).

7.2. 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

7.2.1. ¿Cuál es el 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 la disponibilidad de los activos.
- Cumplir con la fiabilidad de los activos para la operación.
- Asegurar el cumplimiento de la vida útil de los activos 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.

7.2.2. ¿Qué es un 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.

7.2.3. ¿Qué es una 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, etc.” (González, 2005, p. 125).

7.2.4. ¿Qué es una 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.

7.2.5. ¿Qué es una 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.

7.3. 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).

7.3.1. 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, etc.” (p. 20). Es el más antiguo de los tipos de mantenimiento.

7.3.1.1. 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.

7.3.1.2. 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.

7.3.2. 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 si 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.

7.3.2.1. 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).

7.3.2.2. 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.

7.3.2.3. 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.

7.3.2.4. 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.

7.3.2.5. 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.

7.3.3. 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).

7.4. 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 bolla 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.

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de falla} \times \text{Impacto}$$

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.

7.4.1. ¿Qué es el riesgo?

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.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad de falla} \times \text{Consecuencias}$$

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.

7.4.2. 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.

7.4.3. 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 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.

7.4.4. 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.

7.4.5. 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 aumento la disponibilidad lo hará también.

7.4.6. 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.

7.5. Técnicas de análisis

A continuación, se presentan las diversas técnicas de análisis.

7.5.1. Métodos de análisis de criticidad

Para realizar el análisis de criticidad es necesario conocer el estado actual de los activos fijos que la conforman, en su división de maquinaria y equipo. 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.

7.5.1.1. Método de Ciliberti

Este método surge de una combinación de matrices de criticidad combinadas, que dan una 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. **Categorías de consecuencias de procesos**

<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>

Fuente: Gutiérrez, Agüero y Calixto (2007). *Análisis de criticidad integral de activos*.

Figura 2. **Categorías de probabilidades del proceso**

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

Fuente: Gutiérrez, et al., (2007). *Análisis de criticidad integral de activos*.

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 consecuencias de seguridad, higiene y ambiente**

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

Fuente: Gutiérrez, Agüero y Calixto (2007). *Análisis de criticidad integral de activos.*

Figura 4. **Categorías de probabilidades de seguridad, higiene y ambiente**

<i>Categorías de Probabilidades Seguridad-Higiene y Ambiente</i>		
1	Muy Alta	Uno o más eventos es posible que sucedan anualmente.
2	Alta	Varios eventos es posible que sucedan a lo largo de la vida útil del activo o de la unidad.
3	Media	Un evento es posible que suceda en la vida útil del activo o de la unidad.
4	Baja	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.
5	Despreciable	Prácticamente imposible.

Fuente: Gutiérrez, et al., (2007). *Análisis de criticidad integral de activos.*

De acuerdo con el análisis realizado a través de las categorías de consecuencias y probabilidad se realizan matrices de riesgo para ambos procesos de forma individual, se obtiene de cada una un nivel de criticidad diferente según el activo, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 5. **Matrices de riesgo proceso, seguridad, higiene y ambiente**

C O N S E C U E N C I A	MA	A	3	4	5	6	7
	A	B	2	3	4	5	6
	M	C	1	2	3	4	5
	B	D	0	1	2	3	4
	D	E	0	0	1	2	3
			5	4	3	2	1
		D	B	M	A	MA	
		FRECUENCIA					

C O N S E C U E N C I A	MA	A	3	4	5	6	7
	A	B	2	3	4	5	6
	M	C	1	2	3	4	5
	B	D	0	1	2	3	4
	D	E	0	0	1	2	3
			5	4	3	2	1
		D	B	M	A	MA	
		FRECUENCIA					

Fuente: Gutiérrez, et al., (2007). *Análisis de criticidad integral de activos.*

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 consecuencias de seguridad, higiene y ambiente**

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	

Fuente: Gutiérrez, et al., (2007). *Análisis de criticidad integral de activos.*

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.

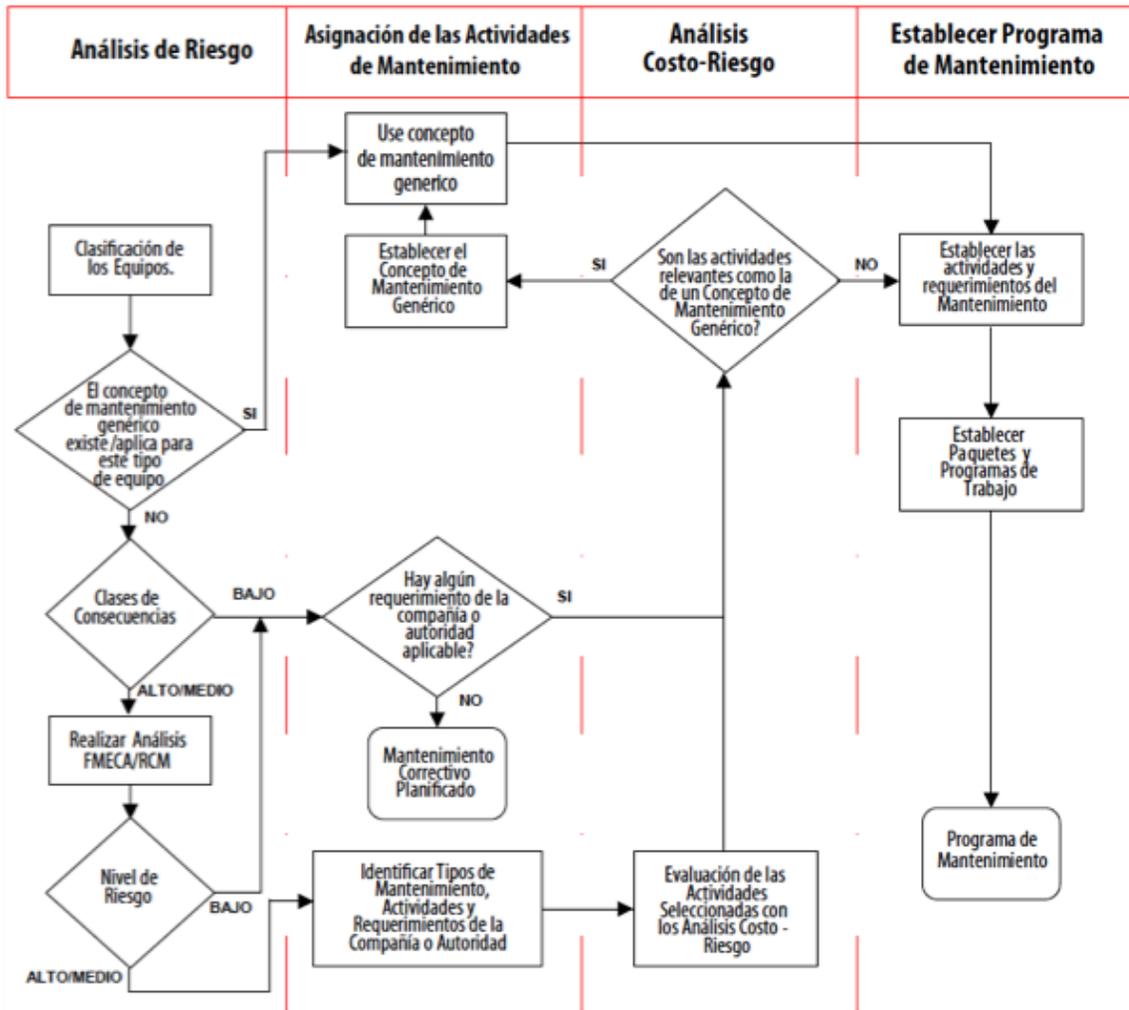
7.5.1.2. Norsok standard Z-008

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, simplemente las condiciones bajo las cuales se desarrolló fueron diferentes. 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.

La aplicación de la norma se centra en el flujo mostrado a continuación:

Figura 7. Diagrama de proceso, estructura funcional y análisis de criticidad



Fuente: Gutiérrez, Agüero y Calixto (2007). *Análisis de criticidad integral de activos*.

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.

7.5.2. 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.

7.5.2.1. 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.

7.5.2.2. 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.

7.5.2.3. 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.

7.5.3. Análisis de fallas

El análisis de fallas se centra en la detección de fallas y evaluar sus consecuencias para un producto, maquina, 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, 2019)

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.

7.5.3.1. 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 suceden, 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.

7.5.3.2. 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 ordenes 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.

7.5.3.3. 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 (2019) 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.

7.5.3.4. 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 que se le debe dar a cada falla para eliminarla. (López, 2019)

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.

7.5.4. 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 es aplicable a la detección de las causas de las fallas ya que, al realizar las cinco preguntas, se podrá obtener con un grado alto de certeza la causa raíz o principal que origino la falla en los activos críticos.

7.5.5. 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).

7.5.6. Diagrama de Pareto

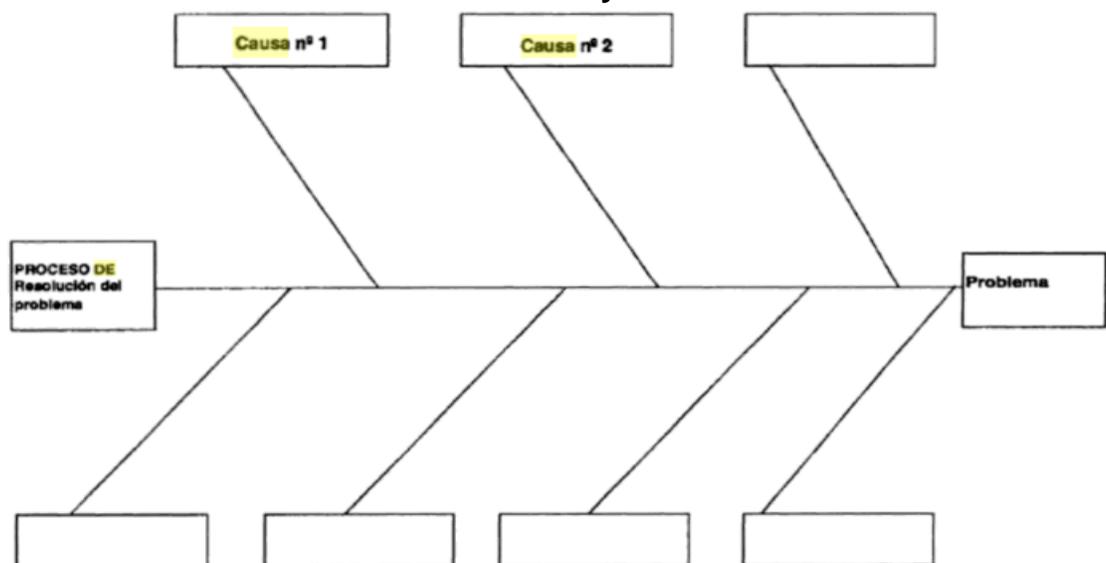
El diagrama de Pareto es una representación de la regla que indica que el ochenta por ciento de los problemas que se dan en una organización normalmente tienen su origen en solo veinte por ciento de las causas, es decir, la mayoría de los problemas por los que puede atravesar, una organización, un proceso o un elemento, son causadas por unas pocas causas. Como lo indica Horngren, Datar y 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.

7.5.7. 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 causa-efecto: representación de una relación entre un efecto y sus causas**



Fuente: Sacristán (2003). *Técnicas de resolución de problemas, Criterios por seguir en la producción y el Mantenimiento.*

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ¿Qué es un mantenimiento?

2.2. Aspectos generales del mantenimiento

2.2.1. ¿Cuál es el objetivo del mantenimiento?

2.2.2. ¿Qué es un problema en mantenimiento?

2.2.3. ¿Qué es una falla en mantenimiento?

2.2.4. ¿Qué es una causa en mantenimiento?

2.2.5. ¿Qué es una acción en mantenimiento?

2.3. Tipos de mantenimiento

2.3.1. Mantenimiento correctivo

2.3.1.1. Ventajas del mantenimiento correctivo

2.3.1.2. Desventajas del mantenimiento correctivo

2.3.2. Mantenimiento preventivo

2.3.2.1. Mantenimiento periódico

- 2.3.2.2. Mantenimiento programado
 - 2.3.2.3. Mantenimiento de mejora
 - 2.3.2.4. Mantenimiento autónomo
 - 2.3.2.5. Mantenimiento rutinario
 - 2.3.3. Mantenimiento predictivo
- 2.4. Criticidad en activos fijos
 - 2.4.1. ¿Qué es el riesgo?
 - 2.4.2. ¿Análisis de criticidad?
 - 2.4.3. Confiabilidad
 - 2.4.4. Disponibilidad
 - 2.4.5. Fiabilidad
 - 2.4.6. Mantenibilidad
- 2.5. Técnicas de análisis
 - 2.5.1. Métodos de análisis de criticidad
 - 2.5.1.1. Método de Ciliberti
 - 2.5.1.2. Norsok standard Z-008
 - 2.5.2. Análisis de riesgo
 - 2.5.2.1. Técnicas cualitativas
 - 2.5.2.2. Técnicas semicuantitativas
 - 2.5.2.3. Técnicas cuantitativas
 - 2.5.3. Análisis de fallas
 - 2.5.3.1. Determinación de las fallas
 - 2.5.3.2. Determinar las causas por falla
 - 2.5.3.3. Medidas de detección por falla
 - 2.5.3.4. Determinar prioridad por falla
 - 2.5.4. Técnica de los cinco “porqués”
 - 2.5.5. Diagrama de flujo
 - 2.5.6. Diagrama de Pareto
 - 2.5.7. Diagrama de causa y efecto

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 3.1. Principales causas que afectan los tiempos de funcionamiento
- 3.2. Impacto que tienen los paros no programados en la gestión del mantenimiento respecto a la calidad
- 3.3. Estimación del impacto económico que tiene la disminución de disponibilidad de los activos críticos en la empresa.
- 3.4. Identificación de las mejores prácticas para el mantenimiento industrial que afectan la gestión de activos críticos y como se rigen.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 4.1. Comparación de las causas comunes que afectan los tiempos de funcionamiento de los activos críticos en ambas empresas.
- 4.2. Afectación de los paros no programados sobre la calidad en ambas empresas.
- 4.3. Repercusiones económicas de la disminución de la disponibilidad de los activos críticos para las organizaciones.
- 4.4. Establecer las mejores prácticas para el mantenimiento industrial que rigen la disponibilidad de activos críticos.

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Características de estudio

El estudio de investigación que se desarrollará es de tipo mixto, ya que se pretende evaluar criterios cualitativos y variables cuantitativas, dentro de los criterios cualitativos tenemos para realizar la matriz de criticidad de necesitan conocer el impacto de los activos en el proceso productivo (alto, moderado, bajo, entre otros), la escala de los estado de los activos, los tipos de mantenimiento, entre otros, y para las variables cuantitativas, se evaluará la probabilidad de ocurrencia de estos eventos, cantidad de activos críticos, tiempo medio entre las fallas, su disponibilidad, cantidad de ordenes de trabajo analizadas, entre otros.

La investigación tiene un alcance correlacional, ya que en este se analizarán 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 adoptará un diseño experimental, ya que, para la evaluación de criticidad, se elegirán los criterios y se ponderará de manera subjetiva cada impacto sobre la producción, seguridad, higiene y ambiente para determinar su nivel de criticidad respecto a la operación. Con esta información se podrá realizar la matriz sobre la cual se evaluarán las condiciones antes mencionadas para obtener un resultado final del nivel crítico para cada uno de los activos. Este diseño experimental también se aplicará para comprobar los resultados obtenidos ya que al establecer los activos críticos se realizará el análisis de las fallas de los mismos, teniendo el historial de ordenes de trabajo de los activos, podremos determinar la frecuencia de fallos de estos activos y

como afectan sobre la producción, seguridad, calidad y su impacto económico para el proceso.

9.2. Unidades de análisis

La población de análisis será el conjunto de activos de las dos organizaciones que se seleccionen, de los activos de la organización se utilizarán únicamente para objeto del análisis los activos fijos, estos pueden ser tangibles e intangibles, de los mencionados, se tomarán los activos tangibles en su clasificación de maquinaria y equipo.

Dentro de estos activos fijos, clasificados en maquinaria y equipo, se extraerá una muestra, realizando un muestreo de forma estratificada, ya que se pretenden seleccionar activos comunes que componen un sistema más grande, de estos activos existen algunos que son críticos para el proceso productivo, como parte del desarrollo de la investigación se determinarán estos activos críticos.

El desarrollo de este trabajo de investigación se centrará en la identificación de los puntos críticos del funcionamiento de los activos/equipos, ya que este funcionamiento es el que determinará el impacto que tienen los activos críticos sobre la producción, seguridad, calidad y el impacto económico para la actividad productiva, como se tomarán organizaciones de diferente actividad económica.

9.3. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación:

Tabla V. **Variables de estudio**

Variable	Definición Teórica	Definición operativa
Códigos de cierre	Los códigos de cierre hacen referencia al mantenimiento preventivo, estos códigos llevan una secuencia lógica de código de problema, código de falla, código causa y código de acción. Estos códigos. 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, aunque estas acciones deben ser sometidas a evaluación para sugerir su tratamiento.
Orden de trabajo	Este es un documento donde se registran las actividades realizadas a cada activo, es de suma importancia para el análisis de datos ya que en ella se encuentra almacenada información valiosa para la toma de decisiones, como “trabajo a realizar, prioridad, fechas, riesgos, herramientas” (Plaza, 2009, p. 130)	Para el análisis de datos se tomarán las ordenes de trabajo como registros electrónicos que brindarán información de las actividades realizadas a los activos críticos, se tomará para su análisis los códigos de cierre, identificación del activo, fechas de realización, duración y actividades realizadas.
Fiabilidad	Es la razón entre las horas disponibles en un periodo de tiempo y el número de fallos en ese periodo. Según Ponsati (2002), “la habilidad de un equipo o componente para cumplir con la funcionalidad que se requiere de él” (p. 15).	$\text{Fiabilidad} = \frac{\text{Hrs disponibles}}{\text{No. De fallos}}$
Disponibilidad	Es el tiempo que el activo está disponible en óptimas condiciones cuando se necesite. En otras palabras “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).	$\text{Disponibilidad} = \left(\frac{\text{Hrs disponibles}}{\text{Hrs Planificadas}} \right) * 100$

Continuación tabla V.

Mantenibilidad	“Es la probabilidad de que un aparato en fallo sea restaurado completamente a su nivel operacional dentro de un período de tiempo dado” (Solé, 1991, p. 37).	Mantenibilidad = Tiempo total de mantenimiento /Número de reparaciones
Riesgo	Es la probabilidad de que un suceso no deseado ocurra. En otras palabras “situación de puede conducir a una consecuencia negativa no deseada en un acontecimiento” (Casal <i>et al</i> , 1999, p. 19).	Riesgo = Probabilidad De falla x consecuencia
Criticidad	Es la capacidad que tiene un activo de generar un impacto sobre la producción o sobre otros componentes adyacentes cuando falla. 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

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases del estudio

Se describirán a continuación cuatro fases del estudio.

9.4.1. Fase 1. Recopilación y gestión de la información

En esta fase inicial se realizará la recopilación de información para la realización de los análisis correspondientes a la criticidad de los activos y la identificación de fallas, para esto utilizaremos la información de los activos de la organización, estos, se obtendrán a través de un software de gestión de activos empresariales, esto software nos brindará la información de los activos de la empresa de la cual se tomará la muestra.

Al hacer uso de este software se creará una cuadrícula con la información necesaria para realizar el análisis de criticidad y el análisis de las fallas. Para este objetivo se descargará la información relativa a las órdenes de trabajo utilizadas por el departamento de mantenimiento en un periodo de un año, de estas órdenes de trabajo se obtendrá la información de los activos, códigos de fallas, tiempos, actividades, entre otros.

9.4.2. Fase 2. Análisis de la información

Con la información obtenida se realizará una depuración de la información, haciendo uso de archivos .xls, para filtrar y descartar la información irrelevante para el análisis. Se establecerán criterios de impacto sobre la producción, seguridad, higiene y ambiente, sobre los cuales se asignará una probabilidad de ocurrencia con la cual se analizará la criticidad de los activos.

Este análisis contemplará dos matrices, las cuales se combinarán para establecer el impacto real sobre los criterios antes mencionados, de esta matriz combinada, método de Ciliberti, se obtendrán los activos críticos y su jerarquización sobre la organización.

Con la clasificación de los activos que son críticos para el proceso productivo se procederá a obtener, de las órdenes de trabajo, los códigos de fallas de estos activos en el periodo antes mencionado, con estas fallas se obtendrán las tendencias y media para clasificar la ocurrencia de las mismas. A través de los tiempos de creación y cierre de las órdenes de trabajo se calculará el tiempo entre una falla y otra para obtener la probabilidad de ocurrencia de estas fallas en los equipos anteriormente clasificados como críticos. Los tiempos de reparación se tomarán para determinar el tiempo que estuvo detenido el activo y realizar el cálculo del impacto económico de no producir durante ese tiempo.

9.4.3. Fase 3. Discusión y resultados

Se procederá a comparar los resultados obtenidos en la fase dos en las organizaciones analizadas. Comparar sus resultados y buscar tipos de fallas que coincidan para obtener las fallas comunes de las organizaciones y poder establecer así las rutas de acción, para mejorar, mitigar y eliminar las fallas más comunes de los activos críticos en la organización.

Se realizarán las conclusiones de los resultados obtenidos y las recomendaciones para las organizaciones basadas en datos, para lograr aumentar la disponibilidad de los activos, reducir costos de reparación, reducir costos por no producir y el impacto que tienen los fallos sobre la calidad.

9.4.4. Preparación del informe final

Se realizará el informe final con los resultados obtenidos de las fases anteriores, en el desarrollo del informe final se sintetizará el análisis realizado a los activos de la organización y se plasmará en un documento que será revisado en el transcurso del tercer trimestre del año siguiente, en el curso de seminario tres, para realizar las correcciones correspondientes a fin de obtener un documento integro, con los lineamientos y consideraciones necesarias para ser aprobado y de utilidad para el fin propuesto.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Para la realización del análisis de los datos que intervienen en la disminución del tiempo disponible de los equipos críticos, se tomarán los datos de un año de órdenes de trabajo, de las cuales se tomarán los tipos de mantenimiento y los códigos de cierre de las órdenes de trabajo para realizar dicho análisis.

Para la toma de datos se realizará una extracción de datos a través de un software gestor de activos de mantenimiento, esto, debido a que se necesita medir los mantenimientos ejecutados previamente, de la información se realizará el análisis de fallos y se hará uso de las siguientes técnicas y análisis:

10.1. Recopilación de datos

Para la recopilación de datos se hará uso de herramientas digitales de almacenamiento de datos, bases de datos, para este caso, se tomará la información almacenada de una base de datos acerca de las ordenes de trabajo que genera el Departamento de Mantenimiento, relacionadas con los activos de la empresa. Se tendrá acceso a la información a través de un Enterprise asset management (EAM), este software almacena información relevante para la gestión de activos empresariales.

Es importante mencionar que el software a utilizar para la descarga de datos no pertenece a la división de software de inteligencia artificial, por lo que la información que se obtendrá es ingresada por el personal de mantenimiento de

las organizaciones, personal operativo y de planificación; y no es alterada por el software, lo que nos ayuda a tener información confiable para realizar los análisis.

10.2. Técnicas de análisis de información y datos

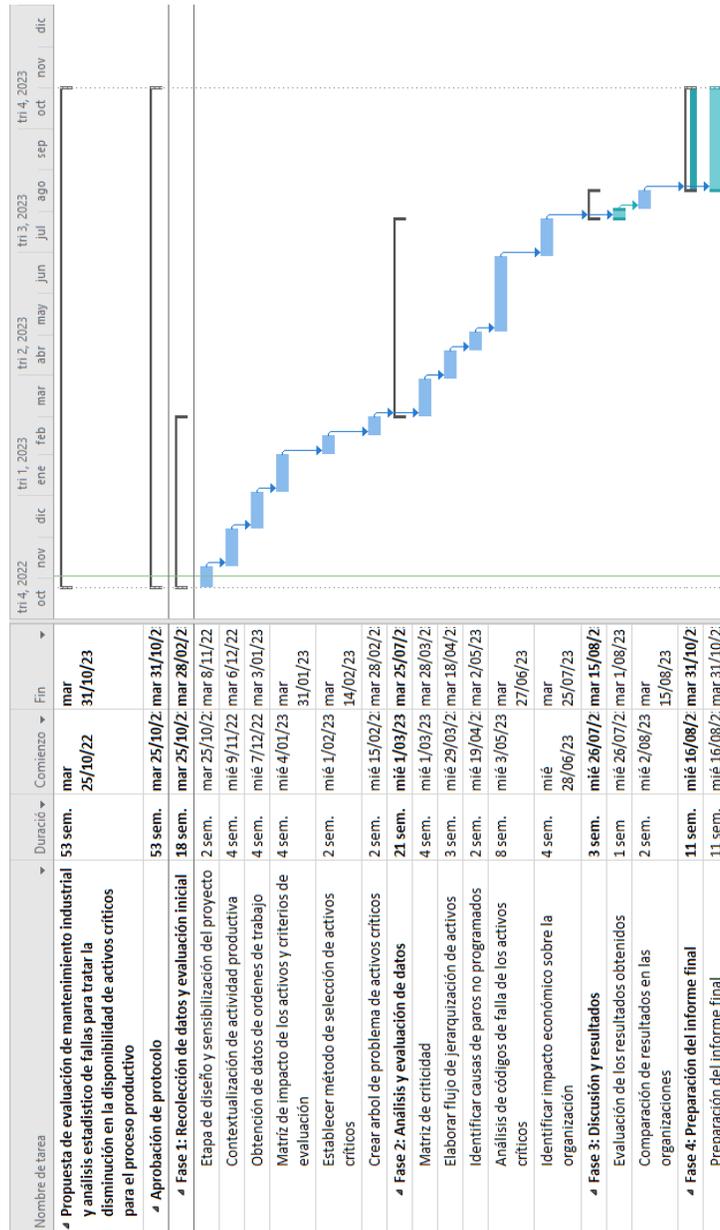
- Técnica de los cinco “porqués”: la técnica se centra en encontrar la raíz de la falla que deseamos analizar, definiendo con claridad el problema para luego plantear cinco “porqués”.
- Diagrama de Pareto: el diagrama presenta que aproximadamente el 80% de los problemas se derivan del 20 % de las causas, las cuales analizaremos a través del diagrama.
- Diagramas de flujo: por medio de los diagramas de flujo se representarán los procesos a analizar y se indicarán los puntos críticos del proceso, en este caso, el activo. Estos diagramas nos ayudarán a comprender como se desarrolla el proceso y por qué es importante el activo en la ejecución del proceso productivo.
- Diagrama de causa y efecto, Ishikawa: es un diagrama utilizado para identificar de manera gráfica las causas de un problema, organizando y presentando las causas asociadas a un problema principal.
- Método de Ciliberti: este método se empleará para determinar los activos críticos para el proceso productivo, se utilizará este método por ser el más completo ya que combina la criticidad desde dos perspectivas diferentes, una desde el punto de vista de proceso y otro desde el punto de vista de seguridad, higiene e impacto ambiental.

- Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF): es un procedimiento por el cual se pueden identificar, clasificar y evaluar las fallas en productos, procesos y sistemas para disminuir y/o evitar su ocurrencia.

Los recursos por utilizar son el recurso humano, para el desarrollo del análisis y el desarrollo del proceso de resultados, recursos tecnológicos para la descarga de datos de las organizaciones a analizar, para este caso, las órdenes de trabajo, recursos de gestión de datos, Microsoft Excel para el desarrollo de análisis de datos a través de tablas y el recurso intelectual para el análisis de los datos obtenidos a través de las diversas herramientas.

11. CRONOGRAMA

Tabla VI. Cronograma de actividades para realización informe final



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación presentado se realizará con recursos propios del estudiante de maestría. Por ser una investigación que se centra en el análisis de datos, los recursos por utilizar se resumen en humanos, financieros y tecnológicos los cuales se detalla a continuación:

12.1. Recursos por utilizar

- Humano: el recurso humano se limita al tiempo propio de inversión ya que únicamente se utilizará información histórica, es decir, con existencia previa, no se utilizará apoyo fuera de las fuentes tecnológicas.
- Tecnológico: se utilizarán los recursos tecnológicos para acceder a la información necesaria y para la transformación de dicha información a través de los procesos y análisis mencionados en resultados que nutran la propuesta a realizar. Dentro de los recursos tecnológicos se utilizará un software de gestión para descargar la base de datos de información y herramientas de apoyo como Microsoft office 2016.
- Accesos y permisos: se cuenta con el acceso necesario a la información para realizar los análisis respectivos, ya que las organizaciones permanecerán en el anonimato, únicamente se mencionará la actividad productiva y se utilizará descripción genérica de los activos como de su codificación.

- Físicos: dentro de los recursos físicos se utilizará una computadora con acceso a internet y lugar de trabajo, este por ser variable ya que, por los tiempos efectivos de trabajo de la jornada laboral, se desempeñará en horario fuera de oficina, esto podría incurrir en gastos de alimentación, lugar de trabajo y transporte.

Tabla VII. **Recursos de inversión**

No.	Recurso	Costo
1	Inversión tiempo personal	Q 6,000.00
2	Asesor de tesis	Q -
3	Tecnológico (Luz, Internet)	Q 500.00
4	Físico (Computadora, lugar de trabajo)	Q 1,000.00
5	Alimentación	Q 1,500.00
6	Tareas no previstas	Q 500.00
Total, Inversión		Q 9,500.00

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se describen los recursos financieros necesarios para llevar a cabo con éxito el desarrollo del trabajo. Por ser un trabajo de investigación y análisis, del cual se realizará un análisis para elaboración de una propuesta, se concluye que se tienen los fondos suficientes para que el trabajo sea factible de realizar.

REFERENCIAS

1. Aguilar O. (2014). *Cómo las empresas latinoamericanas se convierten en líderes globales*, Estados Unidos: Deloitte.
2. Aguilar-Otero, J. R., Torres-Arcique, R., y Magaña-Jiménez, D. (enero 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>
3. Arata, A. (2009). *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales*. Santiago, Chile: RIL
4. Arques, J. (2009). *Ingeniería y gestión del mantenimiento en el sector ferroviario*. Barcelona, España: Díaz de Santos.
5. Casal, A., Montiel, H., Planas, E., y Vílchez, J. (1999). *Análisis de riesgo en instalaciones industriales*. Barcelona, España: UPC
6. Cuatrecasas, L. (2012). *Gestión del mantenimiento de los equipos productivos*. Madrid, España: Díaz de Santos.
7. Del Val Román, J. L. (2016). *Industria 4.0: la transformación digital de la industria*. In *Valencia: Conferencia de directores y Decanos de Ingeniería Informática, Informes*. España: CODDII. Recuperado de

<http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>

8. Galgano, A. (2004). *Las tres revoluciones Caza del desperdicio: doblar la productividad con la "lean production"*. Madrid, España: Diaz de Santos.
9. García, O. (2012). *Gestión moderna del mantenimiento industrial*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
10. García, S. (2010). *La contratación del mantenimiento industrial*. Madrid, España: Díaz de Santos.
11. García, S. (08 de septiembre, 2016). *Los principales objetivos del mantenimiento. Obtenido de Manufactura* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.manufactura-latam.com/es/blog/los-principales-objetivos-del-mantenimiento>
12. Gómez, F. (1998). *Tecnología del mantenimiento industrial*. Murcia, España: Universidad de Murcia.
13. González, F. (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. Madrid, España: Fundación CONFEMETAL.
14. Gutiérrez, E., Agüero, M., y Calixto, I. (2007). *Análisis de Criticidad Integral de Activos*. Maracaibo, Venezuela. Fundación Bigott.
15. Hagel, J., Brown, J., Kulasooriya, D., Giffi, C., y Chen, M. (01 de junio, 2015). *El futuro de la manufactura: Fabricando cosas en un mundo*

cambiante [Mensaje en un blog]. Recuperado de:
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/manufacturing/Futuro-Manufactura-Espanol.pdf>

16. Heizer, J., y Render, B. (2003). *Principios de administración de operaciones*. Ciudad de México, México: Pearson
17. Horngren, C., Datar, S., y Foster, G. (2007). *Contabilidad de costos decimosegunda edición*. Ciudad de México, México: Pearson Prentice Hall
18. López, B. (1 de noviembre de 2019). *Análisis del Modo y Efecto de Fallas*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de:
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>.
19. Mancuzo, G. (3 de septiembre de 2020). *Mantenimiento periódico Riesgos y ventajas*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de:
<https://blog.comparasoftware.com/mantenimiento-periodico/#Que-es-mantenimiento-periodico>
20. Montilla, C. A. (2016). *Fundamentos de mantenimiento industrial*. Pereira, Colombia: Universidad tecnológica de Pereira.
21. Olarte, W., Botero, M., y Cañon, B. (2010). *Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción*. Pereira, Colombia: Universidad tecnológica de Pereira.

22. Parra, C., y Crespo, A. (2012). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos*. Sevilla, España: Ingeman.
23. Pérez, F. A. (2021). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial*. Bucaramanga, Colombia: USTA
24. 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 empacadora de camarón*. (Tesis de licenciatura), Escuela superior politécnica del Litoral. Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13353/4/TE SIS%20COMPLETA%20%28FINAL%29.pdf>
25. Plaza, A. (2009). *Apuntes teóricos y ejercicios de aplicación de gestión del mantenimiento industrial -integración con calidad y riesgos laborales-*. Madrid, España: Lulu
26. Ponsati, E. (2002). *Fiabilidad industrial*. Cataluña, España: UPC
27. Portillo, M. P., Pérez, V. H. C., y de la Riva Rodríguez, J. (junio, 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), 13.
28. Romeva, C. (2010). *Herramientas para el diseño concurrente*. Barcelona, España: UPC.

29. Sacristán, F. (2003). *Técnicas de resolución de problemas, Criterios a seguir en la producción y el mantenimiento*. Madrid, España: FC editorial.
30. Short, T. (15 de noviembre, 2018). *Work Order Management best practices: Add Failure codes to optimize repairs*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.softwareadvice.com/resources/add-failure-codes-to-work-orders/>
31. Solé, A. (1991). *Fiabilidad y seguridad de procesos industriales*. Barcelona, España: FOINSA.
32. Souris, J. (1992). *El mantenimiento, fuente de beneficios*. Madrid, España: Diaz de Santos, S.A.
33. Suárez, J. D. (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, Ecuador. Recuperado de <https://1library.co/document/q2n7v42q-desarrollo-gestion-mantenimiento-presencia-sistemica-impresvistas-maquinarias-productos.html>
34. Ugalde, J. (1979). *Programación de operaciones*, San José, Costa Rica: Universidad Estatal a distancia.

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

APÉNDICES

Apéndice 1. **Matriz de coherencia**

Tema: Propuesta de evaluación del mantenimiento industrial y análisis estadístico de las fallas para tratar la disminución en la disponibilidad de activos críticos para el proceso productivo.	
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO GENERAL
¿Cómo aumentar la disponibilidad y asegurar el funcionamiento de los activos críticos para el proceso productivo de una empresa?	Proponer un modelo de evaluación de mantenimiento industrial para aumentar la disponibilidad de activos críticos para el proceso productivo.
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
1. ¿Cuáles son las principales causas que afectan los tiempos de funcionamiento de los activos críticos para el proceso productivo?	Indicar las principales causas que afectan los tiempos de funcionamiento de los activos críticos para el proceso productivo.
2. ¿Qué impacto tiene en la calidad los paros no programados de activos en la gestión de mantenimiento?	Establecer el impacto que tienen los paros no programados de activos en la gestión de mantenimiento respecto a la calidad.
3. ¿Qué repercusiones económicas tiene la disminución de disponibilidad de los activos críticos?	Estimar el impacto económico que tiene la disminución de disponibilidad de los activos críticos en la empresa.
4. ¿Cuáles son las mejores prácticas para el mantenimiento industrial y como se rigen?	Identificar las mejores prácticas para el mantenimiento industrial que afectan la gestión de activos críticos y como se rigen.

Fuente: elaboración propia.

