



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
CAMPUS SAN MARTÍN TEXMELUCAN
DIVISIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ANÁLISIS DE MODO FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (AMFEC) PARA
IMPLEMENTAR ACCIONES QUE MEJOREN LA CONFIABILIDAD DEL
EQUIPO CRÍTICO DE LA EMPRESA TRITÓN INDUSTRIAL S.A DE C.V.**

TESIS



**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
LICENCIADA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

PRESENTA:

**ANGELICA MUÑOZ REYES
19270029**

ASESORA: MTRA.ARACELI HERNÁNDEZ CRUZ

SAN MARTIN TEXMELUCAN, PUE. MAYO,2024

	Nombre del documento: Dictamen para Titulación Integral	Código: ITSSMT-AC-NOR-01-FO-04	
	Referencia del Documento: Lineamiento para la Titulación Integral	Revisión: 2	
		Página 1 de 1	

San Martín Texmelucan, Pue., a 25 de mayo de 2024

Asunto: Dictamen para Titulación Integral

C. ANGELICA MUÑOZ REYES
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PRESENTE:

En respuesta a su solicitud de titulación integral con el proyecto: **ANÁLISIS DE MODO FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (AMFEC) PARA IMPLEMENTAR ACCIONES QUE MEJOREN LA CONFIABILIDAD DEL EQUIPO CRÍTICO DE LA EMPRESA TRITÓN INDUSTRIAL S.A. DE C.V.** me es grato informarle que fue aceptado, en modalidad **TESIS** y se confirma como asesor a la **C. ARACELI HERNÁNDEZ CRUZ.**

Por lo que le solicito ponerse en contacto con su asesor, en caso de ser necesario.

Además, le informo que deberá pasar al Departamento de Control Escolar, a que le revisen su documentación.

AT E N T A M E N T E



Excelencia en Educación Tecnológica®

“Formación Tecnológica de Versatilidad para el Desarrollo Regional”




 Instituto Tecnológico Superior
 de San Martín Texmelucan
DIVISIÓN DE
INGENIERÍA INDUSTRIAL
ALEJANDRO BENÍTEZ RAMÍREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

c.c.p. Subdirección Académica. - psc
 Departamento de Control Escolar. - psc Expediente

	Nombre del documento: Autorización de entrega de informe de Titulación.	Código: ITSSMT-AC-NOR-01-FO-08	
	Referencia del Documento: Lineamiento para la Titulación Integral	Revisión: 2	

San Martín Texmelucan, Puebla a 25 de mayo de 2024

**C. ANGELICA MUÑOZ REYES
 PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
 P R E S E N T E**

De acuerdo con la normatividad vigente de nuestro instituto y habiendo cumplido con todas las indicaciones que el comité revisor le hizo respecto a su informe de titulación integral titulado: **“ANÁLISIS DE MODO FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (AMFEC) PARA IMPLEMENTAR ACCIONES QUE MEJOREN LA CONFIABILIDAD DEL EQUIPO CRÍTICO DE LA EMPRESA TRITÓN INDUSTRIAL S.A. DE C.V.”** comunico a Usted que:

HA SIDO LIBERADO Y SE LE AUTORIZA PARA QUE PROCEDA A LA FORMALIZACIÓN DE ESTE

Para lo cual deberá entregar su documento digital a la Subdirección Académica, en un plazo de diez días hábiles contados a partir de la fecha del presente.

Es importante mencionar que usted deberá elegir la manera en que conservará su trabajo de titulación (libro, disco, etc.).

ATENTAMENTE



*Excelencia en Educación Tecnológica
 “Formación Tecnológica de Vanguardia para el Desarrollo Regional”*





**Instituto Tecnológico Superior
 de San Martín Texmelucan**
**DIVISIÓN DE
 INGENIERÍA INDUSTRIAL**
ALEJANDRO RAMÍREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

c.c.p. Expediente

	Nombre del documento: Liberación de Proyecto para la Titulación Integral	Código: ITSSMT-AC-NOR-01-FO-03	
	Referencia del Documento: Lineamiento para la Titulación Integral	Revisión: 2	
		Página 1 de 1	

San Martín Texmelucan, Pue., a 25 de mayo de 2024
 Asunto: Liberación de proyecto para la titulación integral.

SALVADOR PÉREZ MEJIA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO DEL
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE SAN MARTÍN TEXMELUCAN PRESENTE

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

Nombre del estudiante:	ANGELICA MUÑOZ REYES
Carrera:	INGENIERÍA INDUSTRIAL
No. de control:	19270029
Nombre del proyecto:	ANÁLISIS DE MODO FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (AMFEC) PARA IMPLEMENTAR ACCIONES QUE MEJOREN LA CONFIABILIDAD DEL EQUIPO CRÍTICO DE LA EMPRESA TRITÓN INDUSTRIAL S.A. DE C.V.
Producto:	TESIS

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros/as egresados/as.

AT E N T A M E N T E

Excelencia en Educación Tecnológica
 “Formación Tecnológica de Vanguardia para el Desarrollo Regional”



Instituto Tecnológico Superior
 de San Martín Texmelucan

DIVISIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ALEJANDRO BENÍTEZ RAMÍREZ
 JEFÉ DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Nombre y firma del asesor	Nombre y firma del revisor/a*	Nombre y firma del revisor/a *
 ARACELI HERNANDEZ CRUZ	 JOSSET SANCHEZ OLARTE	 CLARA ROMERO CRUZ

* Solo aplica para el caso de tesis o tesina.

c.c.p.- Expediente

Agradecimientos y/o dedicatorias

Agradezco a dios y a la vida por permitirme salir adelante y cumplir mis objetivos, así mismo concluir con cada uno de estos retos que se me presentaron estos 4 años de mi carrera.

Quiero agradecerle a mi mamá, quien ha sido la persona que me sacó adelante que con lágrimas y sufrimiento, siempre me acompañó en este proceso de mi formación profesional, de igual manera en toda mi vida, cuando me desvelaba y se quedaba conmigo para acompañarme y cuidarme.

Le agradezco a mi hermano que siempre me sacaba una sonrisa cuando más lo necesitaba y me daba ánimos para seguir adelante, a mis tíos que me dieron esa ayuda moral cuando más lo requería, a mi pareja que aportó su granito de arena durante mi carrera ya que estuvo en los momentos más difíciles durante este periodo, quién me levantó para seguir adelante, dándome su apoyo incondicional para que lograra esto, a mi asesora quien fue la persona más paciente del mundo conmigo cuando no entendía las cosas, quien me jaló la rienda en este trabajo en un semestre de pandemia quién me buscaba todo el tiempo para salir adelante y darme la oportunidad para este trabajo.

Finalmente. les agradezco a mis maestros, compañeros y familia quienes fueron parte del proceso para mi formación profesional.

Índice general

Capítulo I Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Problema de Investigación.....	11
1.3. Justificación	12
1.4. Propósito del estudio	13
1.5. Objetivos del Estudio	13
1.5.1. Objetivo General.....	13
1.5.2. Objetivos específicos.....	14
1.6. Preguntas de Investigación.....	14
1.7. Planteamiento de Hipótesis	15
Capítulo II Revisión de la Literatura.....	16
2.1. Diagrama de Pareto.....	17
2.1.1. ¿Cuándo se utiliza?.....	18
2.1.2. ¿Cómo se utiliza?.....	19
2.1.3. Relación con otras herramientas.....	20
2.2. Análisis de criticidad.	21
2.2.1. Riesgo	25
2.2.2. Técnicas de análisis de riesgo	26
2.2.3. Fundamentos del análisis de criticidad.....	28
2.2.4. Métodos para análisis de criticidad	30
2.2.5. Método de Ciliberti.....	31
2.2.6. Mantenimiento Basado en Criticidad	33
2.2.7. Inspección Basada en Riesgo (IBR).....	36
2.3. Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF).....	38

2.3.1.	AMEF de procesos y medios.....	39
2.3.2.	Tipos de AMEF.....	40
2.3.3.	Ventajas potenciales del AMEF.....	40
2.3.4.	¿Cuándo se debe implementar un AMEF?	41
2.4.	Análisis de Modo Falla, Efecto y Criticidad (AMFEC)	42
2.4.1.	AMFEC (Análisis Modal de Fallos, Efectos y su Criticidad).....	43
2.4.2.	Tipos de AMFEC.	44
2.4.3.	Identificación de Efectos de fallo	48
2.4.4.	Ventajas de la Metodología AMFEC.....	49
2.5.	Confiabilidad.....	49
2.5.1.	Confiabilidad.....	49
2.6.	Mantenimiento	51
2.6.1.	Mantenimiento predictivo.....	52
2.7.	Cartas de control estadístico	55
2.8.	Carta de Control:	57
2.8.1.	Tipos de cartas de control	58
2.8.2.	Gráfica X-R.....	59
2.8.3.	Gráfica X-S.....	59
2.9.	Distribución de planta	59
2.9.1.	Tipos de distribución de planta.....	60
2.9.2.	Distribución en planta por posición fija	61
2.9.3.	Distribución en planta por producto.....	62
2.9.4.	Distribución en planta funcional.....	63
2.9.5.	Distribución en planta híbrida	63
2.9.6.	Criterios y objetivos de la distribución en planta.....	65

2.10.	Costos por refacciones de mantenimiento	66
2.10.1.	Costo por refacciones	67
Capítulo III Metodología		68
3.1.	Participantes y/o representación estadística	69
3.2.	Fuentes de Información	69
3.3.	Técnicas e instrumentos	70
3.4.	Procedimientos	70
Capítulo IV Resultados		72
4.1.	Presentación de resultados	73
4.1.1.	Diagrama de Pareto	73
4.1.2.	Matriz de criticidad.....	75
4.1.3.	Confiabilidad.....	77
4.1.4.	AMFEC.....	77
4.2.	Aplicación de Herramientas, Métodos Aplicados y/o Estudios Realizados.....	83
4.2.1.	Plan de acciones	83
4.2.2.	Plan de mantenimiento.....	86
4.2.3.	Colocación de brocapijas en tapas de Open end Saurer Autocore.	87
4.2.4.	Toma de temperaturas	87
4.2.5.	Distribución.....	92
Capítulo V Discusión		104
5.1.	Resultados obtenidos y esperados.....	105
5.2.	Conclusiones	106
5.3.	Recomendaciones y aportación.....	107
Referencias bibliográficas.....		108
Anexos Glosario		112

5.4. Glosario 119

Índice de tablas

Tabla 1	Parámetros y técnicas para control de diferentes tipos de equipo dinámico....	53
Tabla 2	Parámetros y técnicas para control de diferentes tipos de equipo estático.....	53
Tabla 3	Parámetros y técnicas para control de diferentes tipos de equipo eléctrico.....	54
Tabla 4	Históricos de las posibles causas de la maquina Open end	73
Tabla 5	Matriz de criticad de Tritón Industrial S.A de C.V	75
Tabla 6	AMFEC del proceso de mantenimiento eléctrico	78
Tabla 7	Cronograma de actividades	84
Tabla 8	Muestras de temperaturas de 3 turnos.....	88
Tabla 9	Tabla de Temperaturas	90
Tabla 10	AMFEC con las acciones a implementar y su NRP calculado	97
Tabla 11	Tabla de costo por refacción	102

Índice de figuras

Figura 1	Gráficas de producción internacional de productos textiles	4
Figura 2	Gráfica de costos de mantenimiento en México	5
Figura 3	Tipos de fallos	8
Figura 4	Diagrama de fallos en maquinarias Open End	11
Figura 5	Matriz de criticidad.....	22
Figura 6	Niveles de riesgo matriz de criticidad	24
Figura 7	Análisis cualitativo de nivel de riesgo	27
Figura 8	Técnicas para determinar el riesgo.....	28
Figura 9	Matriz de riesgo rangos de probabilidad y frecuencia.....	30
Figura 10	Matriz de riesgo según Ciliberti.....	32
Figura 11	Matriz de mantenimiento basado en criticidad.....	33
Figura 12	Flujograma de criticidad.....	36
Figura 13:	Método probabilidad de falla	38
Figura 14	Indicadores del AMEF	42
Figura 15	Proceso de RCM	44
Figura 16	Clasificación de la gravedad de fallo	46
Figura 17	Clasificación de frecuencia o probabilidad de fallo	47
Figura 18	Clasificación de fallo	47
Figura 19	Diagrama de la metodología AMFEC.	49
Figura 20	Gráfica de control estadístico	58
Figura 21	Diagrama de Flujo de técnicas a utilizar	71
Figura 22	Diagrama de Pareto con identificación de fallos más altos.....	74
Figura 23	Plan de mantenimiento predictivo.....	86
Figura 24	Tapas de la maquina Open End Saurer Autocore 9	87
Figura 25	Diagrama X-S de las temperaturas.....	88
Figura 26	Gráfica X-R de temperaturas.....	89
Figura 27	Toma de temperatura con cámara termográfica.....	90
Figura 28	Diagrama X-R de temperaturas controladas	91
Figura 29	Diagrama X-S de temperaturas controladas.....	91

Figura 30	Diseño de distribución propuesta 1 y diagrama de recorrido	93
Figura 31	Diseño de distribución propuesta 2 y diagrama de recorrido.....	94
Figura 32	Diseño de distribución de maquinaria propuesta 3 y diagrama de recorrido.	95
Figura 33	Diseño de distribución propuesta 4 y diagrama de recorrido.....	96
Figura 34	Gráfica de comparación de la confiabilidad.	102

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Tritón Industrial S.A de C.V. es una empresa 100% mexicana con más de 30 años de experiencia en hilatura. Fabrican hilo 100% algodón y mezclas, cuentan con la más alta tecnología de última generación, así como los más exigentes procesos de calidad de manera que puedan brindar a sus clientes el mejor producto terminado que pueda ofrecer el mercado.

El mantenimiento de máquinas industriales se refiere al proceso que analiza la eficiencia de los equipos para generar mayor productividad para el negocio.

En la industria textil, este procedimiento contribuye al éxito de la empresa, manteniéndola relevante en un escenario cada vez más competitivo. Sin embargo, como en todo proceso industrial, se generan fallas que afectan la producción y repercuten en el desempeño organizacional.

García J. (2011), en su investigación demostró que al realizar el mantenimiento no es solamente: lubricar cojinetes, ajustar tuercas, arreglar piezas averiadas o capacitar trabajadores para que realicen esas funciones, indica que el mantenimiento abarca mucho más, el planeamiento y la organización es el entorno más importante para conseguir mejores resultados.

El personal en el departamento de mantenimiento se debe distribuir en dos sub áreas: una de mantenimiento predictivo y otra de mantenimiento preventivo en las diferentes especialidades técnicas (p.106).

En el presente trabajo se realizó un análisis de datos para saber que máquina era la más crítica, por consiguiente se realizó una matriz de criticidad y un Amfec que ayudó a determinar un plan de acciones correctivas para aplicar el mantenimiento predictivo en el área de mantenimiento eléctrico para detectar las fallas más frecuentes en la máquina Open end Saurer Autocore y que estas se puedan reducir y se siga llevando su aplicación después de la investigación ya que es una empresa que pocas veces toman en cuenta lo que se les detectó.

1.1. Antecedentes

El mantenimiento predictivo o basado en la condición evalúa el estado de la maquinaria y recomienda intervenir o no en función de su estado, lo cual produce grandes ahorros.

El diagnóstico predictivo de maquinaria se desarrolla en la industria en la década que va desde mediados de los ochenta a mediados de los noventa del siglo XX. Actualmente, las filosofías predictivas se aplican en la maquinaria crítica en aquellas plantas que cuentan con una gestión optimizada de sus activos (RCM, ISO 55001, RBM...). El mantenimiento basado en la condición optimiza al mantenimiento preventivo de manera que determina el momento preciso para cada intervención técnica de mantenimiento en los activos industriales.

El mantenimiento predictivo es un conjunto de técnicas instrumentadas de medida y análisis de variables para caracterizar en términos de fallos potenciales la condición operativa de los equipos productivos. Su misión principal es optimizar la fiabilidad y disponibilidad de equipos al mínimo costo.

De acuerdo con Nava (2006)

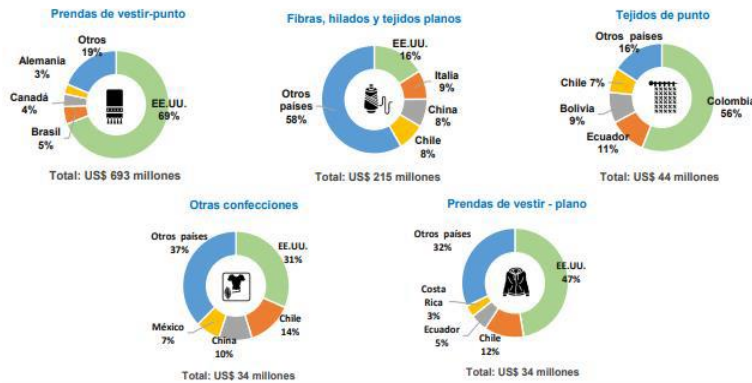
El mantenimiento predictivo, es el que se refiere a la detección de posibles fallas por medio de interpretación de parámetros y mediante estudios de los equipos en funcionamiento, que tiene el reducir los tiempos paro en equipos importantes, contando con la información significativa para lograr realizar en la parte de los equipos open end. (P.22)

Se puede apreciar que la siguiente figura 1 *Gráficas de producción internacional de productos textiles*, el nivel global presenta una gran variedad de países que producen productos textiles, por ello para que este tipo de industria pueda alcanzar sus objetivos debe presentar máquinas y equipos en óptimas condiciones, demostrando que si no se

realiza un correcto mantenimiento, estas tendrán un elevado costo de mantenimiento de sus equipos.

Figura 1

Gráficas de producción internacional de productos textiles



Nota: Representación gráfica de la producción textil para dar inicio al mantenimiento predictivo. Industria Textil y Confecciones. Recursos internet. Instituto de estudios económicos y sociales. 2020. [Fecha de consulta: 18 de Marzo del 2023].

En la actualidad las grandes industrias reconocidas a nivel mundial fueron las que dieron inicio a este tipo de mantenimiento. Según Jiménez., et al (2019), mencionan que:

En el sector textil las empresas son perjudicadas asiduamente por los constantes paros que se presentan en sus equipos, lo que provoca la disminución de la confiabilidad de estos, debido a paros imprevistos que se presentan durante el proceso. Lo que genera un incumplimiento de los objetivos y genera altos costos para la empresa. Al no tener conciencia del estado en el que se encuentran sus equipos y que el proceso se interrumpa de manera repentina o imprevista.

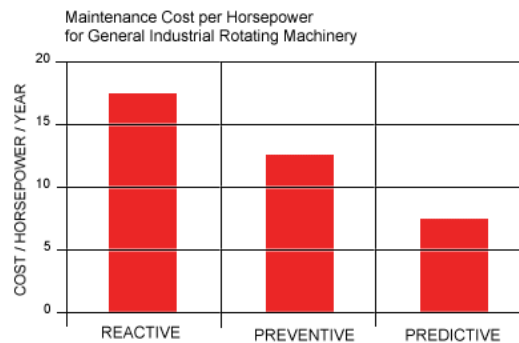
Según Leguizamón (2011) menciona que “todo sistema es confiable, siempre que funcione bajo un mínimo de averías”. Este fue uno de los fundamentos por los cuales las empresas peruanas iniciaron investigaciones para realizar controles respecto a los estados de sus equipos, considerando entre los principales indicadores el tiempo

promedio entre reparaciones y el tiempo promedio entre fallas, esto se dio para relacionar la confiabilidad de los equipos según las actividades de mantenimiento.

Respecto con la comparación que se muestra en la figura 2, resalta los costos que presentan los tipos de mantenimiento en las industriales, evidenciando cierta diferencia considerable entre los costos de estos tres programas de mantenimiento.

Figura 2

Gráfica de costos de mantenimiento en México



Nota: El gráfico representa los tipos de mantenimiento más utilizados y sus costos HOSEINIE, Sulle. Optimal Predictive Maintenance Planning for Water Spray System of Drum Shearer. Science Direct [en línea]. Octubre 2015. [Fecha de consulta: 09 de setiembre del 2023].

En el México las áreas de mantenimiento en diversas empresas se ven afectada debido a las restricciones de presupuesto, esto impide que se realicen ciertas actividades y supervisiones que mejoran la confiabilidad de la maquinaria, por ello se deja muchas veces de lado muchas veces de lado el óptimo funcionamiento de las máquinas y equipos para la producción. Además, que no se cuenta con análisis de seguimiento para los componentes de las máquinas, lo cual se refleja en ineficientes mantenimientos por falta de procedimientos.

En México una de las prácticas más utilizadas al presentarse fallas en maquinarias es el mantenimiento reactivo conocido como mantenimiento correctivo, esta se lleva a cabo debido a deficientes sistema de gestión, puesto que, se utilizan las máquinas hasta que se dañen.

Esto genera graves consecuencias porque la máquina debe parar hasta que se genere una solución, llegue un repuesto o si se debe cambiar alguna pieza del equipo. Según el SNI: Estas “consecuencias para una empresa que presenta un proceso continuo es crítico, ya que afecta directamente en los tiempos de entrega y en la calidad que puede presentar sus productos”, generando incumplimientos de metas y desconfianza en sus clientes. Además, que influyen en la disminución de la confiabilidad de los equipos, estas causan incrementos en los costos de reparación.

El diseño de Layout es un aspecto fundamental en la planificación y desarrollo de procesos y productos. Desde la Revolución Industrial, el diseño de Layout ha sido utilizado para mejorar la eficiencia y la productividad en las empresas. En la actualidad, el diseño de Layout sigue siendo una herramienta clave para mejorar la eficiencia y reducir los costos de producción. Los diseñadores de Layout deben considerar varios factores, como el flujo de trabajo, la ergonomía, la utilización del espacio y la seguridad. La implementación de un diseño de Layout efectivo puede mejorar la calidad del producto, reducir los costos de producción y mejorar la satisfacción del cliente.

El diseño de la producción en la Revolución Industrial se centró en la eficiencia y la productividad. El diseño y la disposición de las máquinas y equipos en una fábrica debían estar dispuestos de manera lógica y ordenada para maximizar la producción y minimizar los tiempos de inactividad. Se desarrollaron técnicas de "diseño de fábrica" para optimizar el uso del espacio y la disposición de las máquinas y trabajadores en la fábrica. Esta práctica sentó las bases para la planificación y el diseño de la producción en la actualidad.

La aplicación de herramientas de mejora continua en las industrias del sector automotriz, constituye una actividad indispensable, en razón de las alianzas y compromisos entre proveedores y clientes, por estar a la altura de las expectativas de calidad, competitividad y rentabilidad.

El estado de Querétaro, México, en los últimos años se ha caracterizado por el auge de la industria automotriz y, particularmente, de las empresas manufactureras que transforman hule y plástico.

El caso que se refiere aquí, respecto a una industria proveedora en el sector automotriz, surge de su necesidad e interés de atender índices de rechazo por parte de un importante cliente, localizados en una línea de producción de pedales.

El proceso de intervención mediante la aplicación del AMEF implicó el diseño de instrumentos de sondeo, síntesis de causas, sensibilización y capacitación en el área de mandos medios y área operativa; con el propósito de hacer del AMEF un “documento vivo” en la línea de producción que, como punto de partida, genere alternativas de prevención actualizadas, pero que también desarrolle el talento humano hacia enfoques de mejora continua.

Referir un “documento vivo” es optar por un proceso de actualización constante, que no sólo aporte elementos de resolución.

El AMEF, resulta ser un registro sistemático de observaciones y consideraciones, orientadas a “identificación y evaluación de fallas potenciales de un producto o proceso, junto con el efecto que provocan éstas, con el fin de establecer prioridades y decidir acciones para reducir las posibilidades de rechazo y, por el contrario, favorecer la confiabilidad del producto o proceso”. (Reyes, 2007).

La frecuencia, la severidad y los efectos son los conceptos que caracterizan las fallas y para ello es que se incluyen herramientas estadísticas, que sustentan la toma de decisiones que en un plazo determinado pueden favorecer la eficiencia de los procesos. En este caso, se considera la experiencia traducida en conocimiento a través de planes de control e instrucciones de trabajo. En este sentido es que se atiende no sólo como una herramienta para reducir el riesgo de defecto y rechazo, sino también como una guía efectiva para los operadores. El auge de la industria automotriz en México,

propició que muchas industrias se posicionaran para satisfacer necesidades específicas de este ramo.

Según García; (2013, p. 111)

“El análisis de fallos tiene como objetivo determinar las causas que provocan las averías repetitivas y con un alto coste para adoptar medidas preventivas que las eviten. Es importante destacar esa doble ficción de Análisis de fallos”.

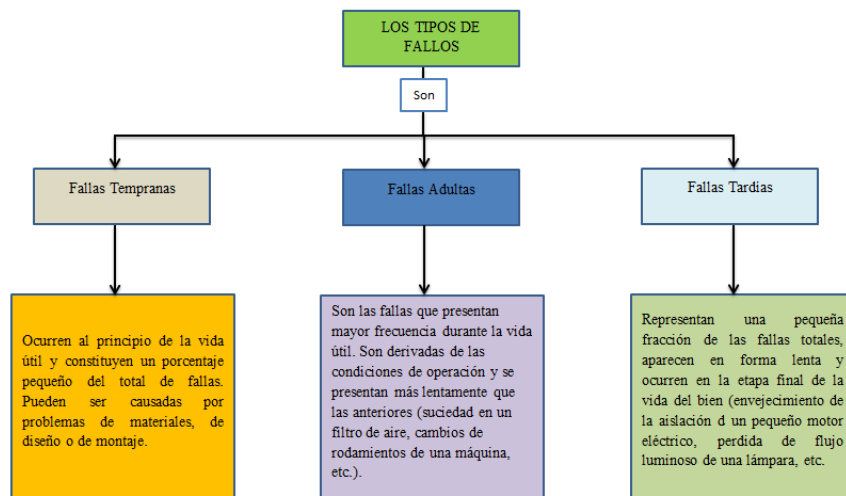
Tipos de Fallas.

Los tipos de fallos se clasifican en:

- Fallas tempranas.
- Fallas adultas.
- Fallas tardías.

Figura 3

Tipos de fallos



Nota: Clasificación de los tipos de fallos. Fuente: <http://www.iesmaritimopesquerolp.org>

Causas de fallos.

Son diferentes las causas dentro de una industria para que se produzca una falla en los equipos, estas están vinculadas con el desempeño del equipo.

Tenemos fallas físicas y fallas funcionales:

Fallas Físicas. - Están relacionadas con las magnitudes físicas como temperatura, presión, etc.

Falla Funcional. - Están relacionadas con la función que desempeñan dentro de la industria.

Las fallas se pueden corregir pero no todas, dependerán del uso y de las inspecciones básicas que se les realice, el operador debe estar atento al desempeño del equipo.

En el análisis de fallas está ligado íntimamente con la criticidad en donde se debe codificar el equipo para priorizar las actividades de mantenimiento preventivo.

Criticidad.

No todos los equipos tienen la misma importancia en una planta industrial es un hecho que unos equipos son más importantes que otros. Como los recursos de una empresa para mantener son limitados, debemos destinar la mayor parte de los recursos a los equipos más importantes, dejando una porción pequeña de reparto a los equipos menos pueden influir en los resultados de la empresa.

- Falla por mal funcionamiento de la máquina.

Este tipo de falla ocurre en el sistema hidráulico causando un mal funcionamiento en la máquina y por lo tanto en el actuador.

- Falla por mal funcionamiento del sistema hidráulico.

Este tipo de falla ocurre sin necesariamente afectar el rendimiento de la máquina, puede manifestarse como un incremento de temperatura del fluido, ruido a causa de un mal funcionamiento de la bomba hidráulica, excesivo goteo.

La criticidad consiste en determinar o clasificar los equipos existentes según la importancia que tienen para cumplir los objetivos de la industria.

Fallas Eléctricas.

Estas fallas son las causantes de daños de dispositivos eléctricos o electrónicos que se encuentran dentro de las máquinas herramientas debido a sobrecargas de voltaje que se dan en las líneas de corriente.

Unas de estas fallas pueden ser como:

- Caídas de tensión.
- Aislantes defectuosos
- Calentamiento de líneas por resistencias altas.
- Humedad dependiendo el ambiente donde se encuentra la máquina.
- Inversión de fases.

Según, García (2011, p. 111)

“Es muy habitual no definir objetivos al comenzar el proceso de implementación de gestión de mantenimiento. Esta una Herramienta de Planificación y Control para la gestión eficaz del mantenimiento de todo equipo e instalaciones de industrias, y empresas de servicio”.

La gestión de mantenimiento en la planta industrial Albán, tiene como objetivo realizar una planificación y control de los equipos con la finalidad optimizar la productividad,

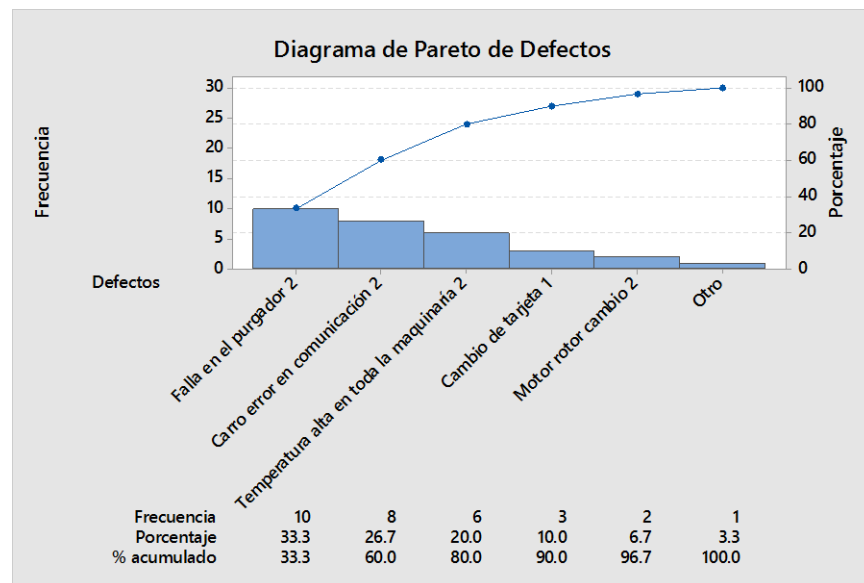
permitiendo incrementar significativamente la disponibilidad de los activos de la planta industrial, además de reducir y controlar los costos de mantenimiento.

1.2. Problema de Investigación

Tritón Industrial S.A de C.V es una organización textil dedicada a la elaboración de hilo a través del análisis que se realizó se reporta que presenta fallos de la maquinaria y equipo en las máquinas Open End Saurer Autocoro desde fallos en los carros por error de comunicación, los purgadores y posibles fallos en los motores rotores, así como existen paros por las altas temperaturas en las que trabajan están máquinas, lo cual refleja tiempos muertos significativos por paradas de línea no programadas ya que para la empresa esto significa pérdida de recurso financiero y producción requerida. Véase en la figura 3.

Figura 4

Diagrama de fallos en maquinarias Open End



Nota: En este gráfico se muestran los fallos más frecuentes en las maquinarias Open End

Fuente: Elaboración Propia

Dicho esto, se enfocará el trabajo en acciones para reducir el número de fallas e incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos para generar más ganancias y mayor producción, ya que la planta no cuenta con un registro adecuado de los paros de línea que se realizan, años anteriores se llevaba un registro en una bitácora pero debido a los gastos mayores esta se dejó de implementar y ahora solo se registran en una libreta normal lo cual se lleva un descontrol total de esto, ya que cuenta con manchas, roturas y mala visibilidad de las letras.

Ante ello no tienen contemplado el cómo actuar los trabajadores durante un paro de línea ya que si no funciona la máquina los trabajadores andan en otras áreas distrayendo a los demás. Dentro del mantenimiento eléctrico existen diferentes cambios ya que si hay un mantenimiento preventivo pues la limpieza de motores los hace cada 5 años en lo que se desgastan los baleros pero cada mes se lubrican con grasa especialmente para altas temperaturas.

1.3. Justificación

De acuerdo al análisis que se llevó a cabo en la empresa Tritón Industrial S.A de C.V. se lleva un programa de mantenimiento programado, sin embargo, durante el presente año se han presentado fallas en la maquinaria y equipo, lo que refleja tiempos muertos significativos por paradas no programadas, disminución de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, aumento de costes de reparación. Por lo anterior se establece que es necesario determinar el estado de la máquina en operación, antes de que fallen a través de un Amfec del cuál se derivan un plan de acciones en el que se considera utilizar el mantenimiento predictivo y modificar el lay out el cual permitirá que se tomen decisiones antes de que ocurra el fallo, cambiar o reparar la máquina en una parada cercana, detectar condiciones del equipo, subsanar, etc.

Para conseguir la realización de esta investigación se llevará a cabo el trabajo de campo e investigación dentro de las instalaciones de la empresa para realizar los análisis

respectivos y se tomen acciones que funcionen como estrategias para disminuir los fallos de máquina del equipo crítico.

Para determinar la confiabilidad como primordial problema para esta investigación, se realizó un análisis de todos los problemas que se presentaron durante las fallas en el proceso, esto se puede realizar por medio de las frecuencias con las que se presentaron.

La empresa Tritón Industrial S.A de C.V solo lleva a cabo un plan de mantenimiento programado sobre las máquinas Open end Saurer Autocoro sin embargo sigue presentado fallas, como son los paros de línea, baja productividad e incluso la pérdida de contratos la proyección de productividad que tiene la empresa es del 97% de eficiencia pero con las fallas solo alcanza el 95% ya que para pedir refacciones se tienen que generar con anticipación en un turno durante 4 meses se hizo el gasto de \$275,978.3 pesos cuando se podría reducir el alto costo de refacciones. Véase en la tabla 7.

1.4. Propósito del estudio

El propósito de esta investigación es detectar y evitar posibles fallos en el funcionamiento de los equipos a través del diseño del Amfec y la generación de un plan de acciones en el área de mantenimiento eléctrico de Tritón.

1.5. Objetivos del Estudio

1.5.1. Objetivo General

Realizar un Análisis de los modos y fallas de los efectos de y criticidad por medio de un AMFEC para reducir el Número Prioritario de Riesgo a través de generar un plan de

acciones para incrementar la confiabilidad en el equipo crítico del proceso de hilatura de la empresa Tritón industrial S. A. de C. V.

1.5.2. Objetivos específicos

- Identificar las principales fallas que se presentan en el equipo con la aplicación de un diagrama de Pareto.
- Identificar el equipo crítico con el desarrollo de un análisis de criticidad (Administración de mantenimiento).
- Determinar el Nivel de Riesgo Prioritario (NRP) con la aplicación de un Análisis de Modo y Efectos de Fallo (AMFEC)
- Disminuir el NRP a través de ejecutar un plan de acción que controlen la presencia de fallos en equipo prioritario, se realiza un diagrama de Gantt.
- Realizar análisis de costos para medir el impacto del proyecto.

1.6. Preguntas de Investigación

- ¿Cuál será el equipo crítico y/o maquinaria que más recurre en fallos y paros?
- ¿Cuál será el Nivel prioritario de riesgo de los posibles fallos y las acciones que disminuyan la probabilidad de que se presenten los fallos en el equipo crítico del proceso de hilatura?

- ¿Aplicar mantenimiento predictivo logrará reducir el número de fallas e incrementar la confiabilidad del equipo crítico en la empresa Tritón Industrial S.A de C.V.?

1.7. Planteamiento de Hipótesis

H1: Con el diagrama Pareto y el análisis de criticidad se identificará el equipo crítico del proceso de hilatura.

H2: Con el AMFEC se identificarán los posibles fallos del equipo crítico y las acciones con las que se logrará disminuir el NPR.

H3: ¿Con el mantenimiento predictivo se logra reducir el número de fallas e incrementar la disponibilidad del equipo crítico en la empresa Tritón Industrial S.A de C.V.?

CAPÍTULO II REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Diagrama de Pareto

El Diagrama de Pareto es una gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha por medio de barras sencillas después de haber reunido los datos para calificar las causas. De modo que se pueda asignar un orden de prioridades.

Por lo tanto, el Análisis de Pareto es una técnica que separa los “pocos vitales” de los “muchos triviales”. Una gráfica de Pareto es utilizada para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema desde los triviales de manera que un equipo sepa dónde dirigir sus esfuerzos para mejorar. Reducir los problemas más significativos (las barras más largas en una Gráfica Pareto) servirá más para una mejora general que reducir los más pequeños. Con frecuencia, un aspecto tendrá el 80% de los problemas. En el resto de los casos, entre 2 y 3 aspectos serán responsables por el 80% de los problemas.

Mediante el Diagrama de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia mediante la aplicación del principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales) que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a solo unos graves. Ya que por lo general, el 80% de los resultados totales se originan en el 20% de los elementos. La minoría vital aparece a la izquierda de la gráfica y la mayoría útil a la derecha. Hay veces que es necesario combinar elementos de la mayoría útil en una sola clasificación denominada otros, la cual siempre deberá ser colocada en el extremo derecho. La escala vertical es para el costo en unidades monetarias, frecuencia o porcentaje.

La gráfica es muy útil al permitir identificar visualmente en una sola revisión tales minorías de características vitales a las que es importante prestar atención y de esta manera utilizar todos los recursos necesarios para llevar a cabo una acción correctiva sin malgastar esfuerzos.

Algunos ejemplos de tales minorías vitales serían:

- La minoría de clientes que representen la mayoría de las ventas.
- La minoría de productos, procesos, o características de la calidad causantes del grueso de desperdicio o de los costos de reelaboración.
- La minoría de rechazos que representa la mayoría de quejas de la clientela.
- La minoría de vendedores que está vinculada a la mayoría de partes rechazadas.
- La minoría de problemas causantes del grueso del retraso de un proceso.
- La minoría de productos que representan la mayoría de las ganancias obtenidas.
- La minoría de elementos que representan al grueso del costo de un inventario.

2.1.1. ¿Cuándo se utiliza?

- Al identificar un producto o servicio para el análisis para mejorar la calidad.
- Cuando existe la necesidad de llamar la atención a los problema o causas de una forma sistemática.
- Al identificar oportunidades para mejorar.
- Al analizar las diferentes agrupaciones de datos: ej. por producto, por segmento, del mercado, área geográfica, etc.
- Al buscar las causas principales de los problemas y establecer la prioridad de las soluciones.
- Al evaluar los resultados de los cambios efectuados a un proceso: antes y después.
- Cuando los datos puedan clasificarse en categorías.
- Cuando el rango de cada categoría es importante.

Pareto es una herramienta de análisis de datos ampliamente utilizada y útil en la determinación de la causa principal durante un esfuerzo de resolución de problemas. Permite ver los problemas más grandes y facilita a los grupos establecer prioridades. En casos típicos, los menos, (pasos, servicios, ítems, problemas, causas) son responsables por la mayor parte el impacto negativo sobre la calidad. Si enfocamos nuestra atención en estos pocos vitales, podemos obtener la mayor ganancia potencial de nuestros esfuerzos por mejorar la calidad.

Un equipo puede utilizar la Gráfica de Pareto para varios propósitos durante un proyecto para lograr mejoras:

- Para analizar las causas.
- Para estudiar los resultados.
- Para planear una mejora continua.
- Las Gráficas de Pareto son especialmente valiosas como fotos de “antes y después” para demostrar qué progreso se ha logrado. Como tal, la Gráfica de Pareto es una herramienta sencilla pero poderosa.

2.1.2. ¿Cómo se utiliza?

- 1) Seleccionar categorías lógicas para el tópico de análisis identificado (incluir el periodo de tiempo).
- 2) Reunir datos. La utilización de un Check List puede ser de mucha ayuda en este paso.
- 3) Ordenar los datos de la mayor categoría a la menor.
- 4) Totalizar los datos para todas las categorías.

- 5) Calcular el porcentaje del total que cada categoría representa.
- 6) Trazar los ejes horizontales (x) y verticales (y primario - y secundario)
- 7) Trazar la escala del eje vertical izquierdo para frecuencia (de 0 al total, según se calculó anteriormente).
- 8) De izquierda a derecha trazar las barras para cada categoría en orden descendente. Si existe una categoría “otros”, debe ser colocada al final, sin importar su valor. Es decir, que no debe tenerse en cuenta al momento de ordenar de mayor a menor la frecuencia de las categorías.
- 9) Trazar la escala del eje vertical derecho para el porcentaje acumulativo, comenzando por el 0 y hasta el 100%.
- 10) Trazar el gráfico lineal para el porcentaje acumulado, comenzando en la parte superior de la barra de la primera categoría (la más alta).
- 11) Dar un título al gráfico, agregar las fechas de cuando los datos fueron reunidos y citar la fuente de los datos.
- 12) Analizar la gráfica para determinar los “pocos vitales”.

2.1.3. Relación con otras herramientas

Un Diagrama de Pareto generalmente se relaciona con:

- Diagrama de Causa y Efecto (Ishikawa)
- Check List de Revisión
- Check List de reunión de datos
- Matriz para la Planeación de Acciones

(OLERCA et al.,2021)

2.2. Análisis de criticidad.

Es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos, de acuerdo a una figura de mérito llamada "Criticidad"; que es proporcional al "Riesgo" creando una estructura que facilita la toma de decisiones y el direccionamiento del esfuerzo y los recursos hacia las áreas, de acuerdo con su impacto en el negocio.

Mendoza (2000) dice que

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisión es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. (p.13)

La criticidad se puede expresar como:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente. En función de lo antes expuesto se estable como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos (operacionales y de mantenimiento)
- Tiempo promedio para reparar

- Frecuencia de falla

Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla, en la cual un eje representa la frecuencia de falla y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla. (p.25)

Figura 5

Matriz de criticidad



Nota: Tabla de ponderación de criticidad según su impacto. Fuente: Anel (2021)

Para realizar en Análisis de Criticidad debes seguir los siguientes pasos:

1. Definir los niveles en donde se realizará el análisis, ya sea equipos, sistema u instalación de acuerdo con los requerimientos de jerarquización de activos.
2. La estimación de la frecuencia de falla y el impacto total o consecuencia de las fallas, las cuales pueden ser daños al personal, daños a las instalaciones, impacto a la producción, impacto al ambiente e impacto a la población.

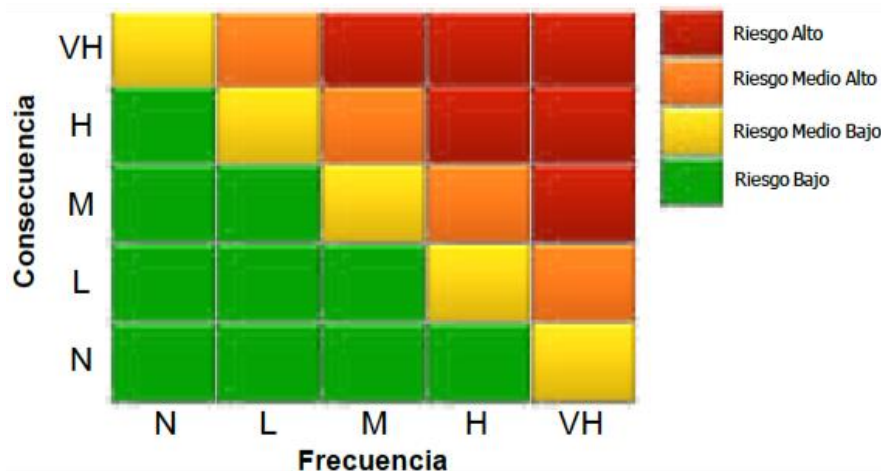
3. Cálculo de nivel de criticidad: para determinar el nivel de criticidad de una instalación, sistema, equipo o elemento se debe emplear la fórmula mencionada anteriormente. Luego una vez obtenido el valor de la criticidad, se busca en la matriz de criticidad, para determinar el nivel de criticidad de acuerdo con los valores y la jerarquización establecidos.
4. Análisis y Validación de los resultados: Los resultados obtenidos deberán ser analizados a fin de definir acciones para minimizar los impactos asociados a los modos de falla identificados que causan la falla funcional.
5. Definir el nivel de análisis: La valoración del nivel de criticidad y la identificación de los activos más críticos permitirá orientar los recursos y esfuerzos a las áreas 28 que más lo ameriten, así como gerenciar las acciones de mitigación del riesgo en elementos subsistemas, considerando su impacto en el proceso.
6. Determinar la criticidad, dado que, si el valor de criticidad se debe a valores altos en alguna de las categorías de consecuencias, las acciones deben orientarse a mitigar los impactos que el evento (modo de falla o falla funcional) puede generar. Dentro de las acciones o actividades que se recomiendan, se pueden incluir la aplicación de metodologías basadas en confiabilidad.
7. Sistema de Seguimiento de control: Después de la selección de las acciones de mejora en las frecuencias.
8. Ocurrencia de los eventos y mitigación de impactos se debe crear y establecer e
9. Seguimiento y Control, para garantizar el monitoreo de la ejecución de las acciones seleccionadas y el cumplimiento de las recomendaciones consecuentes del análisis de criticidad, el cual permitirá asegurar la continuidad en el tiempo de la aplicación de los planes de acción y monitorear los cambios o mejoras que

pueden derivarse de la aplicación de las acciones generadas como resultados de los análisis. (Rojas, 2018, p.17)

El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias. Ambas magnitudes, frecuencias y consecuencias, se registran en una matriz, diseñada en base a un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la Instalación, Sistema, Equipo o Dispositivo (ISED) bajo análisis, tal como se ilustra. (Gutiérrez, et al, 2023, p.13)

Figura 6

Niveles de riesgo matriz de criticidad



Nota: Productos de análisis de criticidad. Fuente: Gutiérrez et al. (2023)

Los productos del Análisis de Criticidad son:

- Lista jerarquizada por “criticidad” de los ISED’s (instalaciones, sistemas, equipos o dispositivos) bajo análisis.
- Matriz de criticidad con la calificación del riesgo asociado a cada ISED analizado.

2.2.1. Riesgo

El riesgo es un término de naturaleza probabilística, que se define como “egresos o pérdidas probables consecuencia de la probable ocurrencia de un evento no deseado o falla”. En este simple pero poderoso concepto coexiste la posibilidad de que un evento o aseveración se haga realidad o se satisfaga, con las consecuencias de que ello ocurra.

Matemáticamente el riesgo asociado a una decisión o evento viene dado por la expresión universal:

$$R(t) = P(t) \times C(t)$$

Donde:

R(t): Riesgo

P(t): Probabilidad

C(t): Consecuencias

Al momento de evaluar un particular evento o aseveración en particular, es necesario cuantificar las probabilidades de ocurrencia y consecuencias de cada uno de los escenarios que conllevan al evento bajo estudio.

El riesgo se comporta como una balanza que permite ponderar la influencia de varias alternativas en términos de su impacto y probabilidad, orientando al analista en el proceso de toma de decisión.

En ese proceso de toma de decisiones se emplea el riesgo como una herramienta para la optimización de los planes de cuidado de activos, dirigiendo mayores recursos y esfuerzos para aquellos equipos que presente un riesgo elevado y una reducción de esfuerzo y recursos para los equipos de bajo riesgo, lo cual permite en forma general un gasto justificado en los recursos dirigidos a las partidas de mantenimiento. (Gutiérrez, et al, 2023, p.13-14)

2.2.2. Técnicas de análisis de riesgo

Existen diferentes técnicas para dimensionar el riesgo, todas ellas enmarcadas en tres modalidades técnicas “Cualitativas”, “Semi- Cuantitativas” y técnicas “Cuantitativas”.

Técnicas cualitativas:

Las técnicas cualitativas como su nombre lo indica, obedecen a razonamiento de naturaleza cualitativa, donde la estimación de la probabilidad de ocurrencia de los eventos y de sus respectivas consecuencias se realiza utilizando una escala relativa donde no se establecen rangos numéricos explícitos.

La estimación del riesgo pasa por estimar la probabilidad de ocurrencia de un evento (frecuencia de ocurrencia) y sus consecuencias. Las técnicas cualitativas, proponen estimar ambos términos, calificándolos como se muestra a continuación:

Estimación cualitativa de la frecuencia

- 1.- Extremadamente improbable.
- 2.- Improbable.
- 3.- Algo probable.
- 4.- Probable.
- 5.- Muy probable.

Estimación cualitativa de consecuencias

- A.- No severa.
- B.- Poco severas.
- C.- Medianamente severas.
- D.- Muy severas.
- E.- Extremadamente severas.

que las técnicas cualitativas y semi cuantitativas y que por ende requieren mayor tiempo para su desarrollo.

Las técnicas cuantitativas permiten determinar valores absolutos de riesgo, que pueden tratarse como egresos probables y por ende incluirse en evaluaciones financieras a ser tomados en consideración en cualquier proceso de toma de decisiones.

El objetivo principal es determinar el riesgo asociado a un evento, escenario o decisión en particular a través de la cuantificación explícita de la probabilidad y las consecuencias, como se muestra.

Figura 8

Técnicas para determinar el riesgo



Nota: Cuantificación de la probabilidad y consecuencias del riesgo. Fuente: Gutiérrez et al (2023)

2.2.3. Fundamentos del análisis de criticidad

El Análisis de Criticidad (AC) es una metodología “semicuantitativa” para dimensionar el riesgo que permite establecer jerarquías o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos (ISED’S), de acuerdo a una figura de mérito llamada “Criticidad”; que es proporcional al “Riesgo”: La Criticidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

CRITICIDAD = Frecuencia de Falla x Impacto

La cual es proporcional a la siguiente ecuación:

RIESGO = Prob.Falla x Consecuencia

La Frecuencia de Falla es proporcional a la probabilidad de falla y el Impacto es proporcional a la Consecuencia de una falla; en consecuencia; CRITICIDAD es Proporcional al RIESGO.

El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus impactos o consecuencias. Ambas magnitudes; frecuencias e impactos; se llevan entonces a una matriz; como la mostrada en la Figura 5 que tiene un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la instalación, sistema, equipo o dispositivo bajo análisis.

La figura 5; muestra un típico arreglo de una matriz de riesgo 4x4 semicuantitativa; Puede verse en la figura que el eje de la probabilidad o frecuencia se divide en rangos calificados como Alto, Medio, Bajo y Remoto; y de igual manera se dividen las consecuencias en rangos calificados como Grave; Substancial, Marginal e Insignificante. Estos rangos deben asociarse a valores numéricos para estudios cuantitativos y/o a descripciones muy claras para el caso de estudios semicuantitativos o cualitativos.

En la matriz pueden identificarse tres regiones; a saber:

Región de Riesgo Inaceptable.

Región de Riesgo Aceptable.

Una región entre las regiones de riesgo aceptable y riesgo inaceptable en la cual se requiere de acciones de evaluación detallada, gerencia y monitoreo del riesgo.

Esta matriz es solo un ejemplo que considera la división en regiones que se muestra la Figura 5. Esta división es la recomendada por la Norma NORZOK Z-013 – “Risk and Emergency Preparedness Analysis”. No obstante, es importante aclarar que para cada proceso, tipo de industria o sistema particular bajo estudio debe establecerse claramente lo que se considerará como riesgo intolerable y lo que se considerará como riesgo tolerable. Esto debe además corresponder a un “gran acuerdo” aceptado a todos los niveles de la organización o proceso donde se utilizará la matriz.

Un aspecto clave en el establecimiento de una matriz de riesgo es la definición de los rangos de probabilidad o frecuencia y de impacto o consecuencias; a continuación se muestran ejemplos de definiciones de estos rangos:

Figura 9

Matriz de riesgo rangos de probabilidad y frecuencia

CONSECUENCIA / IMPACTO	Grave				
	Sustancial				
	Marginal				
	Insignificante				
		Remoto	Bajo	Medio	Alto
PROBABILIDAD / FRECUENCIA					

	Riesgo Inaceptable
	Se requiere evaluación, gerencia y monitoreo del riesgo
	Riesgo Aceptable

Nota: Matriz de criticidad. Fuente: Norma NORZOK Z-013 “Risk and Emergency Preparedness Analysis”

2.2.4. Métodos para análisis de criticidad

Durante el proceso de concepción y diseño de una estructura de criticidad para un sistema, proceso o negocio en particular, debe tomarse en cuenta tres grandes tareas:

- Realizar un exhaustivo análisis estadístico de eventos de falla y de su impacto global en el negocio, para establecer rangos relativos para las frecuencias de falla y para los impactos o consecuencias de falla.
- Establecer claramente lo que se considerará como riesgo intolerable y lo que se considerará como riesgo tolerable; lo cual implica un extenso análisis de “tolerabilidad del riesgo” en toda la organización, y la revisión de normas, estándares y regulaciones vigentes por tipo de proceso.
- Lograr un “gran acuerdo” aceptado a todos los niveles de la organización o proceso donde se utilizará la estructura de criticidad y unificar criterios para su interpretación y correcta utilización.

Las tareas previamente expuestas son seguramente posibles, pero también implican un considerable esfuerzo de análisis y el consumo de recursos y tiempo; por esta razón, muchas organizaciones deciden buscar entre las estructuras de criticidad ya diseñadas y probadas para adoptar una de estas metodologías (la que mejor se adecue a la naturaleza del proceso o negocio bajo análisis).

A continuación se describen brevemente algunas de las metodologías de criticidad de más amplia aceptación en la industria de procesos.

2.2.5. Método de Ciliberti

Este enfoque de carácter cualitativo, combina dos (2) matrices de criticidad; una construida desde la óptica de seguridad de los procesos y otra construida desde la óptica del impacto en producción. Ambas matrices se integran en una matriz de criticidad global, para obtener la criticidad total del equipo estudiado. Es el más completo de los métodos, ya que considera las probabilidades y consecuencias en las áreas de SHA y producción separadamente y luego une los resultados.

2.2.6. Mantenimiento Basado en Criticidad

El Mantenimiento Basado en Criticidad (CBM). Equilibra el nivel de criticidad desde la óptica de proceso igualmente al de seguridad, estableciendo un reporte de criticidad que establece un rendimiento de la inversión a las compañías para los esfuerzos de integridad mecánica, mientras que a su vez establece la complacencia con las regulaciones gubernamentales. Este acercamiento perfecciona la efectividad del programa de integridad mecánica, enfocándose en los equipos más importantes, o críticos.

Todos los equipos del proceso se evalúan con énfasis igual en el peligro (salud, seguridad, y ambiental) y criterios de proceso. Cada equipo recibe un grado compuesto basado en las entradas del peligro y del proceso. El grado compuesto se utiliza para establecer una graduación de la criticidad del proceso y del peligro (PHCR) para ese equipo. El valor de PHCR es una graduación relativa en una jerarquía total de la criticidad que se utilice para determinar las prioridades para los programas de mantenimiento, las inspecciones y las reparaciones.

Figura 11

Matriz de mantenimiento basado en criticidad

Matriz de graduación de la criticidad del proceso y del Peligro						
	HCR					
	4	3	2	1	0	
P C R	4	A44	A34	A24	A14	A04
	3	A43	B33	B23	B13	B03
	2	A42	B32	C22	C12	C02
	1	A41	B31	C21	D11	D01
	0	A40	B30	C20	D10	D00

Nota: Matriz Basado en Criticidad. Fuente: Análisis de criticidad integral de activos. Predictiva. Fuente: Gutiérrez et al. (2023)

Análisis de Criticidad para propósitos de Mantenimiento. NORSOK STANDARD Z-008.

En este punto describiremos brevemente uno de los más utilizados estándares en la industria del gas y del petróleo; el Estándar NORSOK Z-008; pero para profundizar en su entendimiento y aplicaciones se recomienda a los lectores consultar la referencia.

El propósito del estándar NORSOK Z-008 es mucho más amplio que el de las metodologías de criticidad previamente expuestas, ya que no solo permite establecer las criticidades de los componentes de un sistema de producción, sino que dentro de la misma norma incluye un procedimiento para la optimización de programas de mantenimiento para facilidades nuevas y en servicio, ubicadas en tierra y costa afuera, considerando los riesgos relacionados con personal, ambiente, pérdida de producción y costos económicos directos (todos los costos aparte de los costos de la pérdida de producción).

El objetivo principal de la norma NORSOK es establecer las bases para el diseño y optimización de los programas de mantenimiento para plantas de petróleo y gas nuevas y en servicio, basados en la criticidad de sus componentes, considerando los riesgos relacionados con:

- Personal.
- Ambiente.
- Pérdida de producción.
- Costos Económicos Directos (todos los costos aparte de los costos de la pérdida de producción).

El estándar NORSOK Z-008 aplica para Equipos Mecánicos (estáticos y rotativos), Instrumentos y Equipos Eléctricos. Están excluidos del alcance de esta Norma las Estructuras de Carga Rodante, Estructuras otantes, Raisers y gasoductos/oleoductos.

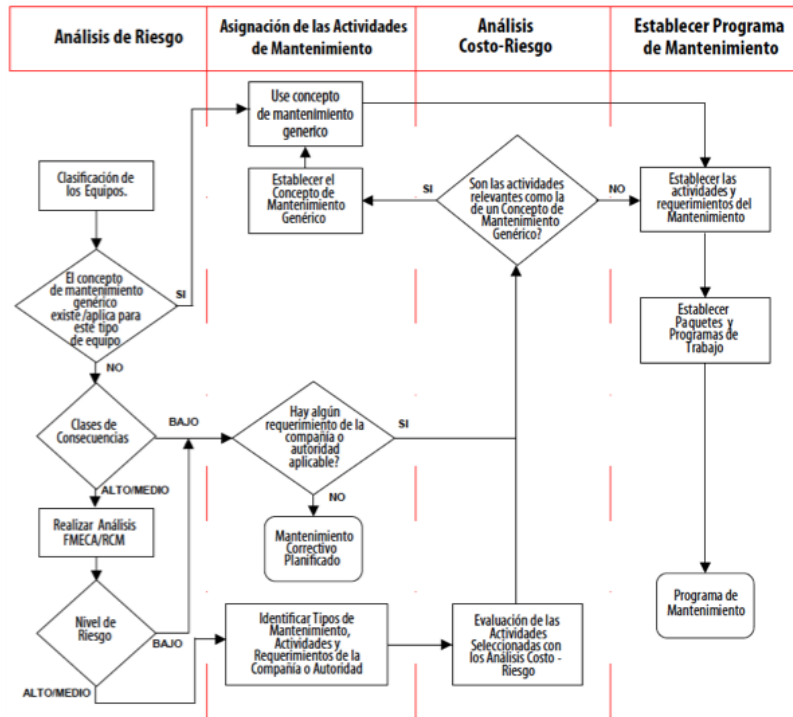
Este estándar NORSOK es aplicable para los propósitos diferentes como:

- Fase de Diseño. (Determinar los requerimientos iniciales de mantenimiento, identifica fallas ocultas de equipos críticos escondidos sobre equipo crítico y selección de partes y repuestos).
- Preparación para la operación.
- Desarrollo de programas de mantenimiento iniciales para la puesta en funcionamiento de sistemas y selección de piezas de repuesto corrientes.
- Fase Operacional. (Optimización de programas de mantenimiento existentes y como guía para priorizar ordenes de trabajo).

Para la determinación de la criticidad de los activos según esta norma se emplea el siguiente flujograma:

Figura 12

Flujograma de criticidad



Nota: Metodología de NORSOK STANDARD Z-008. Fuente: Norma NORZOK Z-013 "Risk and Emergency Preparedness Analysis"

2.2.7. Inspección Basada en Riesgo (IBR)

Este análisis de criticidad se basa en la aplicación de la etapa inicial (Fase de Análisis Cualitativo) del estudio de IBR (Inspección Basada en Riesgo), fundamentada en las normativas API RP-580 y API PUB-581. Esta metodología permite calcular la criticidad (riesgo) con base en el análisis del comportamiento histórico, modos de degradación o deterioro, características de diseño, condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas gerenciales tomando en cuenta al mismo tiempo la calidad y efectividad de la inspección, así como las consecuencias asociadas a las potenciales fallas.

Esta es una metodología especial de análisis de criticidad para equipos estáticos y solo aplica para aquellos equipos cuyo principal mecanismo de deterioro es la corrosión.

Esta metodología permite la ubicación de los equipos analizados en una matriz de 5x5 que presenta cuatro niveles de clasificación de riesgo que son: riesgo bajo representado típicamente en color blanco o verde, riesgo medio presentado en amarillo, riesgo medio – alto graficado en naranja y alto riesgo mostrado en rojo.

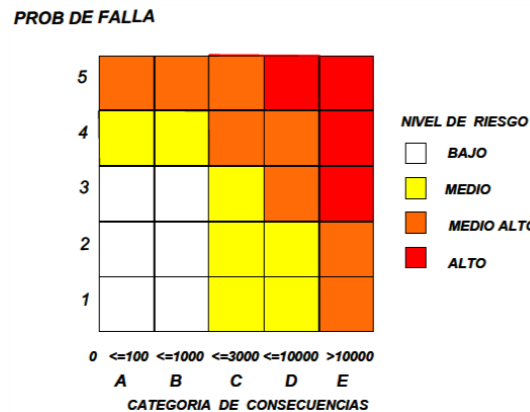
La metodología de IBR además de determinar el nivel de riesgo asociado a los componentes estáticos de un sistema sometidos a procesos de corrosión, permite evaluar la efectividad del plan de inspección para reducir dicho riesgo. En dicha metodología se define la falla como cualquier evento que ocasione la rotura de los límites del equipo. Por lo que se puede afirmar que la falla considerada en IBR es la pérdida de la función de contención del fluido presurizado, dicho en otras palabras, la fuga del fluido presurizado al medio ambiente. Un programa exhaustivo de IBR debe incluir todos los equipos estáticos que componen la barrera de contención de presión del sistema en evaluación, de acuerdo con las necesidades del usuario. Estos equipos deben ser, entre otros, recipientes a presión (torres, tambores, tanques, etc.) y sistemas de tuberías de proceso.

EL análisis IBR completo implica tres fases diferentes:

- Fase I. Análisis cualitativo de riesgo.
- Fase II. Análisis semi – cuantitativo de riesgo. Fase III. Análisis cuantitativo de riesgo.
- Fase III. Análisis cuantitativo de riesgo.

Figura 13:

Método probabilidad de falla



Nota: Matriz de Riesgo según IBR. Fuente: Análisis de criticidad integral de activos. Predictiva (2023) (Mendoza, R. H. 2013).

2.3. Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF)

Es una herramienta técnica de análisis preventivo, aplicable a los sistemas con riesgos potenciales de no alcanzar los objetivos de fiabilidad y mantenibilidad, para los que han sido previstos, asimismo, cuantifica y evalúa el riesgo de fallo en los sistemas.

El sistema puede ser un producto, un proceso de trabajo y un medio de producción. se analizan todas las características del producto y todas las operaciones (funciones) del proceso, de una forma exhaustiva buscando todas las maneras posibles de presentarse el fallo, es decir, buscando todos los posibles riesgos que se puedan presentar para el cliente.

Por cada fallo potencial que se pueda presentar se hace una estimación del efecto que se pueda tener en el sistema, tomando las acciones necesarias para minimizar el efecto de este, mediante la eliminación de las causas que originan estos defectos. Se asegura la minimización del riesgo de fallo por los siguientes motivos. (Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF).

- Ayuda a la evaluación de las exigencias del diseño, impulsando a la búsqueda de alternativas.
- Origina que aumente la probabilidad de considerar los modos de fallos potencial, así como los efectos de estos en funcionamiento del sistema.
- Se obtiene una información adicional, que apoya la mejora en la definición de pruebas y ensayos en el desarrollo del sistema.

2.3.1. AMEF de procesos y medios

Se obtiene un diccionario de modo de fallos potenciales, clasificados en función de los efectos que tienen sobre el cliente.

En resumen, las características principales de esta herramienta son:

- De carácter preventivo: Ayuda a anticiparse en la ocurrencia de fallo, tanto en el producto, como en el proceso y el medio, permitiendo tomar acciones de que se presente el problema.
- De sistematización: Proporciona un enfoque estructurado y una cultura en la organización, asegurando que se han tenido en cuenta todas las posibilidades de fallo.
- De priorización: Permite crear una escala o secuencia de priorización en la aplicación de acciones, dependiendo de su impacto o efecto en el cliente.
- De participación: Dado que es una herramienta que se aplica en equipo, ayuda a crear una sinergia de uso, conocimiento, etc.

2.3.2. Tipos de AMEF

El procedimiento AMEF puede aplicarse a:

- **Productos:** El AMEF aplicado a un producto sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en el diseño, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que pueden llegar a tener en el usuario o en el proceso de producción.
- **Procesos:** El AMEF aplicado a los procesos sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en las etapas de producción, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que puedan llegar a tener en el usuario o en etapas posteriores de cada proceso.
- **Sistemas:** El AMEF aplicado a sistemas sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en el diseño del software, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que pueden llegar a tener en su funcionamiento.
- **Otros:** El AMEF puede aplicarse a cualquier proceso en general en el que se pretendan identificar, clasificar y prevenir fallas mediante el análisis de sus efectos, y cuyas causas deban documentarse.

2.3.3. Ventajas potenciales del AMEF

Este procedimiento de análisis tiene una serie de ventajas potenciales significativas, por ejemplo:

- Identificar las posibles fallas en un producto, proceso o sistema.
- Conocer a fondo el producto, el proceso o el sistema.

- Identificar los efectos que puede generar cada falla posible.
- Evaluar el nivel de criticidad (gravedad) de los efectos.
- Identificar las causas posibles de las fallas.
- Establecer niveles de confiabilidad para la detección de fallas.
- Evaluar mediante indicadores específicos la relación entre: gravedad, ocurrencia y defectibilidad.
- Documentar los planes de acción para minimizar los riesgos.
- Identificar oportunidades de mejora.
- Generar Know-how.
- Considerar la información del AMEF como recurso de capacitación en los procesos.

2.3.4. ¿Cuándo se debe implementar un AMEF?

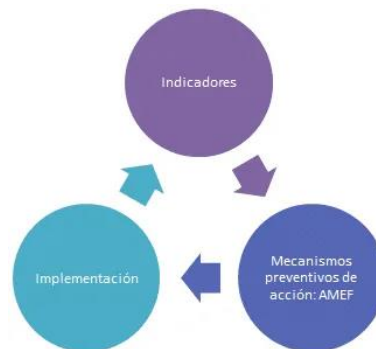
El AMEF es un procedimiento que enriquece a las organizaciones, de manera que considerar implementarlo no requiere de condiciones específicas de las operaciones. Sin embargo, pueden detectarse situaciones en las cuales el AMEF es una herramienta vital de soporte, por ejemplo:

- Diseño de nuevos productos y/o servicios.
- Diseño de procesos.
- Programas de mantenimiento preventivo.
- Etapas de documentación de procesos y productos.
- Etapas de recopilación de información como recurso de formación.
- Por exigencia de los clientes.

El AMEF es por excelencia la metodología propuesta como mecanismo de acción preventivo en el diagnóstico y la implementación del Lean Manufacturing. Este se activa por medio de los indicadores cuando se requiere prevenir la generación de problemas.

Figura 14

Indicadores del AMEF



Nota: Ciclo de metodología propuesta de indicadores AMEF. Fuente: Análisis del modo de fallas (AMEF) (2016)

(De Jesús Anaya Barbosa & Rangel, 2018)

2.4. Análisis de Modo Falla, Efecto y Criticidad (AMFEC)

El método AMFEC fue utilizado en la industria aeroespacial en la década de los 60, siendo los primeros en poner en práctica el método, que incluso llegó a recibir una especificación de la norma militar MIL-STD16291 cuyo nombre fue: “Procedimientos para la realización de análisis de modo de fallo, efectos y criticidad”. Incluso la industria automovilística FORD empezó hacer uso de esta metodología en la década de los 70, y con el pasar de los años se ha extrapolado a distintos sectores.

Actualmente es conocido con la denominación de AMFEC (Análisis Modal de Fallos, Efectos y criticidad) al integrar de forma precisa y evidente la gravedad de las consecuencias de los fallos. Inicialmente AMFEC fue aplicada primordialmente para el análisis de productos o procesos en fase de diseño, aunque también es válido para cualquier proceso o situación a evaluar.

2.4.1. AMFEC (Análisis Modal de Fallos, Efectos y su Criticidad)

Es una técnica de análisis ordenada y minuciosa de los fallos que podrían originarse en alguna parte cualquiera de un sistema o producto, y determinar cuál sería el efecto de cada modo de fallo sobre las partes conjuntas.

Esta metodología tiene como propósito sistematizar la investigación de un proceso o producto, para lograr identificar los puntos de fallas potenciales y desarrollar planes de acción para contrarrestar los riesgos. AMFEC adopta criterios de clasificación al igual que en la seguridad del trabajo, tales como: la posibilidad de acontecimiento de fallos y severidad o gravedad de las consecuencias, también introduce criterios para la capacidad de detección de fallos producidos por destinatario o usuario del equipo (proceso a analizar).

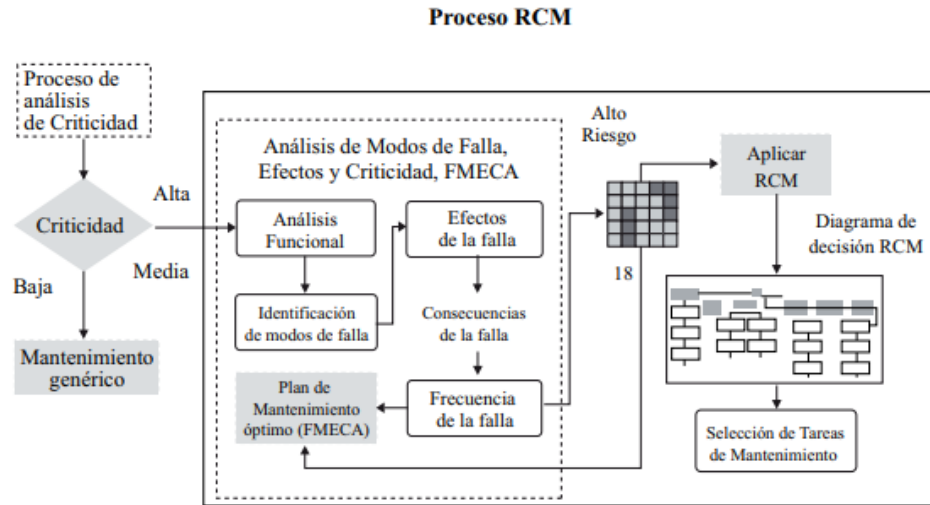
El método de Análisis Modal de Fallos, Efectos y su Criticidad es utilizado comúnmente por empresas de manufactura en diferentes fases del ciclo de vida del producto.

Se puede decir que la causa de fallos puede originarse por cualquier error o defecto que se presente en los procesos o en el diseño de los mismos, y que pueden afectar al consumidor.

AMFEC combina la jerarquización del grado de criticidad del riesgo para planificar mantenimientos en torno a la confiabilidad, puesto que proporciona un entendimiento total del sistema analizado y del funcionamiento y forma en que las fallas pueden presentarse en los equipos que lleguen integrar el sistema.

Figura 15

Proceso de RCM



Nota: Proceso de Gestión del Mantenimiento aplicando el análisis d modos de falla, sus efectos y criticidad, AMFEC. Información tomada del Artículo Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad – Revista Redalyc.org.

2.4.2. Tipos de AMFEC.

AMFEC de Diseño: “Técnica de análisis cuyo propósito es asegurar que se ha considerado y estudiado cada fallo potencial concebible basándose en la experiencia y en los problemas pasados, a medida que se diseña un sistema” (ADS QUALITY, p. 47).

AMFEC de Proceso: “Técnica de análisis cuyo propósito es analizar las características de diseño del producto en relación al proceso de fabricación”. (ADS QUALITY, p. 47)

AMFEC de Sistemas: “El AMFEC aplicado a sistemas sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en el diseño del software, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que pueden llegar a tener en su funcionamiento” (Ingeniería Industrial online).

Pasos para la aplicación del método AMFEC:

Formar un equipo de trabajo.

- a) Definir el proceso o producto a analizar.
- b) Detallar las funciones.
- c) Elaborar listado de los modos de fallo potenciales.
- d) Establecer los efectos de los fallos encontrados.
- e) Describir las causas.
- f) Listar los controles actuales.
- g) Calcular el número de prioridad del riesgo (NPR).
- h) Elaborar un plan de acción de mejora.
- i) Revisión de las acciones para el mejoramiento continuo.

AMFEC es un método lineal, que toma en consideración 3 fases principales en las que las acciones adecuadas deben definirse. Pero antes de iniciar el análisis es importante realizar un trabajo previo, donde se debe crear un diagrama de bloques del sistema analizado para tener una visión general de los componentes principales del proceso.

Además se debe crear una hoja de trabajo que especifique todos los datos necesarios a conocer para detallar la metodología aplicada, con el fin de visualizar las acciones recomendadas para cada fallo en función a su evaluación.

Las fases antes mencionadas se descomponen en:

1. Determinar la Severidad o Gravedad

Determina la importancia o severidad del efecto del modo de fallo potencial para el cliente (no teniendo que ser este el usuario final); valora el nivel de consecuencias, con lo que el valor del índice aumenta en función de la insatisfacción del cliente, la degradación de las prestaciones esperadas y el coste de reparación. (Bestraten, et al, 2004, pág. 3). Ver *Anexo B Tabla de severidad*

Figura 16

Clasificación de la gravedad de fallo

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

Nota: Clasificación de la gravedad del modo de fallo. Información tomada de NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFEC.

2. Ocurrencia o Frecuencia del Fallo.

Es la Probabilidad de que una causa potencial de fallo (causa específica) se produzca y dé lugar al modo de fallo. Se trata de una evaluación subjetiva, con lo que se recomienda, si se dispone de información, utilizar datos históricos o estadísticos. (Bestraten, et al, 2004, pág. 4). *Ver Anexo C tabla de ocurrencia*

Figura 17

Clasificación de frecuencia o probabilidad de fallo

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

Nota: Clasificación de la frecuencia o probabilidad de ocurrencia del modo de fallo... Información tomada de NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFEC.

3. Capacidad de detección o Detectabilidad.

Este índice indica la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, supuestamente aparecido, sea detectado con antelación suficiente para evitar daños, a través de los “controles actuales” existentes a tal fin. Es decir, la capacidad de detectar el fallo antes de que llegue al cliente final. Inversamente a los otros índices, cuanto menor sea la capacidad de detección mayor será el índice de detectabilidad y mayor el consiguiente Índice de Riesgo. (Bestraten, et al, 2004, pág. 4) *Ver Anexo D tabla de detección.*

Figura 18

Clasificación de fallo

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente . Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9-10

Nota: Clasificación de facilidad de detección del modo de fallo. Información tomada de NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFEC.

Por último se calcula el número de prioridad del riesgo NPR en función a los indicadores anteriores, mediante una simple multiplicación.

- Gravedad (G)
- Ocurrencia o Frecuencia (O)
- Detectabilidad (D)

$$\text{NPR} = \text{G} * \text{O} * \text{D}$$

Los modos de fallos que tengan un número de prioridad mayor deben ser los más atendidos y desarrollar acciones correctivas inmediatas, lo que indica que a pesar de que el modo de fallo presente un índice de gravedad mayor no siempre debe ser solucionados con prioridad, puesto que pueden existir fallos menos graves pero con mayor ocurrencia y esos deberán ser los primeros en darse solución. *Ver Anexo B Tabla 15 Tabla de NRP*

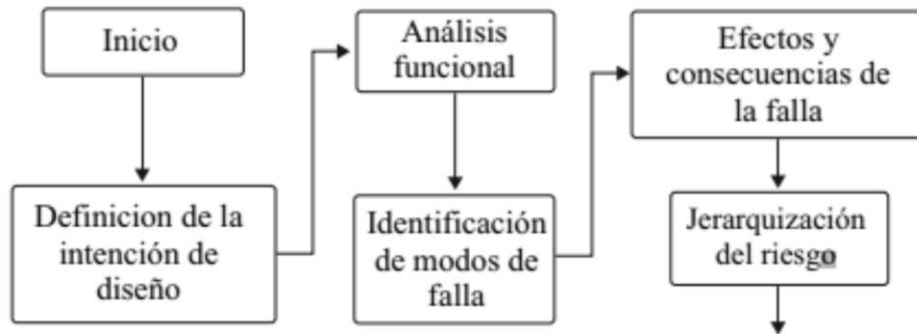
2.4.3. Identificación de Efectos de fallo

Se puede identificar un efecto como un síntoma detectado bien por el cliente o usuario del modo de fallo.

Se trata de describir las consecuencias no deseadas del fallo que se puede observar o detectar, y siempre deberían indicarse en términos de rendimiento o eficacia del producto/proceso. Es decir, hay que describir los síntomas tal como lo haría el propio usuario. (Bestraten, et al, 2004, pág. 3)

Figura 19

Diagrama de la metodología AMFEC.



Nota: Diagrama de aplicación de la Metodología de análisis de modos de fallas y sus efectos. Información tomada del Artículo Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad – Revista Redalyc.org.

2.4.4. Ventajas de la Metodología AMFEC.

- Permite identificar posibles fallas de un sistema, proceso o producto.
- Ayuda a conocer el sistema, proceso o producto a fondo.
- Identifica todos los efectos derivados de cada posible modo de falla.
- Brinda una evaluación del nivel de gravedad del modo de falla.
- Identifica las causas de las fallas.
- Permite documentar planes de acción para la minimización de riesgos.
- Promueve la mejora continua

(Hernández Jiménez Gersson Antonio,2016).

2.5. Confiabilidad

2.5.1. Confiabilidad

Según el autor Martínez (2015). En su tesis “Gestión de mantenimiento y la energía para la prevención de fallos en equipos aumentando la confiabilidad de plantas de proceso”. El presente trabajo se presenta para toda planta industrial, la cual tiene como objetivo principal que el área de mantenimiento conserve el óptimo funcionamiento de la máquina para aumentar su confiabilidad, así poder brindar un mejor servicio a los clientes y mantener la seguridad en la planta.

Entonces, la evaluación de confiabilidad de cualquier máquina debe ser una base importante, para el conocimiento de confiabilidad de cada máquina nos lleva, al final de eso, hacia la planificación adecuada de la mejora e incremento de calidad, productividad y eficiencia de los programas de mantenimiento, a fin de producir materiales y brindar servicios de alta calidad, en armonía con las expectativas y necesidades del consumidor que se da cuenta de la ventaja competitiva de la organización. Con el fin de mostrar el papel de la fiabilidad de las máquinas productivas y la importancia en diversos sectores industriales, el estudio utilizó el análisis de vibración para estimar la confiabilidad de las máquinas productivas por la importancia eminente de las industrias, preparándose para el establecimiento de bases científicas correctas para las empresas de diversos rubros.

La confiabilidad es un término probabilístico y estadístico utilizado para analizar las variables aleatorias de los valores positivos y representados con el tiempo hasta que se produzca el tiempo de falla para cualquier máquina o equipo. Por lo tanto, la fiabilidad a lo largo del tiempo está definida por la potencialidad de la máquina durante un período determinado sin ningún tipo de falla.

$$\text{Confiabilidad (R)} = e^{(-\lambda t)}$$

Donde:

R: es la confiabilidad del sistema.

λ (lambda): es la tasa de fallas del sistema, normalmente expresada como fallas por unidad de tiempo.

T: es el periodo de tiempo para el que se calcula la confiabilidad.

E: es la base del logaritmo natural (aproximadamente 2,718).

Esta ecuación corresponde a la distribución acumulada inversa del tiempo para la falla, ya que esta distribución expresa la probabilidad de que t (tiempo de falla) sea mayor o igual que t_m (tiempo misión).

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Según Amendola (2011)

La aparición de este nuevo modelo de mantenimiento surge en la industria estadounidense en cooperación con la NASA y Boeing. Desde 1974, el Departamento de Defensa de EE.UU., ha aplicado el RCM como una filosofía de mantenimiento principalmente para aeronaves militares. A partir de la aplicación y éxito en el sector de la aviación, otros sectores adecuaron el RCM a sus necesidades operativas, generando un mantenimiento eficaz en centrales termoeléctricas, nucleares, petroleras, químicas, entre otros. (Pág.8)

2.6. Mantenimiento

El mantenimiento es fundamental pues aparece de la necesidad que tienen las empresas alcanzar el uso óptimo de sus equipos, para mantenerlos trabajando de forma continua y eficiente. Hay distintas formas de aplicar el mantenimiento:

Mantenimiento reactivo (correctivo)

De acuerdo con Robles (2011)

El mantenimiento reactivo como: “el mantenimiento efectuado a una máquina o instalación cuando la avería ya se ha producido, para restablecerla a su estado operativo habitual de servicio”.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se emplea principalmente para detectar, a través de la eficiente planificación y programación de los análisis periódicos, las fallas previstas en equipos, sistemas e instalaciones, que modifican el proceso de producción o el desempeño del objeto averiado. Esta clase de mantenimiento, en contraste con el correctivo, se enfoca en mantener en las mejores condiciones la maquinaria. (Botero, 2014).

2.6.1. Mantenimiento predictivo

Se fundamenta en realizar una serie de valoraciones o experimentos no invasivos a través de tecnología a todas las partes de la maquinaria que puedan dañarse, descomponerse o deteriorarse, pudiendo con esto pronosticar un fallo severo. La mayor parte de estas mediciones se realizan con las maquinas en marcha y sin obstaculizar la producción. (Galván, 2015) .

Parámetros para control de estado

Son magnitudes físicas capaces de experimentar alguna modificación repetitiva en su valor, cuando cambia el estado de funcionamiento de la máquina. Existen varios parámetros que se pueden utilizar, siempre que se cumpla lo siguiente:

- Que sea sensible a un defecto concreto.
- Que se modifica como consecuencia de la aparición de alguna anomalía.
- Que se repite siempre de la misma forma.

Así las técnicas utilizadas para el mantenimiento se clasifican en dos grupos:

Técnicas directas. - Donde se inspeccionan directamente los elementos sujetos a fallo, la más usada es la inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonido, análisis de materiales y la inspección radiográfica.

Técnicas indirectas. - Miden y analizan un parámetro con significación funcional relevante, el más usado es el análisis de vibraciones, aunque también se pueden usar conjuntamente el análisis de lubricantes, de ruidos, de impulsos de choque, medida de presión o de temperatura.

A continuación, en la siguiente tabla se muestra una clasificación de parámetros, técnicas y equipos a usar:

Tabla 1

Parámetros y técnicas para control de diferentes tipos de equipo dinámico.

Parámetro Indicador	Técnica	Equipo
Inspección visual	Uso de endoscopios, mirillas y videos	Dinámico
Vibraciones	Análisis espectral y de tendencias	
Presión, caudal, temperatura	Seguimiento de evolución	
Ruido	Análisis de espectro	
Degradación y contaminación de lubricantes	Análisis fisicoquímico, ferro grafía	
Estado de rodamientos	Impulso de choque	
Estado de alineación	Láser de monitorización	
Control de esfuerzos, par y potencia	Extensometría, torsiómetros	
Velocidades críticas	Amortiguación dinámica	

Nota: Esta tabla las técnicas y los diferentes parámetros para el control dinámico. Implementación del mantenimiento predictivo Jasso (2011)

Tabla 2

Parámetros y técnicas para control de diferentes tipos de equipo estático.

Parámetro Indicador	Técnica	Equipo
Observación visual	Testigos, endoscopios	
Corrosión	Testigos, rayos X, ultrasonido	

Fisuración	Líquidos, penetrantes, partículas magnéticas, rayos X, ultrasonidos, Corrientes parasitas	Estático
Estado de carga	Extensometría, células de carga	
Desgaste	Ultrasonidos, corrientes inducidas, flujo magnético	
Fugas	Ultrasonidos, ruidos, control atmosfera por medio de gases	

Nota: Esta tabla las técnicas y los diferentes parámetros para el control estático. Implementación del mantenimiento predictivo Jasso (2011)

Tabla 3

Parámetros y técnicas para control de diferentes tipos de equipo eléctrico.

Parámetro Indicador	Técnica	Equipo
Equilibrio de fases	Medidas de tensión e intensidad	Eléctrico
Consumos anómalos	Medidas de intensidad y potencia	
Estado de devanados, excentricidad, desequilibrio	Espectros de corriente y vibración	
Severidad de servicio	Control de recuentos de arranques y maniobras	
Resistencia de aislamiento	Medida de resistencia, índice de polarización	
Contaminación de devanados	Corriente de absorción de fuga	
Temperatura	Medidas de temperaturas, termografías	
Estado de purgador	Análisis de tarjetas	
Calentamiento	Avisos sonoros, termografía	

Nota: Esta tabla las técnicas y los diferentes parámetros para el control eléctrico. Implementación del mantenimiento predictivo Jasso (2011)

El mantenimiento predictivo es una estrategia basada en el seguimiento técnico de la maquinaria. Se hace un análisis completo del equipo, desde sus condiciones, su nivel de rendimiento y las señales perceptibles (ya veces imperceptibles) que emiten.

El objetivo con esto es recopilar información detallada sobre el estado de la máquina. Para ello se llevan a cabo una serie de técnicas que servirán de lupa para que los operarios y responsables puedan clasificar las amenazas, síntomas y posibles patologías de los equipos. El mantenimiento preventivo se realiza de forma planificada. Después de todo, el objetivo es evitar que ocurra una falla.

Sin embargo, su aplicación no sigue la misma lógica que la predictiva porque incluso el nivel de inspección es diferente y no tan exhaustivo. Así, el mantenimiento preventivo no se basa tanto en datos, sino en hallazgos específicos y puntuales sobre la máquina y sus partes más críticas. Esto se debe a que es una estrategia que se apoya en la dirección del propio fabricante del equipo. Así, a través de instrucciones manuales, es posible establecer un programa fijo de inspecciones, cuya evaluación también suele ser guiada por el fabricante. Es decir, mientras que el mantenimiento preventivo es más amplio y burocrático, el mantenimiento predictivo es más flexible y analítico. (Jiménez et al., 2019)

2.7. Cartas de control estadístico

Los métodos estadísticos son muy valiosos y se utilizan a menudo en control de calidad, por esta razón, con frecuencia se llama al control de calidad “Control Estadístico de Calidad “.

A pesar que la estadística es muy útil en el control de calidad, muchas personas que las ven por primera vez sienten cierto rechazo. Sin embargo, cuando se comprenden las ideas que hay detrás de los métodos estadísticos, su utilización en la práctica es muy sencilla; todo lo que se necesita son conocimientos elementales de aritmética (sumar, restar, multiplicar y dividir). Además de utilizarse para hacer los gráficos de control de procesos, diseñar experimentos y para la inspección por muestreo, la estadística moderna tiene una amplia variedad de usos tales como las encuestas de opinión, los estudios del costo de vida, los estudios de la producción agrícola, estudios de impuestos, investigación de mercado, etc.

Algunas Ventajas del control de calidad:

- Aumento de la calidad y disminución del número de productos defectuosos.

- Obtención de una calidad más uniforme y disminución del número de reclamos.
- Aumento de la fiabilidad, y la confianza en los productos, y clientes.
- Aumento en el precio de venta de los productos.
- Mayores utilidades.
- Reducción de costos de producción.
- Uso de un lenguaje común.
- Desaparición del trabajo desperdiciado, disminución de los reprocesos y mejora en la eficiencia.
- Mejora en las relaciones humanas y eliminación de barreras entre departamentos.
- Rapidez en la toma de decisiones y mejora en el despliegue de la política y la dirección por objetivos.
- Confianza en la empresa.

Obstáculos a los que se enfrenta un programa de control de calidad:

- Falta de apoyo de la gerencia en la implementación de la calidad.
- Falta de apoyo por parte de los trabajadores para realizar el proceso.
- Falta de compromiso con la calidad.
- Falta de un programa de educación continua.
- Rechazo al cambio.

Tipos de causas que afectan un proceso productivo:

Cuando se efectúan mediciones sobre cualquier fenómeno natural conocido, se observan diferencias entre los registros efectuados. Es común que se presenten pequeñas diferencias. Cuando se pretende fabricar piezas con medidas estrictas, por muy precisos que sean los equipos, se producen unidades cuyas cotas difieren unas de otras, aún por márgenes mínimos. Es así, que la variación que se presenta en los valores de una característica se considera debido a dos tipos principales de causas.

- A. Causas aleatorias o comunes: Son inherentes al sistema de producción y no se pueden reducir ni limitar sin modificar el sistema en sí. Como ejemplos de causas aleatorias se tienen las pequeñas variaciones de reacción, en la calidad de las materias primas, entre otras.
- B. Causas asignables o específicas: Estas pueden ser identificadas y, por lo general resulta económica descubrirlas y eliminarlas. Surgen con motivo de una variación repentina o anormal de las propiedades de las materias primas o de las condiciones de reacción, o como consecuencia de defectos mecánicos. Cuando operan causas asignables, la característica de la variabilidad tiene un comportamiento errático.

Una vez seleccionado y definido el problema principal a solucionar, el paso lógico es identificar las principales causas del problema. (Aguilar et al., 2013).

2.8. Carta de Control:

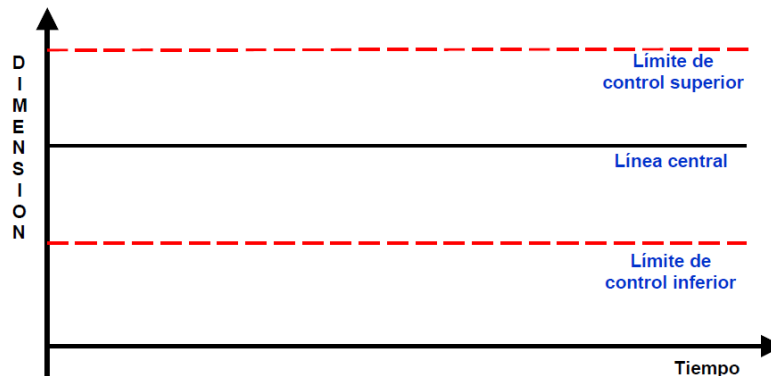
Feingenbaum (1994) dijo:

Se puede definir una carta de control como: un método gráfico para evaluar si un proceso está o no en un estado de control estadístico, es decir cuando sólo actúan causas comunes o aleatorias, inherentes a cualquier proceso.

Como lo muestra la Gráfica N°2, la carta consiste en una línea central (L.C.) y dos pares de líneas límites espaciadas por encima y por debajo de la línea central, que se denominan límite de control superior (L.C.S.) y límite de control inferior (L.C.I.).

Figura 20

Gráfica de control estadístico



Nota: Muestra de una línea central, límite de control superior y límite de control inferior en una carta de control estadístico

2.8.1. Tipos de cartas de control

Las características de calidad sobre las cuales se constituyen las cartas de control generalmente caen en dos categorías:

- Variables
- Atributos

Cuando se lleva un registro sobre una medida real de una característica de calidad, tal como una dimensión expresada en milímetros, se dice que la calidad se expresa por variables y las cartas que se construyen se llaman Cartas de Control por Variables.

2.8.2. Gráfica X-R

Para obtener la gráfica de medias y rangos es necesario que la característica del producto se haya definido con tipo de análisis Variable y tamaño de subgrupo igual o mayor a 2. Cada punto de la gráfica de Medias es el promedio de las muestras de un subgrupo. Cada punto de la gráfica de Rangos es la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de cada subgrupo. Los límites de control se calculan a partir del Rango promedio y delimitan una zona de 3 desviaciones estándar de cada lado de la media.

2.8.3. Gráfica X-S

Para obtener la gráfica de medias y desviaciones estándar es necesario que la característica del producto se haya definido con tipo de análisis Variable y tamaño de subgrupo igual o mayor a 2. Cada punto de la gráfica de Medias es el promedio de las muestras de un subgrupo. Cada punto de la gráfica de Desviaciones es la desviación estándar interna de cada subgrupo. Los límites de control se calculan a partir de la Desviación estándar promedio y delimitan una zona de 3 desviaciones estándar de cada lado de la media. (Rafael, 2021)

2.9. Distribución de planta

La distribución de planta implica la organización de espacios necesarios para el almacenamiento y movimiento de los materiales, ubicación de los equipos o líneas de producción, determinación de equipos industriales requeridos, administración, servicios para el personal, etc.

Los diferentes tipos de distribuciones de plantas utilizados en los procesos productivos, dan inicio con la reflexión por parte de la persona encargada de producción respecto de

cuáles son las características de los productos a fabricar y cómo influye el tipo de distribución de planta en la calidad de estos. Es recomendable este tipo de análisis para lograr seleccionar el mejor proceso productivo, así como la secuencia necesaria para la elaboración adecuada de un bien o servicio.

Todo sistema de manufactura busca la elaboración de un producto con la más alta calidad, que de igual manera pueda ser elaborado con el costo de producción más favorable; por lo tanto, la elección de un buen sistema productivo nos asegura el cumplimiento de los tiempos de entrega, así como la calidad de estos, seguridad y salud para la persona trabajadora. (M. 2021).

2.9.1. Tipos de distribución de planta

Toda distribución en planta es la disposición de los recursos para que la organización pueda cumplir sus objetivos ejecutando sus funciones. Es por ello que los recursos casi invariablemente estarán dispuestos según la función que ocupan. Sin embargo, dependerá del nivel de agregación o de detalle con el que se enfoque la actividad se pueden observar diferentes tipos de distribución en planta. Cuando el foco se pone en los procesos del sistema productivo la distribución en planta será diferente en función del volumen y la variedad de productos a realizar.

Se denomina distribución en planta por posición fija a aquella en el que el producto objeto de la transformación se queda quieto mientras personal, maquinaria y materiales se acercan y alejan para poder realizar las operaciones. Es habitual cuando el volumen de fabricación es unitario y la variedad de los productos es elevada.

Se denomina distribución en planta por producto a aquella en el que los recursos se disponen de tal manera que el producto (en su viaje por los recursos) sigue un camino

reconocible. Es habitual cuando el volumen de fabricación es elevado y la variedad de los productos es baja.

Se denomina distribución en planta funcional a aquella en la que los recursos se disponen según las tareas y actividades que realizan. En ese caso los productos viajan de un área funcional a otra. Es habitual cuando el volumen de fabricación es intermedio y los productos son similares no en sí mismos sino en los recursos que necesitan.

Con el objetivo de vencer los inconvenientes que los diferentes tipos de distribución en planta tienen, surgen las denominadas distribuciones en planta híbridas. Casi todas ellas basadas en el concepto de distribución en planta en células de trabajo.

2.9.2. Distribución en planta por posición fija

En ocasiones, por el volumen, la fragilidad o alguna otra característica del producto a transformar, lo conveniente es dejar el producto inmóvil y acercar y alejar los recursos que hacen falta para que se pueda realizar las operaciones.

Esta circunstancia no sólo se da al diseñar espacios donde fabricar barcos u operar a pacientes; también se da cuando se diseñan estaciones de montaje en sistemas en línea, o centros de transformación en talleres mecánicos. La distribución en planta por posición fija suele ir asociada a procesos de fabricación de productos de bajo volumen y muy alta variabilidad.

La distribución en planta por posición fija, exige definir cómo entrará y saldrá el producto fabricado de la zona de montaje, además de establecer la secuencia adecuada (incluyendo la temporización) que es necesaria para que unos recursos evacúen y den paso a la siguiente secuencia de recursos.

2.9.3. Distribución en planta por producto

La distribución en planta por producto es la adoptada cuando la producción está organizada, bien de forma continua, bien repetitiva. Los recursos se organizan físicamente ordenándose para simplificar el desplazamiento de los productos, que por regla general son muy parecidos entre sí.

En el primer caso (por ejemplo: refinerías, celulosas, centrales eléctricas, etc.), la correcta interrelación de las operaciones se consigue a través del diseño de la distribución en planta, las especificaciones de los equipos y de los buffers. En el segundo caso, el de las configuraciones repetitivas (por ejemplo: electrodomésticos, vehículos de tracción mecánica, cadenas de lavado de vehículos, etc.), el aspecto crucial de las interrelaciones pasará por el equilibrado de la línea, con objeto de evitar los problemas derivados de los cuellos de botella desde que entra la materia prima hasta que sale el producto terminado.

Si se considera en exclusiva la secuencia de operaciones (y no los servicios auxiliares o los requerimientos adicionales como buffers), la distribución en planta es una operación relativamente sencilla, en cuanto que se limitará a colocar una máquina tan cerca como sea posible de su predecesora. Las máquinas se sitúan unas junto a otras a lo largo de una línea, en la secuencia en que cada una de ellas ha de ser utilizada; el producto sobre el que se trabaja recorre la línea de producción de una estación a otra, a medida que sufre las operaciones necesarias. El flujo de trabajo en este tipo de distribución puede adoptar diversas formas, dependiendo de cuál se adapte mejor a cada situación concreta.

Las ventajas más importantes que se pueden citar de la distribución en planta por producto son:

- Manejo de materiales reducido
- Escasa existencia de trabajos en curso
- Mínimos tiempos de fabricación

2.9.4. Distribución en planta funcional

La distribución en planta funcional se adopta cuando los recursos se organizan según su función (por ejemplo: fábricas de muebles, hospitales, talleres de reparación de vehículos, etc.). La distribución en planta funcional (típica en los procesos de bajo volumen y alta variedad) pretende obtener un uso adecuado de los recursos disponibles que se especializan en su ámbito de trabajo.

En ellas, los distintos ítems tienen que moverse, de un área a otra, de acuerdo con los recursos requeridos por las diferentes tareas que conforman la operación. La variedad de productos fabricados supondrá, por regla general, secuencias diversas de operaciones, lo cual se reflejará en una diversidad de los flujos de materiales entre talleres.

A esta dificultad hay que añadir la generada por las variaciones de la producción a lo largo del tiempo que pueden suponer modificaciones (incluso de una semana a otra) tanto en las cantidades fabricadas como en los propios productos elaborados.

En este tipo de distribuciones en planta el trabajo en curso tiende a crecer, puesto que es el modo que pueden utilizar para equilibrar las cargas de trabajo y defenderse de la variabilidad que viene del exterior.

2.9.5. Distribución en planta híbrida

Cada uno de los tipos de distribución en planta tiene sus ventajas e inconvenientes. Para superar los segundos, sin perder las primeras, surgen las distribuciones de tipo híbrido. En muchos casos son simplemente “parches” que se le hacen al sistema más genérico. Es posible que la empresa tome la decisión de definir estrategias de diseño de distribución en planta híbridas, cuya mejor caracterización son las denominadas “células”. Este tipo de estructuras surgen de crear líneas de mecanizado (por ejemplo, a partir de la aplicación de técnicas como la tecnología de grupos King y Nakornchai (1982) a organizaciones que suelen tener una distribución en planta básicamente funcional. Se puede decir que hay cuatro tipos de distribución en planta “celular” con diferentes orígenes, y resultados similares.

- A. Fábricas enfocadas. Recoge la idea de que los trabajadores estarán más involucrados en las tareas que ejecutan si pertenecen a estructuras más pequeñas. Las fábricas enfocadas no tienen por qué respetar ningún ritmo ni actividad de coordinación pues responden a sus propios objetivos.
- B. Células de Fabricación. Mediante la técnica denominada tecnología de grupos agrupa máquinas que van a producir de manera sistemática las mismas familias de productos. De algún modo sacan a las máquinas de la función a la que pertenecen porque existen familias de productos que seguirán siempre la misma ruta. Un caso especial de estas agrupaciones son las denominadas células Chaku-Chaku.
- C. Células de Fabricación Flexible. Si las máquinas son CNC, y el sistema de aprovisionamiento está muy automatizados se denominan de Células de Fabricación Flexible. Las células de fabricación flexible son muy útiles en entornos de alta variedad y bajo volumen para piezas de fabricación compleja.
- D. Células de Montaje. El sistema de fabricación basado en células de trabajo, o fabricación celular es el modo natural de producir una fabricación orientada al flujo de una pieza, y por tanto es la estructura natural del Lean Manufacturing. Los equipos se ordenan de una manera que soportan un flujo controlado de materiales y componentes con el mínimo retraso, transporte y movimiento. La fabricación celular facilita el crecimiento orgánico de la empresa.

En realidad, las distribuciones en planta híbridas, son un reconocimiento de que los diferentes tipos de distribución en planta se aplican en cada sistema en función del nivel en el que se focaliza el análisis. Así por ejemplo en un hospital se tiene una distribución funcional, pero concretamente en las habitaciones o en el quirófano la distribución es en posición fija. Del mismo modo en una fábrica de automóviles el diseño de la planta puede ser considerada distribución funcional en un nivel macro, distribución por producto al analizar la línea, o distribución por posición fija al considerar el diseño de una estación de la línea.

2.9.6. Criterios y objetivos de la distribución en planta.

Según algunos manuales, cuando se trata de diseñar una distribución en planta, se trata de modo general de perseguir las siguientes cuatro líneas de acción fundamentales.

Unidad. Facilitar el sentimiento de pertenencia y reducir las distorsiones por tener objetivos contradictorios se debe, también perseguir al diseñar la distribución en planta de una empresa.

□ Efectividad. Minimizar el movimiento de productos, personas o información pues estos no añaden valor. Este principio puede no aplicar en el diseño de determinados servicios, sobre todo cuando se da una alta participación del cliente en el mismo, y el desplazamiento es un objetivo.

□ Flexibilidad: Diseñar las instalaciones atendiendo a los cambios que ocurrirán en el corto y medio plazo en productos, volumen y en el propio proceso de producción.

□ Seguridad: Garantizar el movimiento y el trabajo de personas y materiales es una exigencia en cualquier diseño de distribución en planta. Minimizar no sólo los accidentes (los ¡hay!), sino sobre todo la mera posibilidad de que estos ocurran (los huy!).

La comodidad se puede considerar como un criterio menor.

Las cuatro líneas de acción anteriores están relacionadas entre sí de una manera no lineal. Y su relación cambia en función de la intensidad de la actividad y del tipo de producto que se considere. Por lo que un buen diseño de layout para una determinada configuración de catálogo (número de referencias y cantidad de las mismas) será un mal diseño para otra configuración

Sáez Más y García Sabater (2016) dijeron:

Así reducir el movimiento de productos por la vía de acercar las secciones, puede incrementar la unidad, pero reduce la flexibilidad (reduce la capacidad de

expansión de las mismas) además de que reduce la seguridad, al incrementar la congestión del tráfico en un área pequeña.

Del mismo modo separar las secciones para facilitar crecimientos futuros, hace que las secciones se comporten como unidades independientes, dificulta la supervisión e incrementa la cantidad de producto a mover, que puede no ser muy relevante si la cantidad de movimientos es pequeña. Pero reduce la congestión y puede mejorar la seguridad (de los elementos móviles) aunque favorece la aparición de almacenes intermedios. (Blasco 2020)

2.10. Costos por refacciones de mantenimiento

Los costos mantenimiento son realizados para poder mantener en un estado óptimo o eficiente los distintos equipos o maquinaria que posee la empresa u organización para el correcto desenvolvimiento de sus actividades diarias. Para obtener un mejor beneficio, es decir, un menor costo con lo que respecta al mantenimiento de los equipos en la mayoría de los casos es recomendado aplicar un mantenimiento preventivo y por medio de éste se llegó a definir cuáles serían los costos que hay que considerar o estudiar para sacar una mayor ventaja:

- Costos de la mano de obra de mantenimiento
- Costo de los materiales y refacciones requeridos
- Costo del tiempo muerto en producción al presentarse algún defecto

Hay que considerar que el factor con mayor peso con respecto al costo que pudiera presentarse para el desarrollo del mantenimiento pudiera ser el que está relacionado con los materiales y refacciones, debido que es el material primo para el correcto

mantenimiento de los distintos equipos, pero no solo por eso se debe considerar importante ya que si no se poseen los distintos medios para el correcto desarrollo del mantenimiento puede ocasionarse un tiempo muerto en la empresa, es decir, se para la producción ocasionando una mayor pérdida.

2.10.1. Costo por refacciones

Son los posibles repuestos necesarios para la reparación de algún equipo o maquinaria, las cuales fueron definidos o tomado en cuenta debido a experiencia previa o información suministrada del equipo. Las refacciones tienen como función principal minimizar el tiempo muerto del equipo. Las refacciones se pueden subdividirse en:

- Piezas relativamente caras
- Piezas especializadas para emplearse en un número limitado de maquina
- Refacciones que tiene tiempos de entrega mayores que la demanda normal
- Refacciones que tienen una rotación lenta.
- Refacciones críticas, cuya falta de disponibilidad podría causar un costoso tiempo muerto o tener un efecto negativo en la seguridad

(Ángel et al., 2017)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Participantes y/o representación estadística

Como bien antes se mencionó este trabajo se llevará a cabo con dos partes la primera que es por parte de la institución que es el Instituto tecnológico superior de San Martín Texmelucan quien brindó el apoyo correspondiente para que el residente pueda proponer y desarrollar la propuesta de un proyecto dentro de una empresa y la segunda con la empresa de Tritón Industrial S.A de CV con la participación del Ingeniero David Sánchez jefe de mantenimiento y sus técnicos, para poder aplicar los conocimientos aprendidos durante la carrera en el área de mantenimiento eléctrico que es donde se llevará a cabo la investigación.

3.2. Fuentes de Información

Para la presente investigación se determinó que se utilizarán fuentes primarias, en este caso se utilizarán los registros de las bitácoras, los registros de paros de mantenimiento y los registros digitales de cada una de las máquinas, así mismo se utilizarán lo que son libros, artículos, documentales y blogs que abarquen más sobre el tema que se está investigando.

La empresa Tritón Industrial S.A de C.V. tiene como principal producción en el área textil ya que esta fábrica hilo, para después direccionarlo a diferentes empresas, su producción es una de las más buscadas ya que ellos fabrican desde 100% algodón, así como 100% poliéster, de igual manera manejan lo que es la mezcla 50% algodón y 50% poliéster depende lo que el cliente pida, así mismo para manejar el hilo se hacen cambios en la maquinaria, para que las máquinas open end trabajen el hilo que se encargó, su mantenimiento solo llevan el correctivo y programado son los que más se manejan, existen varios encargados de mantenimiento que son: mantenimiento eléctrico, aire, mecánico, cardas y blendomat, pero estos solo se encargan de aplicar mantenimiento correctivo y programado, no llevan el predictivo que es mucho antes de todos los demás.

3.3. Técnicas e instrumentos

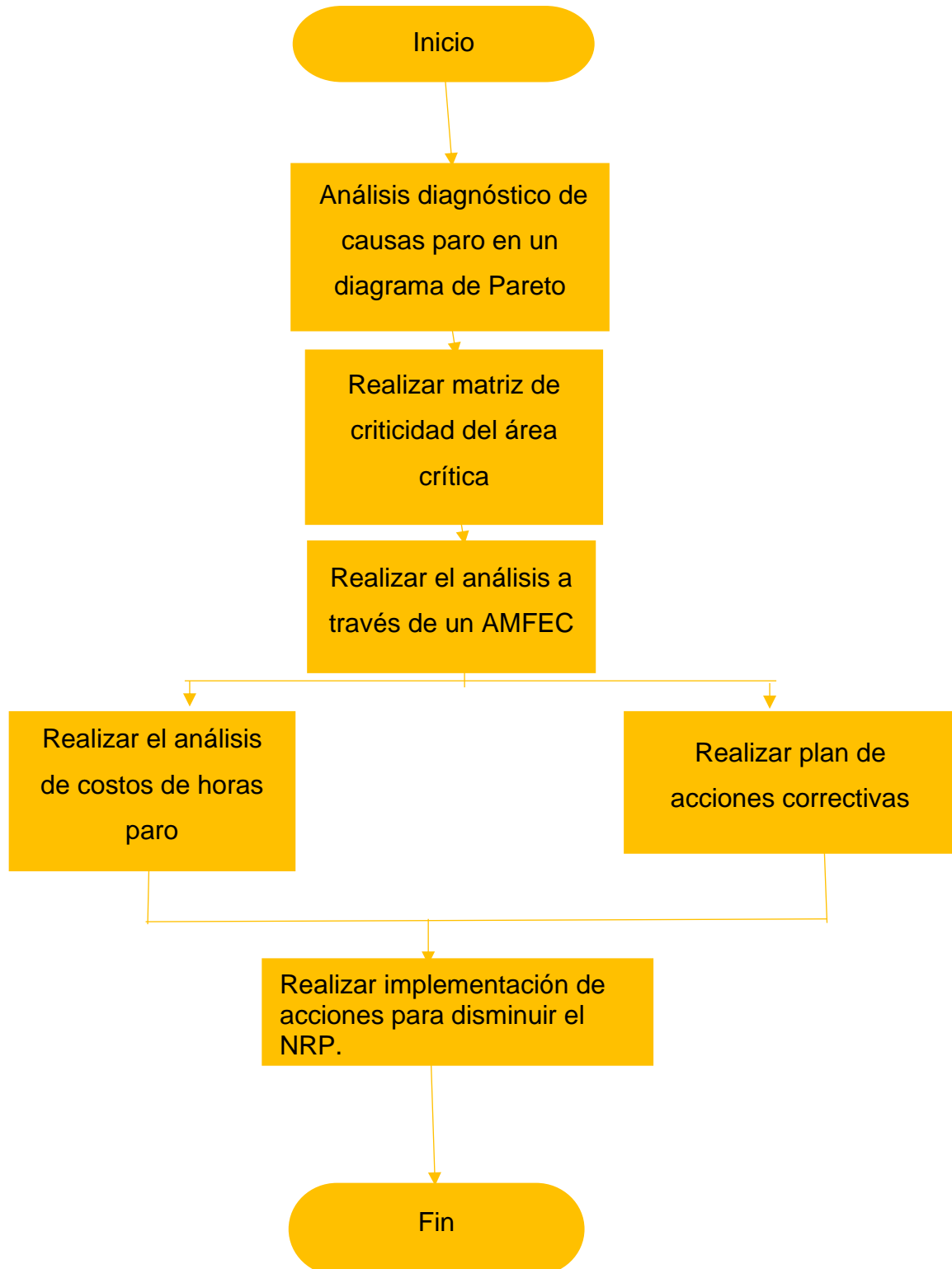
Para la realización de lo ya antes mencionado se tienen lo que son las técnicas documentales y técnicas de campo que se utilizarán ambas para la investigación las técnicas a utilizar para la ayuda de esta investigación es lo siguiente:

- Formatos de análisis para previamente realizar un diagrama Pareto
- Bitácoras de datos
- Registros digitales de cada una de las máquinas
- Entrevistas no estructuradas a los técnicos del área de mantenimiento eléctrico.

3.4. Procedimientos

Cada una de estas herramientas se aplicaron después de un respectivo análisis, que previamente se realizó una matriz de criticidad y el AMFEC para al final hacer los costos de cada hora paro, realizar sus acciones correctivas de cómo se llevará a cabo en el área de mantenimiento de la empresa Tritón Industrial S.A de C.V.

Figura 21
Diagrama de Flujo de técnicas a utilizar



Nota: Este diagrama muestra los procedimientos o herramientas que se trabajaron para la investigación. Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Diagrama de Pareto

A continuación se muestra en la Tabla 5. Históricos de las posibles causas de la máquina Open End Saurer Autocore 9, que se utilizaron para aplicar un diagrama de Pareto ver Figura 20. Diagrama de Pareto con identificación de fallos más altos, con todas las posibles fallas de la maquinaria para que se pudiera resolver con mayor afinidad todas las fallas que esta máquina presentan, pues en ocasiones este puede ser para un solo uso o afecta a toda la máquina en general y provoca un paro de línea.

Tabla 4

Históricos de las posibles causas de la maquina Open end

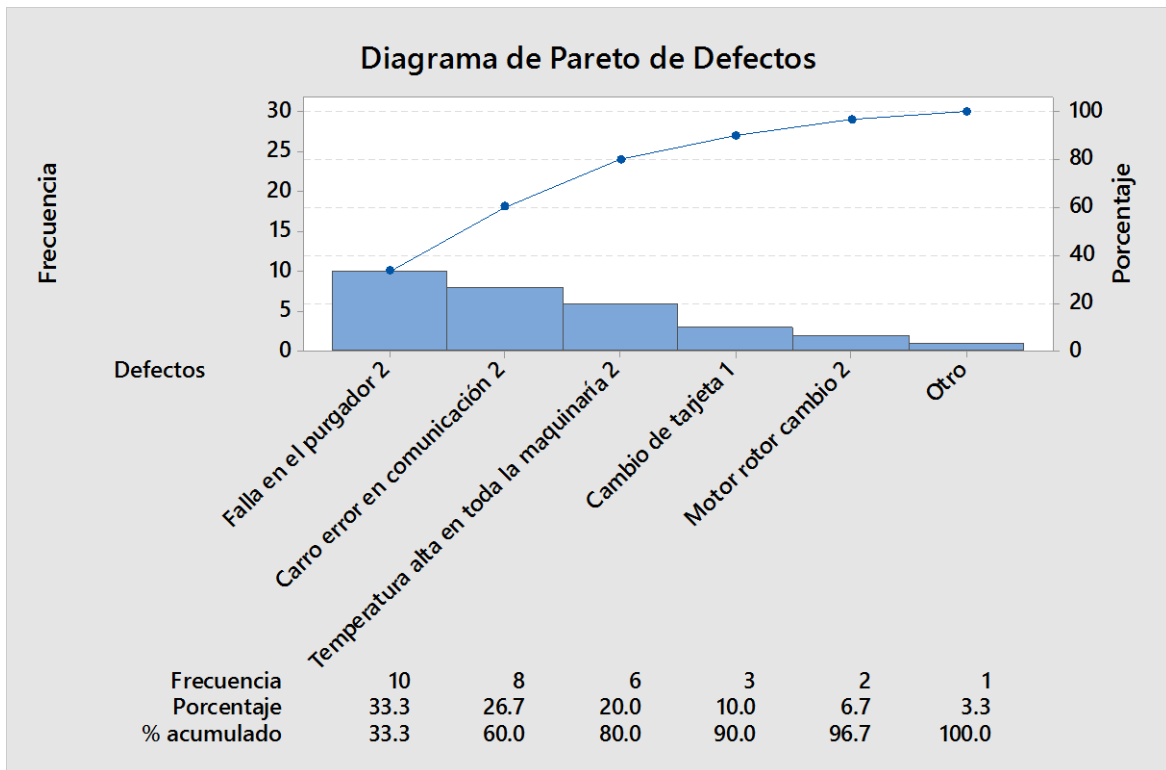
Fallas	Maquinaria	Frecuencia	Horas paro	Temperatura	06-sep	Tiempo de reparación falla	Causa	07-sep	Causa
Carrito	Open end	8	cada 3 horas		Carro error en comunicación 2	20 minutos	Fallo de comunicación en las pantallas no empalmaba debido a un error de código	Carro error en comunicación 2	Fallo de comunicación en las pantallas no empalmaba debido a un error de código
Carrito	Open end	5	cada 4 horas		Bandas sucias 1	1 hora	Cubierta de polvo y no giran en el engranaje	Motor rotor cambio 2	Ya no gira por desgaste o cubierto de polvo
Bandas de suciedad	Open end	1			Motor rotor cambio 2	20 minutos	Ya no gira por desgaste o cubierto de polvo	Temperatura alta en toda la maquinaria 2	Altas temperaturas debido al calor que se cierra o por acumulación de borra dentro de la máquina
Motor rotor	Open end	2	cada 2 horas		Temperatura alta en toda la maquinaria 2	10 minutos	Altas temperaturas debido al calor que se cierra o por acumulación de borra dentro de la máquina	Cambio de tarjeta 1	Quemada la tarjeta por la velocidad en la que trabaja la open end y por el cambio de hilo
Temperatura	Open end	6	cada media hora	46 grados	Falla en el purgador 2	15 minutos por purgador	Acumulación de polvo en los vidrios dentro del	No hubo fallas	

							purgador y se limpia con alcohol isopropílico y marca falla en A-132		
Purgador	Open end	10	cada media hora		Cambio de tarjeta 1	30 minutos	Quemada la tarjeta por la velocidad en la que trabaja la open end y por el cambio de hilo		

Nota: Tabla de los fallos detectados en los históricos para las máquinas Open end. Fuente: Tritón Industrial S.A de C.V. Fuente: Elaboración Propia

Figura 22

Diagrama de Pareto con identificación de fallos más altos



Nota: Diagrama donde se puede visualizar las fallas más ocurrentes de una Open end Saurer Autocore 9. Fuente: Elaboración Propia.


Como resultado se tiene que las fallas eléctricas se presentan frecuentemente y estas si no se resuelven tienden a ser más graves, con este análisis se determinó que las fallas salen del rango, ya que por ejemplo las condiciones de la temperatura ambiente no son las adecuadas y que los diferentes encargados de mantenimiento llegan a provocar que existan fallas en las máquinas ya sea por un ligero rompimiento de cables hasta una gotera puede afectar el trabajo de la máquina.

4.1.2. Matriz de criticidad

En este caso se utilizaron herramientas para determinar cómo operan las máquinas de la empresa Tritón Industrial S.A de C.V. Al inicio se utilizó una matriz de criticidad que reconocía que el principal equipo requerido para completar la misión es la Open End Saurer Autocore 9.

Tabla 5

Matriz de criticidad de Tritón Industrial S.A de C.V

TRITON INDUSTRIAL S.A DE C.V.						
MANTENIMIENTO						
Mantenimiento Eléctrico						
Matriz de Evaluación y Criticidad						
Fecha de elaboración:		Fecha de actualización:		Versión:		
01/10/2023		05/10/2023		1		
IDENTIFICACIÓN			ANÁLISIS		EVALUACIÓN	
	Proceso	Riesgo	Frecuencia o Probabilidad de ocurrencia	Severidad/ Consecuencia del daño	Nivel de riesgo	TRATAMIENTO
1	Mantenimiento eléctrico	Sobre calentamiento de motor	Alta	Menor	8	Checar temperaturas de cada motor para verificar el daño

2	Mantenimiento eléctrico	Cambio de baleros	Muy alta	Mínima	5	Se bajo el motor, se le puso grasa NTN especial para altas temperaturas y se volvió montar con nuevos baleros
3	Mantenimiento eléctrico	Cambio de bases de purgador	Media	Moderada	12	Se checaron cada uno de los 600 purgadores y cambiaron bases ya que afectan a los rodillos
4	Mantenimiento eléctrico	Fallas en variador	Media	Menor	6	Se cambio la tarjeta del variador debido al apagón que hubo en toda la planta y este afecto
5	Mantenimiento eléctrico	Fallas en purgador	Media	Moderada	12	No miden la calidad del hilo y se tuvo que cambiar para que este trabaje bien
6	Mantenimiento eléctrico	Calibración de estiradores	Baja	Mínima	2	Se calibro el estirador para que este pudiera trabajar mejor ya que no estaba dando el estiraje correcto
7	Mantenimiento eléctrico	Falla de compresor (aire) paro de open 8	Alta	Mayor	32	Se cambiaron cables ya que estaban afectando la presión del aire, así mismo después de una hora se volvió a trabajar el open 8
8	Mantenimiento eléctrico	Cambio de motor rotor	Alta	Mayor	32	Se cambio baleros del motor de succión en cardas de poliéster, pues ya tronaba se tardó en cambiar 5 horas ya que las bandas estaban desgastadas y el ventilador se sustituyo
9	Mantenimiento eléctrico	Cambio de tarjetas en open end 2	Baja	Menor	4	Se cambio ya que manejaba otra versión pero se actualizo la nueva con el software que maneja la maquina
10	Mantenimiento eléctrico	Fallo en comunicación de pantalla carro 2	Baja	Mínima	2	Se bajo la pantalla y se mandó a reparación, para después volver a montarla y este proceso se tardó 2 horas para ir haciendo ajustes de empalme

Nota: Esta matriz de criticidad es la representación de los fallos de las piezas eléctricas de una Open End Saurer Autocore 9. Fuente: Elaboración Propia.

4.1.3. Confiabilidad

Entonces se calculó la confiabilidad en las fallas de acuerdo a las fallas registradas en un trimestre, dicha información se analizó a finales del año 2022. A continuación se presentan los cálculos realizados.

$$8 \text{ hrs} * 3 \text{ turnos} = 24 \text{ hrs} * 5 \text{ días} = 120 \text{ hrs} * 4 \text{ semanas} = 480 \text{ hrs} * 3 \text{ meses} = 1440 \text{ hrs}$$

NOTA: No se toman en cuenta dos días porque son los que utilizan entre semana para hacer mantenimiento “preventivo” a las maquinas Open end.

Se debe calcular la tasa de fallas y lo calculamos con los históricos de la maquinaria.

$$\lambda = \text{N}^\circ \text{ de fallas} / \text{Tiempo total de funcionamiento} = 45 / 1440 = 0,0312 \text{ fallas por hora.}$$

Por consiguiente se estima la confiabilidad de la maquinaria

$$\text{Confiabilidad (R)} = 2.718^{(-0.0312 * 480)} = 3.1381 \text{ E-7} = 3.138\%$$

Lo cual indica que no habrá fallas en los próximos meses es de un 3.13%

4.1.4. AMFEC

En la realización del Amfec intervino en todo momento el Ingeniero David Sánchez quién es el coordinador del mantenimiento eléctrico y que con su experiencia se analizaron y se aprobaron las siguientes *Anexo B Tabla de Severidad, Anexo C. Tabla de Ocurrencia, Anexo D. Tabla de Detección y Anexo E. Tabla de NPR. Fuente: ASQ (American Society for Quality)* estas tablas se utilizaron y se desarrollaron en el siguiente Amfec ver *Tabla 6. AMFEC del proceso de mantenimiento eléctrico*, para determinar las causas potenciales que pueden presentar las máquinas y tomar acciones para disminuir el NPR previniendo que se presenten las posibles fallas y se incremente la confiabilidad de la máquina.

Tabla 6

AMFEC del proceso de mantenimiento eléctrico

AMFEC de proceso X		AMFEC de sistema		Lugar:		Fecha:				Resultados de la acción								
Área responsable:	Mantenimiento			Dueño de proceso: Ingeniero David Sánchez														
Elaborado por:				Revisado por: Ingeniero David Sánchez														
Ítem	Operación	Falla funcional	Modo de falla	Efecto(s) potencial(es) de la falla	Severidad	Causa(s) potencial(es) de la falla	Ocurrencia	Control Actual	Detección	NP R (S* O* D)	Acciones Recomendadas	Responsable	Fecha Plazo Objetivo	Acciones Implementadas	Severidad	Ocurrencia	Detección	NP R (S* O* D)4
1	Motor	1.1 No giran los baleros y truena	Falta de aceite	Fallo/paro de maquinaria	10	No se tiene programada la compra	9	No hay control	8	720	Establecer cambio de lubricantes en un periodo de tres años en el programa de mantenimiento preventivo (predictivo)	Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
			Falta de grasa	Fallo/paro de maquinaria	10		9	No hay control	7	630		Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	
	1.2 Falla circuito	Cables deteriorados	Fallo/paro de maquinaria	9	Daño por mantenimiento,	7	No hay control	9	567	Fijar las tapas con broca pija, dejándolo en su lugar para ya no machucar los cables	Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			No llegan a los amperes que corresponden	Fallo/paro de maquinaria	9	Cables sueltos, malas conexiones.	8	No hay control	9		648	Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Cables sin estabilidad	Fallo/paro de maquinaria	8	Daño por goteras	9	No hay control	9		648	Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	
	1.3 Sobre caliente	Acumulamiento	Fallo/paro de	9	Fibras sueltas	2	No hay	6	108	Implementar las	Ingeniero David	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

		miento del motor	o de borra	maquinaría		control		CEP de temperatura con la cámara termográfica.	d Sánchez							
			Cambio de temperatura de motor	Fallo/paro de maquinaria	9	No hay control	6	162	Movimiento de maquinaria	Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
			Desenbobinado	Fallo/paro de maquinaria	10	No hay control	8	720	Leer manuales de colocación por parte de los técnicos	Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
		1.4 Sobre carga de energía	Fallo de energía	Fallo/paro de maquinaria	10	No hay control	8	720	Implementar un sistema de protección contra sobrecargas	Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
			Conexión de cableado inadecuado	Fallo/paro de maquinaria	9	No hay control	8	648		Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2	Estridor	2.1 Desconfiguración de estriraje	Descalibración	Fallo/paro de Uso	8	No hay control	8	576	Implementación de sistemas de control automático	Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
			Configuración inadecuada	Fallo/paro de Uso	9	No hay control	8	648		Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
			Fallo de energía	Fallo/paro de Uso	10	No hay control	7	8	560	-	Ingeniero David	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A

			Presentan humedad	Fallo/paro de maquinaria	10	Se filtra el agua de lluvia o el del humidificador	8	No hay control	9	720	problemas antes de que se conviertan en fallas. Realiza inspecciones visuales cada tres días en todos los cables eléctricos para detectar signos de humedad o agua	Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	
6	Pantalla	6.1 Falla pantalla	No enciende	Fallo/paro de maquinaria	9	Desconfiguración por uso	8	No hay control	9	648	Implementar mantenimiento predictivo con el control de temperaturas, que incluya la inspección regular de las pantallas, conexiones y componentes relacionados.	Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Desconfiguración	Fallo/paro de maquinaria	10	Mala conexión	9	No hay control	8	720		Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
			No existe comunicación	Fallo/paro de maquinaria	9	No hay conexión	8	No hay control	9	648	Realizar limpieza y verificación	Ingeniero David	Diciembre	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

4.2.3. Colocación de brocapijas en tapas de Open end Saurer Autocore.

A partir de los manejos inadecuados que realizan al hacer mantenimiento se realizó la colocación de brocapijas en las tapas de la parte inferior de la maquina Open end Saurer Autocore 9 para evitar machucar o romper los cables y que deje de funcionar la máquina, o que ocasione una sobrecarga de energía ver en la *figura 24 Tapas de la maquina Open End Saurer Autocore 9*.

Figura 24

Tapas de la maquina Open End Saurer Autocore 9



Nota: Se muestran las tapas de la maquina Open End Saurer autore 9 ya que al realizar el mantenimiento se machucaban los cables. Fuente: Elaboración Propia.

4.2.4. Toma de temperaturas

De acuerdo al NRP el análisis de temperatura de 3 turnos entre las 8:00 a. m. y las 6:00 p. m., se determinó que la cantidad de motores de la máquina Open End Saurer Autocore 9 se vio afectada por el acumulamiento de borra. Para esto se utilizaron las cartas de

control para ver qué tan inestables estaban véase en figura 22 *Diagrama X-S de las temperaturas.*

Tabla 8

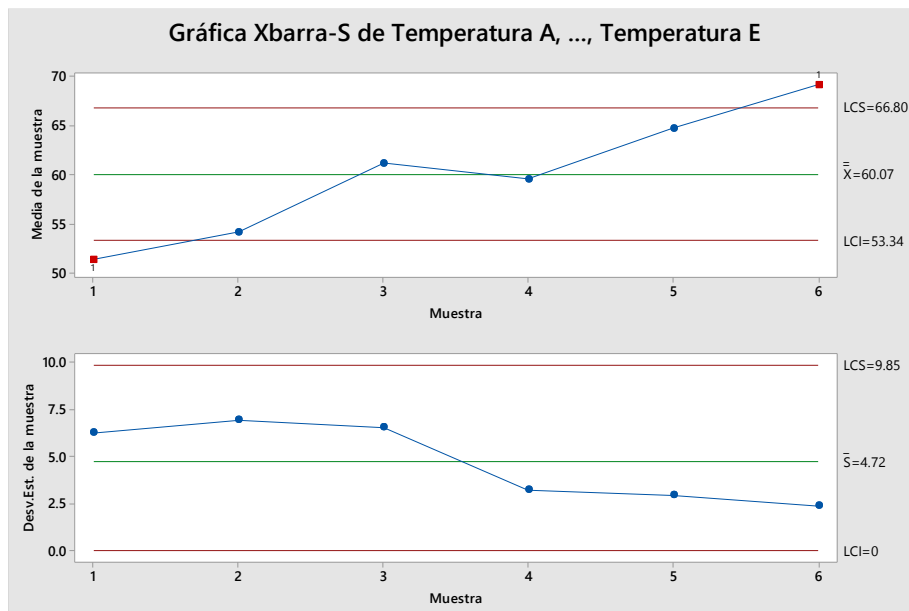
Muestras de temperaturas de 3 turnos

Temperatura A	Temperatura B	Temperatura C	Temperatura D	Temperatura E
55	55	48	57	42
59	62	52	54	44
60	71	55	64	56
55	64	59	60	60
66	68	60	65	65
70	70	65	70	71

Nota: Toma de muestras de temperaturas en 5 días de los motores de la máquina Open end. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 25

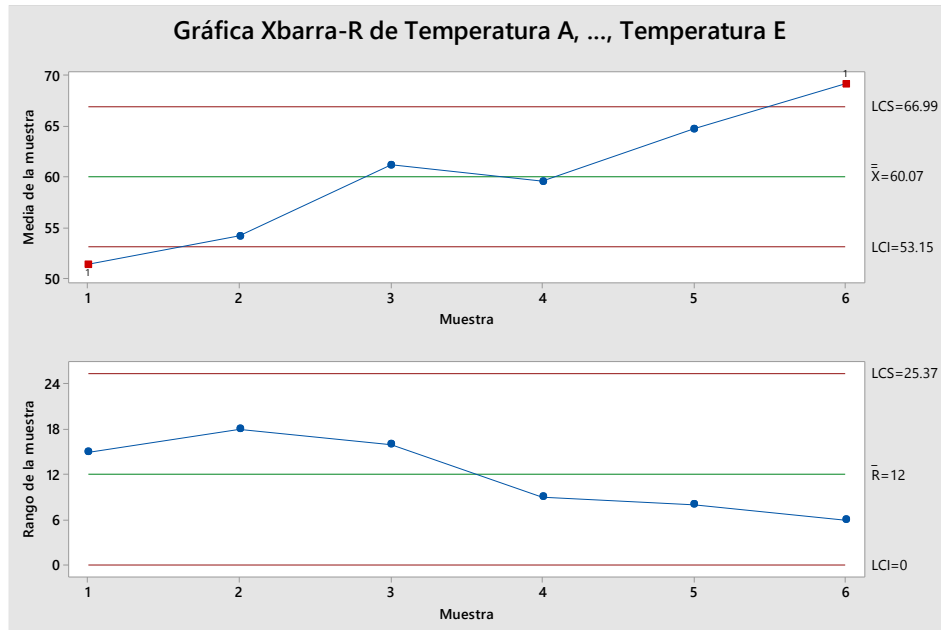
Diagrama X-S de las temperaturas



Nota: Gráfica con representación de variación de temperaturas de forma inestable. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 26

Gráfica X-R de temperaturas.

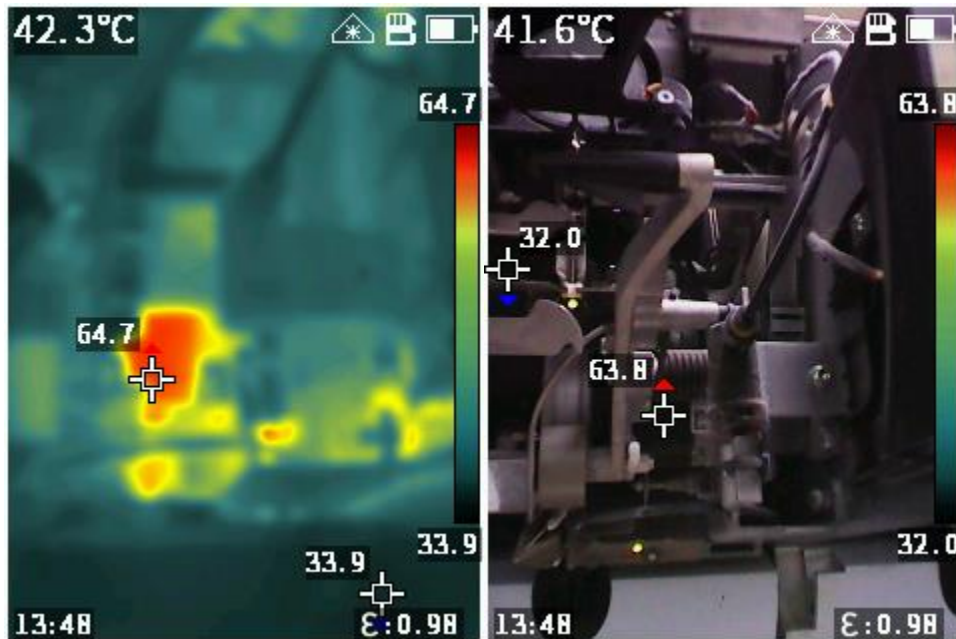


Nota: Gráfico con toma de muestras donde se está de manera inestable y requiere medidas de acción inmediata. Fuente: Elaboración Propia.

Las gráficas anteriores Figura 23, se puede que los resultados de distintas muestras de temperaturas que se obtuvieron están fuera del límite superior, donde LCS representa el Limite Central Superior, LCI es el Límite de Control Inferior y Rango son los valores obtenidos de las muestras, estos muestran que las horas de las temperaturas de los motores Figura 22 tienen variaciones dentro y fuera de los límites ya mencionados. Para esto se paró la máquina para limpiar el acumulamiento de borra y se checaron componentes para que volviera a funcionar la cual específicamente los únicos encargados de revisar estos son los del área de mantenimiento eléctrico. Ver toma de temperaturas a componentes de maquinaria en la figura 24.

Figura 27

Toma de temperatura con cámara termográfica



Nota: En las siguientes ilustraciones se muestra la toma de temperaturas en un uso de la maquina Open end donde se muestra en rojo que es alta la temperatura que se obtiene después de la fricción que existe al realizar la hilatura. Fuente: Autoría Propia.

Una vez que se paró la maquinaria se volvieron a analizar las temperaturas de los motores de las Open end Saurer Autocore 9 ver en *Tabla 9 Tabla de temperaturas*.

Tabla 9

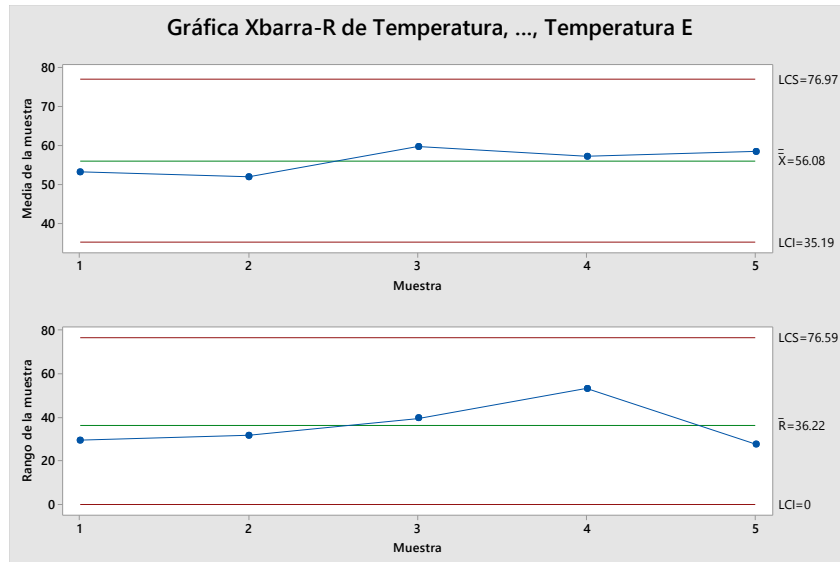
Tabla de Temperaturas

Temperatura	Temperatura B	Temperatura C	Temperatura D	Temperatura E
42.3	44.4	71.3	66.3	41.8
34.4	64	66	45.7	49.4
54.5	66.2	75.6	36.2	65.9
43.1	63.3	93.6	40.6	45.3
59.3	68.8	71.1	49.4	43.5

Nota: Se muestra la toma de temperaturas durante 5 horas en 5 días. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 28

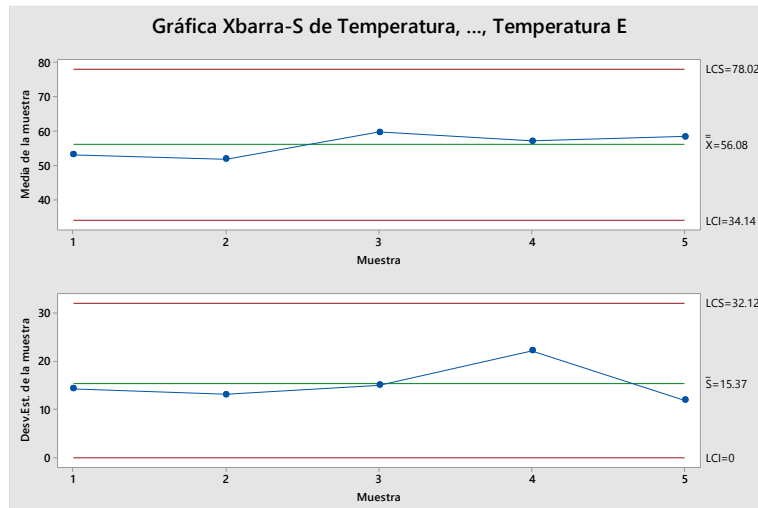
Diagrama X-R de temperaturas controladas



Nota: Toma de temperaturas en motores de 3 turnos donde ha disminuido debido a los cambios de maquinaria. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 29

Diagrama X-S de temperaturas controladas



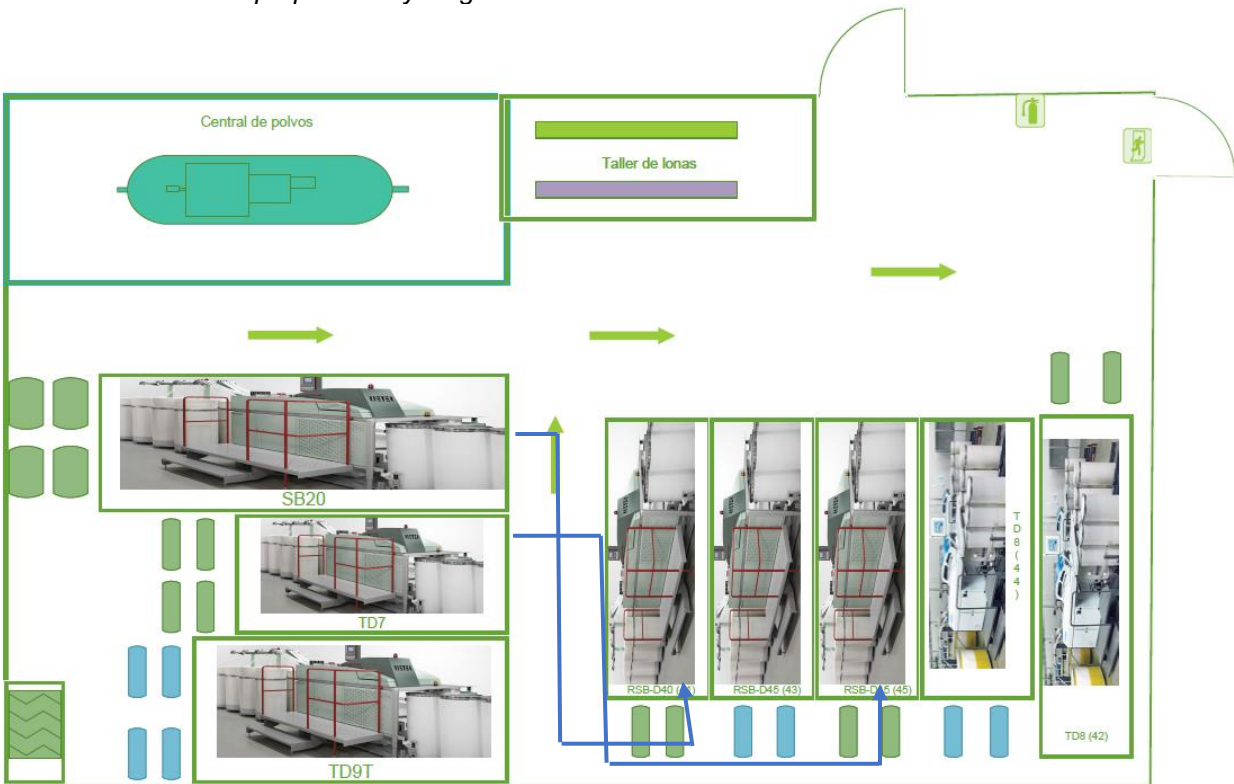
Nota: Toma de temperaturas donde se muestra más estabilidad en los motores debido al control que se ha tenido. Fuente: Elaboración Propia.

En las gráficas anteriores Figura 25 y 26, se puede observar que los resultados de las distintas muestras que se obtuvieron están dentro del límite superior y del límite inferior, lo cual indica que los valores mostrados tienen variaciones estando dentro de los límites mencionados, es decir, que se ha mejorado la temperatura siendo así que existan menos posibilidades de un paro.

4.2.5. Distribución

Finalmente, se realizó una distribución de maquinaria que afectaba a la máquina Open end Saurer Autocore 9 en el acumulamiento de borra, en el cual se realizaron diferentes propuestas y solo se tomó en cuenta una de ellas para mejorar la eficiencia de los trabajadores y se trabajará de manera lineal ver *Figura 32 Diseño de distribución de maquinaria propuesta 3*, por lo cual se implementó en las últimas semanas de noviembre y siguiendo así en el mes de diciembre el cual se ve de la siguiente manera ver *Anexo G y H Movimiento de estiradores*.

Figura 30
Diseño de distribución propuesta 1 y diagrama de recorrido

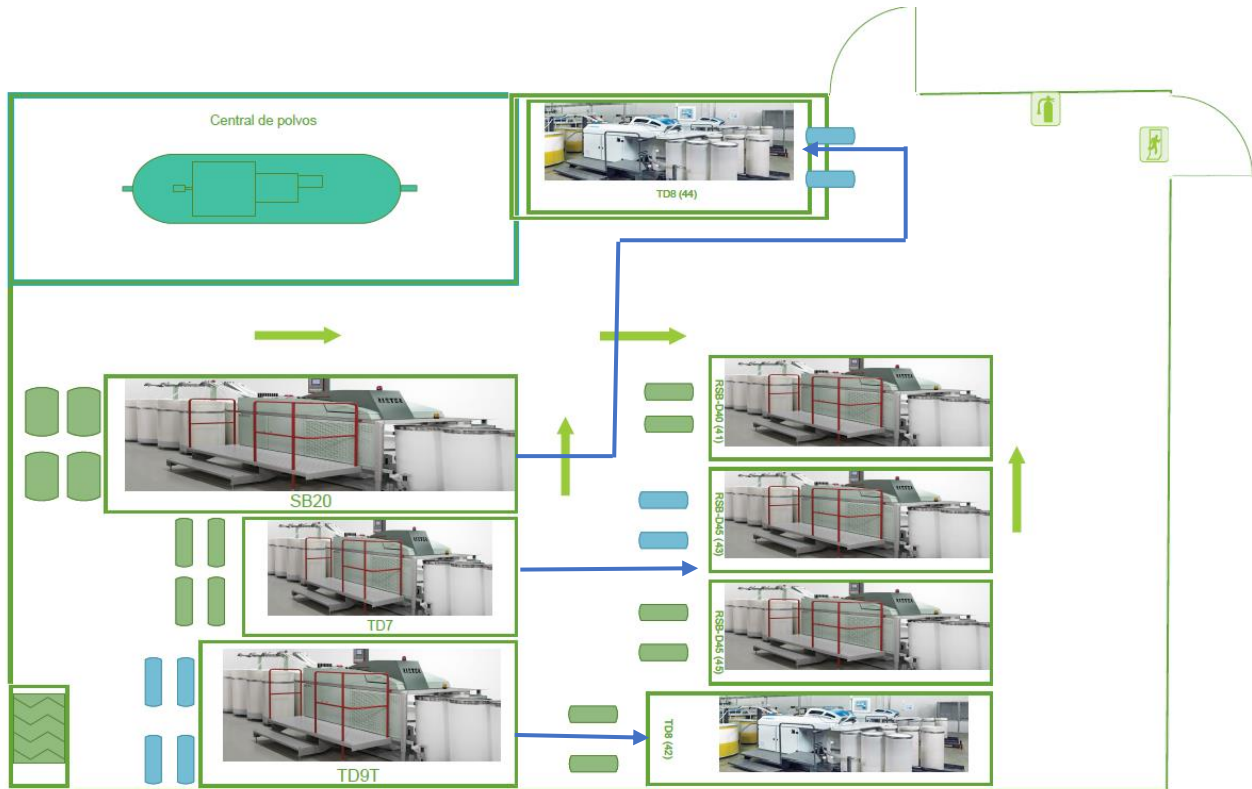


Nota: La ilustración muestra la distribución de estiradores para la mejora de la producción y evitar el acumulamiento de borra en los motores, así mismo se muestra el diagrama de recorrido de la preparación del material. Fuente: Elaboración Propia.

Esta propuesta no se tomó en cuenta debido al poco espacio que se tenía para ingresar los botes de algodón, ya que existe una pared en donde es imposible cortar y al momento de arrimar estas cubrirán parte del pasillo por donde entran y salen los botes del material así que el gerente general no quiso que se abarcar más espacio del que ya se tenía proporcionado, se muestra el diagrama de recorrido por el cual pasarían los botes de material.

Figura 31

Diseño de distribución propuesta 2 y diagrama de recorrido.

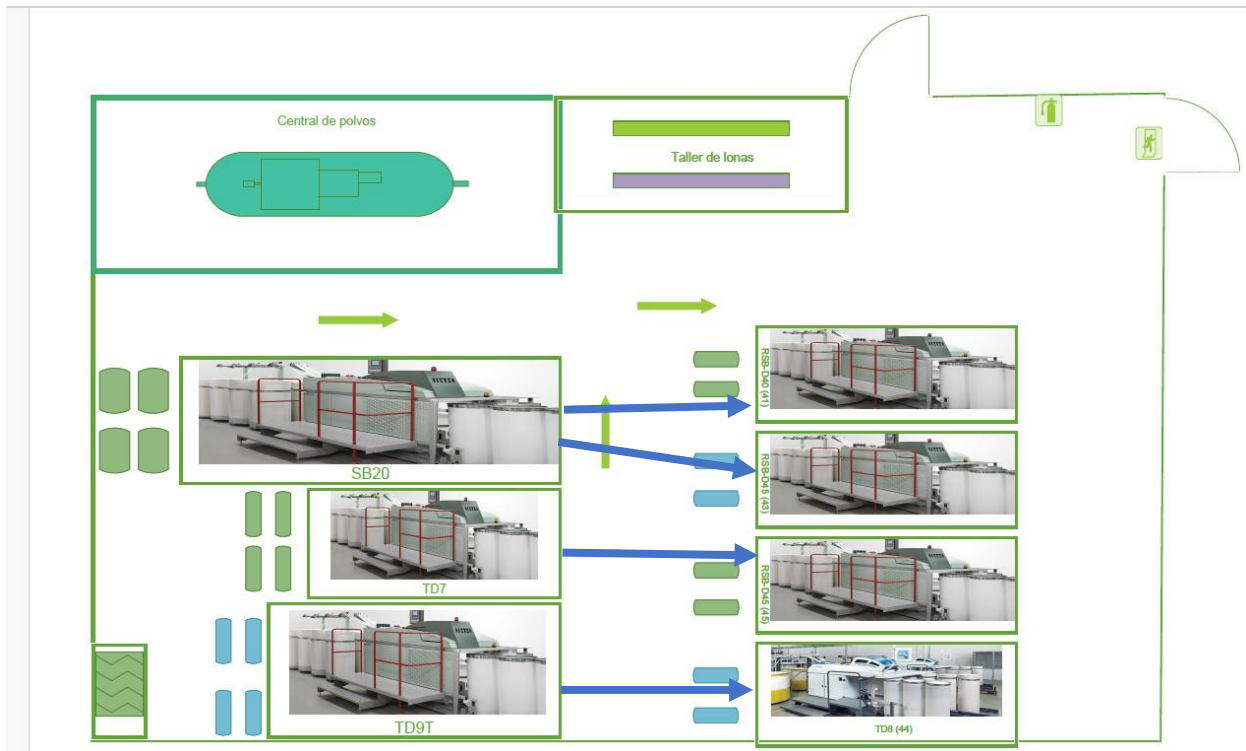


Nota: La ilustración muestra la distribución de estiradores para la mejora de la producción y evitar el acumulación de borra en los motores con su diagrama de recorrido. Fuente: Elaboración Propia.

La propuesta número 2 de igual manera no se consideró ya que esta implicaría el destruir un espacio más en donde anteriormente se utilizaba para el taller de maquinado, pero el dueño no quiso que se eliminara ya que este servirá para almacenar ciertas herramientas de los mecánicos, se muestra el diagrama de recorrido pero para esto se obstruiría el pasillo donde anteriormente se mencionó que entra y salen botes de material para las máquinas Open end.

Figura 32

Diseño de distribución de maquinaria propuesta 3 y diagrama de recorrido.

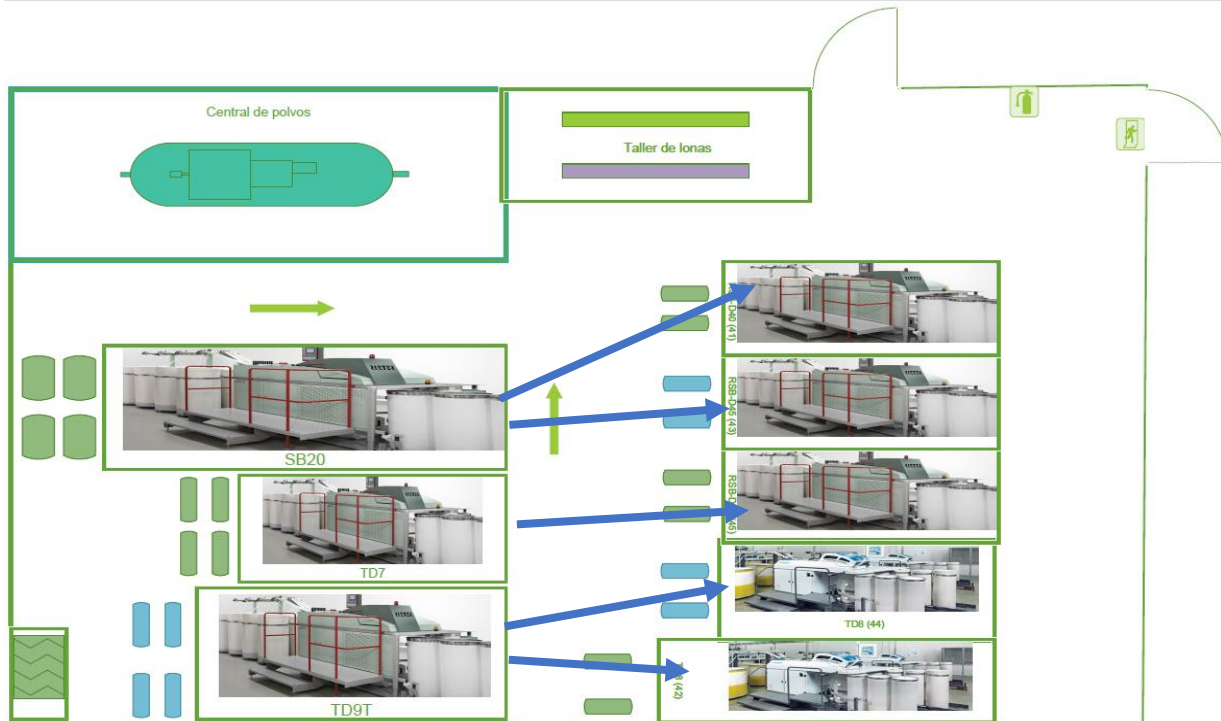


Nota: La ilustración muestra la distribución de estiradores para la mejora de la producción y evitar el acumulamiento de borra en los motores. Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 32 nos muestra la propuesta que se tomó en cuenta ya que nos muestra un proceso lineal en el cual los operadores trabajarán de manera eficiente y solo ingresarían botes de material de manera rápida, ya que se tiene el estirador de primer paso en el cual estira la cinta de algodón o en su caso poliéster, así mismo hacen la mezcla de algodón y poliéster, pero para tener una buena mezcla se pasa a un estirador de segundo paso para generar una buena cinta de material y esta se aprueba para generar el hilo en la máquina Open end Saurer Autocore 9.

Figura 33

Diseño de distribución propuesta 4 y diagrama de recorrido.




Nota: La ilustración muestra la distribución de estiradores para la mejora de la producción y evitar el acumulamiento de borra en los motores. Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente esta propuesta no se tomó en cuenta debido al poco espacio que se tenía para ingresar los botes de algodón estas cubrirán parte del pasillo por donde entran y salen los botes del material así que el gerente general no quiso que se abarcar más espacio del que ya se tenía proporcionado, se muestra el diagrama de recorrido por el cual pasarían los botes de material.

Después de las acciones implementadas se realizó el AMFEC, calculando el NRP ver *Tabla 10 AMFEC con las acciones a implementar y su NRP calculado* se puede mostrar en el tiempo qué está sucediendo y qué no los cambios para la maquinaria.

Tabla 10

AMFEC con las acciones a implementar y su NRP calculado

AMFEC de proceso		AMFEC de sistema		Lugar: Tritón Industrial S.A de C.V		Fecha: 27/11/2023		Resultados de la acción																	
Área responsable:	Mantenimiento			Dueño de proceso: Ingeniero David Sánchez																					
Elaborado por:	Angelica Muñoz, Erick Leonel			Revisado por: Ingeniero David Sánchez																					
Ítem	Operación	Falla funcional	Modo de falla	Efecto(s) potencial(es) de la falla	Severidad	Causa(s) potencial(es) de la falla	Ocurrencia	Control Actual	Detección	NPR (S*O*D)	Acciones Recomendadas	Responsable	Fecha Plazo Objetivo	Acciones Implementadas	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR (S*O*D) ⁴							
1	Motor	1.1 No giran los baleros y truena	Falta de aceite	Fallo/ paro de maquinaria	10	No se tiene programada la compra	6	No hay control	5	300	Establecer cambio de lubricantes en un periodo de tres años en el programa de mantenimiento preventivo (predictivo)	Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	0	0	0	0							
			Falta de grasa	Fallo/ paro de maquinaria	10		6	No hay control	5	300		Ingeniero David Sánchez	Diciembre												
		1.2 Falla circuito	Cables deteriorados	Fallo/ paro de maquinaria	9		Daño por mantenimiento,	4	No hay control	9		324	Fijar las tapas con broca pija, dejándolo en su lugar para ya no machucar los cables						Ingeniero David Sánchez	Diciembre	Fijación de tapas con brocapijas	2	2	10	160
			No llegan a los ampere s que corresponden	Fallo/ paro de maquinaria	9		Cables sueltos, malas conexiones.	4	No hay control	9		324	Ingeniero David Sánchez						Diciembre						
	Cables sin estabilidad	Fallo/ paro de maquinaria	8	Daño por goteras	6	No hay control	9	432	Ingeniero David Sánchez	Diciembre															
	1.3 Sobre calentamiento del motor	Acumulamiento de borra	Fallo/ paro de maquinaria	9	Fibras sueltas	7	No hay control	6	378	Implementar las CEP de temperatura con la cámara	Ingeniero David Sánchez	Diciembre	Toma de temperaturas en cada turno	2	2	10	160								

5	Tarjetas	5.1 Falla en cables de electricidad	Rotura de cables	Fallo/paro de huso	9	Mal mantenimiento mecánico	5	No hay control	5	225	Realiza inspecciones visuales cada tres días en todos los cables eléctricos para detectar signos de desgaste, abrasión, cortes o cualquier otra anomalía. Esto puede ayudar a identificar problemas antes de que se conviertan en fallas.	Ingeniero David Sánchez	Diciembre	N/A	0	0	0	0
			Presentan humedad	Fallo/paro de huso	8	Se filtra el agua de lluvia o el del humidificador	3	No hay control	6	144	Realiza inspecciones visuales cada tres días en todos los cables eléctricos para detectar signos de humedad o agua	Ingeniero David Sánchez	Diciembre	Se realizan inspecciones sobre los cables	2	2	5	80
6	Pantalla	6.1 Falla pantalla	No enciende	Fallo/paro de robot	7	Desconfiguración por uso	3	No hay control	6	126	Implementa un programa de mante	Ingeniero David Sánchez	Diciembre	Realizar chequeos semanales	2	4	10	320

			Descon figuraci ón	Fallo/ paro de robot	8	Mala conexi ón	4	No ha y co ntr ol	6	192	niment o predicti vo para la maquin aria, que incluya la inspec ción regular de las pantall as, conexi ones y compo nentes relacio nados.	Ingeni ero David Sánc hez	Diciem bre	del funcion amient o de las pantall as					
			No existe comuni cación	Fallo/ paro de robot	8	No hay conexi ón	3	No ha y co ntr ol	5	120	Realiz ar limpiez a y verifica la integrid ad de los cables para preveni r proble mas	Ingeni ero David Sánc hez	Diciem bre	N/A	0	0	0	0	0

Nota: AMFEC determinado con las acciones a implementar con el Ing. David Sánchez se eliminan las fallas posibles. Fuente: Elaboración Propia.

Posteriormente también se calculó la confiabilidad para determinar si hubo algún cambio después de la implementación. Después de haber aplicado la toma de temperaturas y la revisión constante de la Open end Saurer Autocore 9 estas fueron disminuyendo por lo cual se obtuvieron los siguientes datos.

$$\lambda = \text{N}^\circ \text{ de fallas} / \text{Tiempo total de funcionamiento} = 12 / 1440 = 0,008 \text{ fallas por hora.}$$

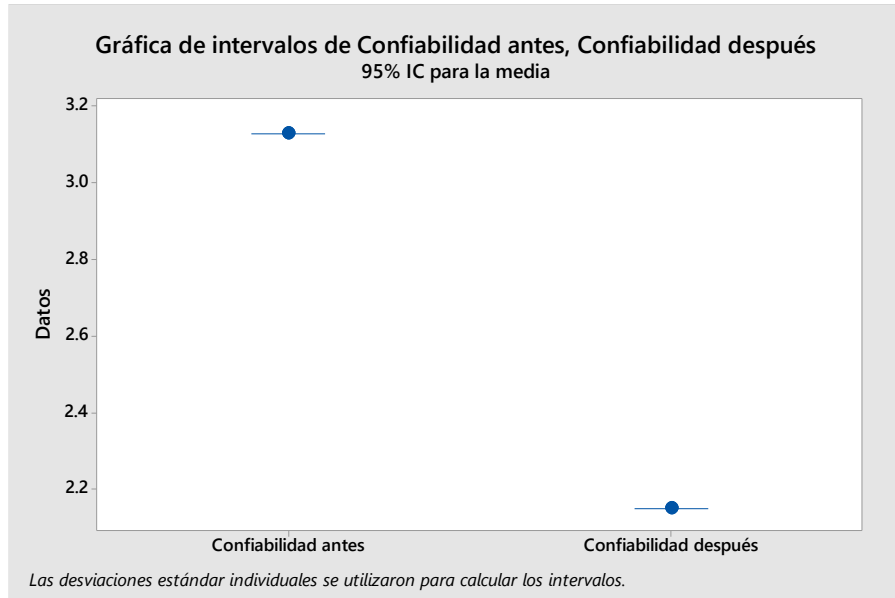
Por consiguiente estimamos la confiabilidad de la maquinaria

$$\text{Confiabilidad (R)} = 2.718^{(-0.008 \cdot 480)} = 0.021 = 2.1\%$$

Esto indica que la probabilidad de que el activo no presente fallas en los próximos 480 días es de 2.15%

Figura 34

Gráfica de comparación de la confiabilidad.



Nota: Gráficamente se realizó una comparación de la confiabilidad antes de las acciones y después de las acciones. Fuente: Elaboración Propia.

Una vez que se realizaron las acciones se hizo análisis de costos por mantenimiento planificado, en cual se generó por 4 meses en donde se lleva un costo de la pieza, las unidades, la fecha en que se pidió y el encargado, este sirve para saber que tanto estaban pagando por refacciones las cuales se pueden mejorar aún más con las acciones recomendadas.

Tabla 11

Tabla de costo por refacción

Fecha	Artículo	Cantidad	Importe	Total	Solicitante	control
17/05/2023	CAJA DE MANDO 161 655 628	1.00	3,000.00	3,000.00	SANCHEZ HERNANDEZ DAVID	\$ 3,000.00
02/06/2023	POSIOM COROMAT 139 655 534	1.00	10,428.40	10,428.40	SANCHEZ HERNANDEZ DAVID	\$ 10,428.40

02/06/2023	POSIKOM COROMAT 139 655 534	1.00	10,428.40	10,428.40	SANCHEZ HERNANDEZ DAVID	\$ 10,428.40
14/06/2023	S8M 1248	1.00	1,214.52	1,214.52	SALVADOR HERNANDEZ JESUS JAVIER	1,214.52
14/06/2023	6205 2Z C4	1.00	84.91	84.91	SALVADOR HERNANDEZ JESUS JAVIER	84.91
15/06/2023	SENSOR B332 161 660 101	1.00	6.25	6.25	ESTRADA GARDUÑO GABRIEL	\$ 112.78
19/06/2023	ACCIONAMIENTO DE ROTOR 161 006 841	1.00	8,909.84	8,909.84	SANCHEZ HERNANDEZ DAVID	\$ 8,909.84
15/06/2023	APOYO SENSOR 148 004 916	1.00	0.30	0.30	ESTRADA GARDUÑO GABRIEL	\$ 5.41
19/06/2023	ACCIONAMIENTO DE ROTOR 161 006 841	1.00	8,909.84	8,909.84	SANCHEZ HERNANDEZ DAVID	\$ 8,909.84
28/06/2023	CILINDRO D20/H25 161 004 102	1.00	2,403.59	2,403.59	ALONSO PORTILLO LEO EDEN	\$ 2,403.59
08/07/2023	CAN DISTRIBUIDOR 161 670 154	1.00	229.95	229.95	SAAVEDRA LOZANO LUCAS J	\$ 4,149.40
12/07/2023	VENTILADOR AXIAL 161 009 036	1.00	17,400.00	17,400.00	ESTRADA GARDUÑO GABRIEL	\$ 17,400.00
17/07/2023	ACCIONAMIENTO DE ROTOR 161 006 841	1.00	10,452.97	10,452.97	SANCHEZ HERNANDEZ DAVID	\$ 10,452.97
17/07/2023	ACCIONAMIENTO DE ROTOR 161 006 841	1.00	10,452.97	10,452.97	SANCHEZ HERNANDEZ DAVID	\$ 10,452.97
21/07/2023	5M 500	1.00	580.00	580.00	ALONSO PORTILLO LEO EDEN	\$ 580.00
02/08/2023	ACCIONAMIENTO DE ROTOR 161 006 841	1.00	10,452.97	10,452.97	SANCHEZ HERNANDEZ DAVID	\$ 10,452.97
03/08/2023	A 54	1.00	128.76	128.76	SAAVEDRA LOZANO LUCAS J	\$ 128.76
					Total	\$ 99,114.77

Nota: Tabla de costos por mantenimiento planificado. Fuente: Tritón Industrial S.A de C.V.

CAPÍTULO V DISCUSIÓN

5.1. Resultados obtenidos y esperados

H1: Con el diagrama Pareto y el análisis de criticidad se identificará el equipo crítico del proceso de hilatura.

De acuerdo al análisis de Pareto o también conocido como (80 20) el cual se realizó con registros que datan desde Noviembre del 2022 hasta Septiembre del 2023, con estos datos se fue posible identificar que las máquinas OPEN END son las que más fallos tuvieron. Después se elaboró otro Pareto, donde se pudo visualizar que la OPEN END Autocore 09 es la máquina que más fallos presentó y la que estaba trabajando a un bajo del nivel de eficiencia solicitado. Se encontraba trabajando al 95% y la meta es el 98%. Después se realizar un análisis de criticidad se identificó que componentes eran los que más afectados salen por el mal mantenimiento y así saber que acciones son las que se podían implementar para que la maquinaria contara con más eficiencia en su trabajo y esta trabaje con mayor calidad, así mismo se determinarían los reclamos de cada uno de los clientes ya que hubo pérdidas muy grandes de material.

H2: Con el AMFEC se identificarán los posibles fallos del equipo crítico y las acciones con las que se logrará disminuir el NPR.

Al haber realizado el AMFEC para determinar los posibles modos de los fallos críticos y se disminuyeran las fallas con las acciones recomendadas para disminuir el NRP, donde bajaron las temperaturas de los motores que componen una Open end Saurer Autocore 9, ya que también al mover cierta maquinaria se disminuyó los fallos por la temperatura y se espera que se deje de contaminar el material ya que se volaban ciertas partículas y se dañaba la producción.

H3: ¿Con el mantenimiento predictivo se logra reducir el número de fallas e incrementar la disponibilidad del equipo crítico en la empresa Tritón Industrial S.A de C.V?

Con las actividades que se definieron con ayuda del AMFEC se logró disminuir la probabilidad de fallo por lo que se incrementó la confiabilidad del equipo.

Se incremento en dos puntos porcentuales 3.13 y 2.15 y la confiabilidad del equipo por lo que, con las acciones que se tomaron en el mantenimiento eléctrico se concluye que al identificar los posibles fallos con el AMFEC, derivar acciones e implementarlas, fue posible mejorar la confiabilidad del equipo.

5.2. Conclusiones

Este proyecto que se explicó y se mostró previamente tuvo como objetivo minimizar el NRP después de identificar los posibles modos y fallas del área de mantenimiento eléctrico con un AMFEC, del cual se derivaron una serie de acciones, distribución de planta, toma de temperaturas en motores, colocación de brocapijas en tapas de máquinas Open End Saurer Autocore 9 y determinar la confiabilidad de la máquina , mediante las metodologías de control estadístico de calidad, esto debido a que el área no contaba con las herramientas necesarias para poder tener un control de las fallas que más se producen.

Para poder lograr el primer objetivo se estableció una matriz de criticidad para poder identificar el estado de los componentes de la máquina Open end Saurer Autocore 9 y así mismo determinar algunas acciones para que este fuera posible de cumplir y se obtuvo desde un AMFEC para cubrir con las necesidades de la empresa, sin embargo, por el tiempo se realizó un cronograma para poder señalar las actividades que se cumplieron en su tiempo y cuales falta por aplicar que en este caso se llevara a cabo la aplicación del mantenimiento predictivo, pues el encargado con sus colaboradores se dejaron ayudar y brindaron la información necesaria para que esto fuera posible.

Por otra parte, también se generaron algunos formatos para que todos los días se tomaran temperaturas y se generó un movimiento de maquinaria para evitar paros en los motores de acuerdo al espacio con el que contaba la empresa.

Para finalizar, los resultados que se obtuvieron de este proyecto de investigación, tienen una correcta aplicación de las herramientas, de esta manera se podrá dar seguimiento a los formatos y monitorear su comportamiento en los gastos que este trae consigo, además de la seguridad para cada uno de los trabajadores y encargados del área, para que estos puedan capacitar a los próximos empleados a llevar un buen control de las mediciones.

5.3.Recomendaciones y aportación

- Se les recomienda que se sigan empleando los formatos para toma de lectura con la cámara termográfica a cada uno de los motores que componen una Open end Autocore 9 para evitar más fallos de aquí en adelante.
- A contemplar seguir utilizando el mantenimiento predictivo para cada una de las áreas de mantenimiento (Eléctrico, Aire, Preparación y Mecánico) para que la empresa siga mejorando y se eviten los posibles reclamos y devoluciones del producto.
- Realizar cada una de las actividades que se quedaron pendientes en el Amfec ya que estas apoyaran al área de mantenimiento que disminuyan sus fallas.
- Realizar un plan de refacciones

Referencias bibliográficas

- Aguilar Otero R., Torres Arcique R., Magaña Jiménez D. (2013). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. Redalyc.org, 16.
- American Society for Quality (ASQ). (2018). En Palgrave Macmillan UK eBooks (p. 94). https://doi.org/10.1007/978-1-349-95810-8_109
- Amendola, L. (2011). Confiabilidad operacional. Universidad Politécnica de Valencia
- Ángel, M. M. J., Leví, G. A. V., & De León Santiago Vicente Miguel, D. (2017). Mantenimiento: Técnicas y aplicaciones industriales. Grupo Editorial Patria.
- B, A. S., & C, L. F. A. (2013). Planificación y control de proyectos. Ediciones UC.
- Bestraten Belloví, Manuel. (2004, pág. 4) Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad
- Blasco A, M. (2020) Diseño de la Distribución en Planta e Implantación de Un Almacén de Producto Semielaborado y Producto Terminado para Una Empresa del Sector del Plástico Dedicada a la Fabricación de Elementos Auxiliares de Limpieza. Univeritat Politécnica de Valencia.

- Botero, S. (2014). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. España: Vértice.
- De Jesús Anaya Barbosa, A., & Rangel, C. I. B. (2018). Aplicación de seis sigmas integradas con AMEF y QFD en el proceso de fabricación y distribución de muebles. *Ingeniare*, 24, 13-27. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.24.5168>
- Galván, J. (2015). Análisis de la implementación del mantenimiento productivo total (TPM) mediante el modelo de opciones reales. México: Aveas Beltrán
- Gutiérrez Edwin, Agüero Miguel, Calixto Ivanaska. (2023) Análisis de criticidad integral
- Hernández Jiménez Gersson Antonio. (2016). Aplicación de la metodología AMFEC (Análisis de modos de fallas, efectos y criticidad), en una máquina sacheteadora de colágeno tipo vertical en el Laboratorio Farmacéutico Rocnarf S.A. Guayaquil.
- HOSEINIE, Sulle. (Octubre,2015) Optimal Predictive Maintenance Planning for Water Spray System of Drum Shearer. *Science Direct* [en línea]. [Fecha de consulta: 09 de setiembre del 2020].
- Industria Textil y Confecciones. Recursos internet. Instituto de estudios económicos y sociales. 2020

- JASSO, A. C. (2011). "IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA EMPRESA AGR-RACKEND".
- JIMENEZ, A; IRIGOIEN, Itziar; Boto, Fernando; Sierra, Basilio y Rodríguez, German. (2019) Predictive Maintenance on the Machining Process and Machine Tool. Applied Sciences. 21, 2560–2574
- Mendoza, Huerta, R. (2000) El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional
- Mora, É. E., & Albañil, H. H. (2017). Análisis de fallas de estructuras y elementos mecánicos. Universidad Nacional de Colombia.
- Mendoza, R. H. (2013). El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional//Criticality analysis, a methodology to improve the operational reliability. Ingeniería mecánica, 3(4), 13-19.
- OLERCA, W, BOTERO, Marcela, CAÑÓN, Benhur. (Agosto,2021) Técnicas de Mantenimiento Predictivo Utilizadas en la Industria. Scientia Et Technica. n° 45
- POÓR, P. y BASL, J. (2019). Predictive Maintenance as an intelligent service in Industry 4.0. Journal of Systems Integration, vol. 10, no. 1.

- R, M. M. (2021). Control estadístico de la calidad. un enfoque creativo. Grupo Editorial Patria.
- Rafael, M. M. (2021). Control estadístico de la calidad. Un enfoque creativo. Grupo Editorial Patria.
- Reyes, P. (2007). “Análisis del Modo y Efecto de Falla”. Recuperado de www.icicm.com/files/PFMEA.doc (25-08-16)
- Robles, F. (2011). La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial. PREDITEC, 4.
- Rojas. (2018, pág. 17) Análisis de criticidad integral de activos físicos
- Salazar López B;(2016); Análisis del modo de fallas (AMEF) en: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>
- Santos H.,Gutiérrez E, M. S. (2013). Análisis de criticidad integral de activos físicos. *UNERMB (NE)*, 8-28.
- Sáez Mas, A. (2020) Modelos Y Métodos Para El Diseño De Sistemas De Aprovisionamiento A Líneas De Montaje Con Mezcla De Modelos. Univeritat Politècnica de Valencia.

- Sáez Más, A. and García Sabater, J. P. (2016) 'Material Flow Risk evaluación for layout design', Working Papers on Operaciones Management, 7, p. 43. doi: 10.4995/wpom.v7i2.5710.

Anexos Glosario

Anexo A

Ficha técnica de la maquina Open end Saurer Autocore 9.

	Tritón Industrial S.A de C.V	Código	N/A		
		Fecha	04/12/2023		
	Ficha técnica de equipo	Versión	001		
Descripción general del equipo					
<p>El Autocoro 9 demuestra su impresionante superioridad tecnológica. Con sistemas más inteligentes, establece nuevos estándares de eficiencia energética, productividad, rentabilidad, facilidad de manejo y calidad. Hilanderías de todo el mundo que producen hilos para productos básicos en grandes cantidades han cambiado ya hoy sus mercados con la tecnología del nuevo Autocoro.</p>					
Modelo	Autocore 9				
Marca	Saurer				
Serie	16104160828				
Ubicación	No aplica				
Fecha de compra	01/04/2016				
Código de maquinaria	No aplica				
Garantía	No aplica				
Datos técnicos					
Frecuencia	Enfriador	Dimensiones		Voltaje	Combustible
50/60 Hz	Ventilador	Largo	76.4 Metros	440 V	Eléctrico
		Ancho	2.2 Metros		
		Alto	3.5 Metros		
Mantenimiento					
Precauciones	N/A				
Datos del fabricante	Ubicación: Germany				
	Tel: +49 24 51 905 1000				
	Correo: info.schlafhorst@saurer.com				



Se realizó una ficha técnica para saber las especificaciones de la maquina con la que se analizó para la investigación. Fuente: Elaboración propia.

Anexo B

Determinación de tablas de riesgo para trabajar con el AMFEC, estas se trabajaron en colaboración con el Ingeniero David Sánchez.

Tabla de Severidad

NIV EL	EFEECTO	SEVERIDAD DEL DAÑO
10	Peligro (sin aviso)	Puede poner en peligro al operador, afecta la seguridad de la operación y/o involucra NO conformidades, la falla se presenta SIN AVISO
9	Peligro (con aviso)	Puede poner en peligro al operador, afecta la seguridad de la operación y/o involucra NO conformidades, la falla se presenta CON AVISO
8	Muy Alto	Interrupción Total, productos o servicios NO conformes, inoperables, clientes muy molestos e insatisfechos
7	Alto	Interrupción menor, buena parte de los productos y servicios NO conformes, clientes inconformes
6	Moderado	Interrupción menor, productos y servicios con imperfecciones, algunos clientes inconformes
5	Bajo	Interrupción menor, Algunos productos o servicios defectuosos, algunos clientes con insatisfacción
4	Muy bajo	Interrupción menor, devoluciones de productos y servicios, defectos percibidos por clientes
3	Pequeño	Interrupción menor, productos y servicios reprocesados, defectos de baja incidencia
2	Muy pequeño	Interrupción mínima, defectos de producto o servicio imperceptibles detectados exclusivamente por expertos
1	Ninguno	Productos y servicios conformes, clientes satisfechos

Tabla de valores para calcular la severidad. Fuente: ASQ (American Society for Quality)

Anexo C

Tabla de Ocurrencia.

Nivel	Valor cualitativo de ocurrencia de la Falla	Racha de oportunidades de falla	Concepto
10	Extremadamente Alta	1 en 2	Certeza casi absoluta de falla
9	Muy Alta	1 en 3	Falla Casi inevitable
8	Alta	1 en 8	Asociada con procesos similares
7	Recurrente	1 en 20	Sucesos de Fallas Frecuentes
6	Moderada	1 en 80	Asociada con procesos previos
5	Ocasional	1 en 400	Es típico presentar fallas
4	Esporádica	1 en 2000	De vez en cuando hay fallas
3	Baja	1 en 15000	Hay fallas excepcionales
2	Muy Baja	1 en 150000	Fallas muy aisladas e imperceptibles
1	Remota	1 en 1500000	Es improbable que haya falla

Tabla de valores para la ocurrencia. Fuente: ASQ (American Society for Quality)

Anexo D

Tabla de detección.

Nivel	Capacidad de detección	Sensibilidad en los controles para la detección de fallas o desviaciones
10	Improbable	Controles detectan menos del 40% de las fallas
9	Muy Remota	Controles detectan el 40% de las fallas
8	Remota	Controles detectan el 50% de las fallas
7	Muy Baja	Controles detectan el 60% de las fallas
6	Baja	Controles detectan el 70% de las fallas
5	Moderada	Controles detectan el 80% de las fallas
4	Moderada Alta	Controles detectan el 85% de las fallas
3	Alta	Controles detectan el 90% de las fallas
2	Muy Alta	Controles detectan el 95% de las fallas
1	Casi Seguro	Controles detectan el 99.5% de las fallas

Tabla de valores para la detección. Fuente: ASQ (American Society for Quality)

Anexo E

Tabla de NRP.

Atributo de prioridad	Nivel NPR	Código Color
Riesgo de Falla ALTO	500-1000	
Riesgo de Falla MEDIO	125-499	
Riesgo de Falla BAJA	1-124	
No existe Riesgo de falla	0	

Tabla de valores para calcular el NRP Fuente: ASQ (American Society for Quality)

Anexo F

Valores de Matriz de Riesgos

		Matriz de riesgos						
		CONSECUENCIA						
		Mínima	Menor	Moderada	Mayor	Máxima		
Probabilidad		1	2	4	8	16	Nivel de riesgo	Color
Muy alta	5	5	10	20	40	80	Riesgo Aceptable	Verde
Alta	4	4	8	16	32	64	Riesgo Tolerable	Amarillo
Media	3	3	6	12	24	48	Riesgo Alto	Naranja
Baja	2	2	4	8	16	32	Riesgo Extremo	Rojo
Muy Baja	1	1	2	4	8	16		

Tablas de valores para calcular la criticidad del equipo. Norma NORZOK Z-013 “Risk and Emergency Preparedness Analysis”)

Anexo G

Movimiento de estiradores de primer y segundo paso.



La ilustración muestra el orden que se está llevando para la reubicación de máquinas.

Movimiento de estiradores



Distribución de máquinas para mejorar los tiempos de producción. Fuente: Autoría propia.

Reubicación de máquinas en el salón.



Muestra de la nueva reubicación de máquinas en el nuevo espacio determinado para no dañar más maquinaria.

5.4. Glosario

Paro: Alteración o interrupción de un proceso productivo con afectación a la cadena de productos e impactos económicos negativos en las industrias.

Uso: Componente individual de torciones de hilo, conformado por una caja de hilatura y caja de bobinado.

Fallo: Es cualquier evento en el que una pieza de maquinaria industrial no funciona, ya sea total o parcialmente, o deja de funcionar de la manera prevista y puede abarcar diferentes escenarios y niveles de gravedad.

Borra: Es un producto semiterminado creado a partir de desperdicio textil (fibras naturales como algodones y telas sintéticas como los poliésteres).