



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA CON MENCIÓN EN**

**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO**

**TESIS**

**DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO**

**BASADO EN EL RIESGO PARA INCREMENTAR LOS**

**INDICADORES DE MANTENIMIENTO DE LA ASOCIACIÓN**

**TEXTIL AETI DE LA CIUDAD DE ILO.**

**PRESENTADA POR**

**BACH. MEDINA VILLEGAS, ARNULFO ANDRE**

**ASESOR:**

**DR. ALMANZA QUISPE, WILLIAMS SERGIO**

**PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE MANTENIMIENTO**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2021**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>PÁGINA DE JURADO</b> .....	<i>i</i>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<i>ii</i>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<i>iii</i>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<i>iv</i>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<i>ix</i>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<i>xi</i>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<i>xiii</i>
<b>RESUMEN</b> .....	<i>xv</i>
<b>ABSTRACT</b> .....	<i>xvi</i>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<i>xvii</i>
<b>CAPITULO I PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Descripción de la Realidad Problemática .....	1
1.2. Tipo y Diseño de Investigación .....	1
1.3. Objetivos de la Investigación.....	3
1.4.1 Objetivo General .....	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4. Delimitación del Problema .....	3
1.5. Justificación De La Investigación.....	4

1.6. Variables Operacionales .....	6
1.7. Hipótesis de la Investigación .....	7
1.8.1 Hipótesis General.....	7
1.8.2 Hipótesis Alternativa y Nula.....	7
<b>CAPITULO II SITUACIÓN CONTEXTUAL DE LA EMPRESA .....</b>	<b>8</b>
2.1 Antecedentes de la Asociación Textil AETI. ....	8
2.2 Referencias de la Asociación Textil AETI .....	13
2.2.1 Ubicación Geográfica y Distribución .....	13
2.2.2 Objetivos de la Asociación Textil AETI.....	15
2.2.3 Análisis Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas.....	15
2.2.4 Organigrama de la Asociación Textil AETI. ....	17
2.3 Producción de la Asociación. ....	18
<b>CAPITULO III MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
3.1 Introducción.....	20
3.2 Antecedentes del Mantenimiento Basado en el Riesgo.....	21
3.3 Evolución de las Metodologías de Mantenimiento .....	22
3.3.1 Primera Generación de Mantenimiento .....	23
3.3.2 Segunda Generación de Mantenimiento: .....	26
3.3.3 Tercera Generación de Mantenimiento:.....	29
3.3.4 Cuarta Generación de Mantenimiento: .....	31
3.3.5 Quinta Generación de Mantenimiento: .....	33
3.4 Definición de Mantenimiento Basado en el Riesgo .....	34
3.4.1 Definición de Gestión de Activos .....	35

3.4.1.1	Definición de Gestión de Activos .....	36
3.4.1.2	Norma ISO 55000 .....	37
3.4.2	Contexto Operativo .....	38
3.4.2.1	Proceso por Lote o por Flujo.....	41
3.4.2.2	Estándares de Calidad .....	42
3.4.2.3	Redundancia .....	43
3.4.2.4	Utilización y Carga.....	44
3.4.2.5	Ambiente Operativo y Estándares Medioambientales .....	44
3.4.2.6	Jornadas de Trabajo.....	44
3.4.2.7	Trabajo en Progreso y Almacenamiento de Stock .....	45
3.4.2.8	Peligros de Seguridad.....	47
3.4.2.9	Demanda de Mercado y Fluctuaciones. ....	48
3.4.3	Estándares de Función y Rendimiento.....	49
3.4.3.1	Descripción de Funciones .....	50
3.4.3.2	Estándares de Rendimiento .....	51
3.4.3.3	Múltiples Estándares de Rendimiento.....	56
3.4.3.4	Estándares de Rendimiento Cuantitativas .....	56
3.4.4	Definición de Fallo .....	57
3.4.4.1	Estados de Falla.....	57
3.4.4.2	Modos de Fallo.....	58
3.4.4.3	Efectos de Fallo y Severidad de las Consecuencias .....	59
3.4.5	Método de Toma de Decisiones Según el Riesgo.....	60
3.4.6	Estándares de Gestión de Riesgo .....	63
3.4.6.1	Norma ISO 31000:2009 .....	63

3.4.7	Frecuencia de Falla y Tiempo Medio Entre Fallas .....	65
3.4.8	Análisis de la Distribución de Fallas Promedio .....	66
3.4.9	Tiempo de Inactividad y Tiempo de Reparación .....	68
3.4.10	Estrategias Proactivas de Gestión de Riesgo .....	71
3.4.11	Proceso de Selección de Estrategias .....	75
3.4.12	Aplicación del Mantenimiento Basado en el Riesgo .....	78
3.4.12.1	Paso 1: Definir el Contexto Operativo .....	80
3.4.12.2	Paso 2: Establecer las Funciones de Activos Físicos .....	83
3.4.12.3	Paso 3: Determinar los Sistemas de Activos Físicos.....	84
3.4.12.4	Paso 4: Identificar los Estados de Falla.....	87
3.4.12.5	Paso 5: Identificar los Modos de Falla .....	89
3.4.12.6	Paso 6: Identificar los Efectos de Estas.....	92
3.4.12.7	Paso 7: Evaluar el Riesgo de los Activos Físicos .....	93
3.4.12.8	Paso 8: Establecer la Estrategia de Mantenimiento .....	95
3.4.12.9	Paso 9: Documentar los Resultados .....	96
<b>CAPITULO IV METODOLOGÍA.....</b>		<b>97</b>
4.1	Introducción de la Metodología.....	97
4.2	Aplicación de la Metodología.....	97
4.3	Paso 1: Definir el Contexto Operativo .....	98
4.3.1.	Codificación de Activos Físicos .....	99
4.3.2.	Criticidad de los Activos Físicos .....	101
4.3.3.	Indicadores de los Activos Físicos Críticos .....	106
4.4	Paso 2: Establecer Funciones de los Activos Físicos .....	108
4.5	Paso 3: Determinar los Sistemas de Activos Físicos .....	114

4.6	Paso 4: Identificación de los Estados De Fallo.....	114
4.7	Paso 5: Identificación de los Modos de Fallas.....	116
4.8	Paso 6: Identificación de los Efectos de Fallas.....	120
4.9	Paso 7: Evaluar el Riesgo de los Activos Físicos.....	123
4.10	Paso 8: Establecer la Estrategia de Mantenimiento.....	135
4.11	Paso 9: Presentación de los Resultados.....	143
4.12	Validación de la Hipótesis General.....	144
<b>CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>145</b>
5.1	Conclusiones.....	145
5.2	Recomendaciones.....	146
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>148</b>
<b>ANEXO 01 MATRIZ DE OPERATIVIDAD DE VARIABLES.....</b>		<b>152</b>
<b>ANEXO 02 DIAGRAMAS DE PRODUCCIÓN.....</b>		<b>155</b>
<b>ANEXO 03 FICHA TÉCNICA DE LOS ACTIVOS FÍSICOS.....</b>		<b>163</b>
<b>ANEXO 04 DESPIECE DE LAS BORDADORAS DE TELA.....</b>		<b>171</b>
<b>ANEXO 05 HISTORIAL DE FALLAS DE BORDADORAS DE TELA....</b>		<b>192</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación Geográfica de la Asociación Textil AETI.....	13
Figura 2: Ubicación de la Asociación Textil AETI en la Ciudad de Ilo. ....	14
Figura 3: Organigrama Funcional de la Asociación Textil AETI.....	17
Figura 4: Características de la Primera Generación de Mantenimiento.....	25
Figura 5: Características de la Segunda Generación de Mantenimiento.....	29
Figura 6: Características de la Tercera Generación de Mantenimiento .....	31
Figura 7: Técnicas de Mantenimiento.....	32
Figura 8: Objetivos de Mantenimiento .....	33
Figura 9: Principios y Características Claves de la Gestión de Activos .....	35
Figura 10; Enfoque y Contexto de la PAS-55.....	37
Figura 11: Esquema de Sistema de Bombeo.....	40
Figura 12: Producción por Flujo .....	41
Figura 13: Producción por Lote .....	42
Figura 14:Diferentes Contextos Operativos.....	43
Figura 15: Tipos de Procesos de Inventariado en Empresas Manufactureras.....	46
Figura 16: Jerarquía de Control de Seguridad en el Trabajo .....	48
Figura 17:Capacidad Inicial vs Rendimiento Deseado .....	52
Figura 18: Características de un Activo Mantenable.....	54

Figura 19: Característica de Activo no Mantenible .....	55
Figura 20: Proceso General de Toma de Decisión de la Gestión de Riesgo.....	64
Figura 21: Elementos de Tiempo de Inactividad y Tiempo de Reparación.....	69
Figura 22: Visión Tradicional de la Falla de Equipos.....	71
Figura 23: Seis Patrones de Fallas .....	72
Figura 24: Secuencia de Análisis de Modo de Falla y Efecto.....	79
Figura 25: Niveles de Estructura de una Planta Industrial.....	82
Figura 26: Diferentes Visiones Referentes a Fallas .....	88
Figura 27: Estructura de Codificación de los Activos .....	99
Figura 28: Resumen de Criticidad de Activos Físicos Asociación AETI.....	104
Figura 29: Suma de los Valores de RPN de Cada Sistema.....	133
Figura 30: Promedio de los Valores de RPN de Cada Sistema.....	134
Figura 31: Máximo de los Valores de RPN de Cada Sistema.....	134



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Personal de la Asociación Textil AETI .....	18
Tabla 2: Producción Mensual de la Asociación Textil AETI .....	19
Tabla 3: Codificación de los Activos por Numero, Sección y Planta .....	100
Tabla 4: Criterios de Criticidad y Cuantificación .....	102
Tabla 5: Cálculo de Criticidad de la Maquinaria de la Asociación AETI. ....	103
Tabla 6: Matriz de Criticidad Norma NORZOK Z-008 2001.....	105
Tabla 7: Resumen de Análisis de Criticidad de los Activos Físicos.....	105
Tabla 8: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR01 2018.....	107
Tabla 9: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR02 2018.....	107
Tabla 10: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR03 2018.....	107
Tabla 11: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR04 2018.....	108
Tabla 12: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR05 2018.....	108
Tabla 13: Criterio de Consecuencia .....	124
Tabla 14: Criterio de Probabilidad.....	125
Tabla 15: Criterio de Detección .....	125
Tabla 16: Evaluación de Riesgo del Sistema de Bancada y Mesa.....	126
Tabla 17: Evaluación de Riesgo del Sistema de Transmisión .....	127
Tabla 18: Evaluación de Riesgo del Sistema de Gancho.....	128

Tabla 19: Evaluación de Riesgo del Sistema de Cambio de Color de Hilo.....	129
Tabla 20: Evaluación de Riesgo del Sistema de Mecanismo de Aguja.....	130
Tabla 21: Evaluación de Riesgo del Sistema de Levas de Brazo de Aguja.....	131
Tabla 22: Evaluación de Riesgo del Sistema de Barra de Aguja.....	132
Tabla 23: Hoja de Resumen de Evaluación de Riesgo .....	133
Tabla 24: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Mesa y Bancada.....	135
Tabla 25: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Transmisión .....	136
Tabla 26: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Gancho Rotativo .....	137
Tabla 27: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Cambio de Color.....	138
Tabla 28: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Soporte de Brazo .....	139
Tabla 29: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Mecanismo de Aguja...	140
Tabla 30: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Levas de Brazo .....	141
Tabla 31: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Barra de Aguja.....	142
Tabla 32: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR01 2019 .....	143
Tabla 33: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR02 2019 .....	143
Tabla 34: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR03 2019 .....	143
Tabla 35 Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR04 2019 .....	143
Tabla 36: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR05 2019.....	144
Tabla 37: Comparación de Disponibilidad y Confiabilidad 2018 y 2019 .....	144

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Variables Operacionales.....	6
Cuadro 2: Lista de la Junta Directiva de la Asociación AETI.....	8
Cuadro 3: Análisis FODA de la Asociación AETI.....	16
Cuadro 4: Listado de Activos de la Asociación AETI. Planta Ilo - Moquegua.....	98
Cuadro 5: Listado de Activos de la Asociación AETI. Planta Ilo - Moquegua.....	99
Cuadro 6: Resumen de la Codificación de los Activos.....	101
Cuadro 7: Ficha Técnica de Maquina Bordadora CNC 13BOR01.....	109
Cuadro 8: Ficha Técnica de Maquina Bordadora CNC 13BOR02.....	110
Cuadro 9:Ficha Técnica de Maquina Bordadora CNC 13BOR03.....	111
Cuadro 10: Ficha Técnica de Maquina Bordadora CNC 13BOR04.....	112
Cuadro 11:Ficha Técnica de Maquina Bordadora CNC 13BOR05.....	113
Cuadro 12: Estados de Falla de Bordadora CNC.....	115
Cuadro 13: Modo de Fallas del Sistema de Mesa y Bancada.....	116
Cuadro 14: Modo de Fallas del Sistema de Caja de Transmisión.....	117
Cuadro 15:Modo de Fallas del Sistema de Gancho Rotativo.....	117
Cuadro 16: Modo de Fallas del Sistema de Cambio de Color de Hilo.....	118
Cuadro 17: Modo de Fallas del Sistema de Mecanismo de Aguja.....	118
Cuadro 18: Modo de Fallas del Sistema de Levas de Brazo de Aguja.....	119

Cuadro 19: Modo de Fallas del Sistema de Barra de Agujas.....	119
Cuadro 20: Efectos de Falla del Sistema de Bancada y Mesa .....	120
Cuadro 21: Efectos de Falla del Sistema de Transmisión.....	120
Cuadro 22: Efectos de Falla del Sistema de Gancho Rotativo.....	121
Cuadro 23: Efectos de Falla del Sistema de Cambio de Color de Hilo .....	121
Cuadro 24: Efectos de Falla del Sistema de Mecanismo de Aguja.....	122
Cuadro 25: Efectos de Falla del Sistema de Levas de Brazo de Aguja .....	122
Cuadro 26: Efectos de Falla del Sistema de Barra de Aguja .....	123

## **RESUMEN**

En perspectiva económica globalizada, las funciones de los activos físicos son muy importantes, por este motivo los requerimientos de disponibilidad y confiabilidad de la Asociación Textil AETI. requiere de una estrategia de mantenimiento que permita satisfacer el objetivo deseado.

La asociación. viene realizando actividades de mantenimiento reactivo, debido a que no existe un programa definido de los mantenimientos a realizarse, y en la se espera a que ocurra una falla del activo para realizar un mantenimiento.

Para resolver este problema, se realizó el análisis de criticidad de los activos físicos, los cuales resultaron ser las 05 bordadoras de tela CNC, se hallaron los indicadores de disponibilidad y confiabilidad, obtuvo que el valor mínimo de confiabilidad y disponibilidad 78.82% y 65.24% respectivamente

Una vez implementado la estrategia de mantenimiento propuesto, los activos físicos críticos de la empresa presentaron una reducción en paradas no programadas y costos de mantenimiento lo cual elevó los indicadores de confiabilidad y disponibilidad a 85.29% y 82.08% mínimo respectivamente.

**Palabras Clave:** Confiabilidad, Disponibilidad, Planeación, Riesgo, Mantenimiento

## **ABSTRACT**

From a globalized economic perspective, the functions of physical assets are very important, for this reason the availability and reliability requirements of the AETI Textile Association. It requires a maintenance strategy that allows the desired objective to be met.

The Association. has been carrying out reactive maintenance activities, due to the fact that there is no defined program of maintenance to be carried out, and while it is waiting for an asset failure to occur to carry out maintenance.

To solve this problem, the criticality analysis of the physical assets was carried out, which turned out to be the 05 CNC fabric embroiderers, the availability and reliability indicators were found, obtained that the minimum value of reliability and availability 78.82% and 65.24% respectively

Once the proposed maintenance strategy was implemented, the company's critical physical assets presented a reduction in unscheduled shutdowns and maintenance costs, which raised the reliability and availability indicators to a minimum of 85.29% and 82.08% respectively.

**Key words:** Reliability, Availability, Planning, Risk, Maintenance

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis contempla el estudio y la implementación a través de una propuesta metodología para el diseño de la estrategia de mantenimiento centrado en el riesgo aplicado a los activos físicos de la Asociación AETI.

Esta Tesis está dividida en cuatro capítulos:

El primer capítulo se presentan los objetivos que se quieren lograr en esta investigación, las probables hipótesis, el tipo de investigación y el alcance.

En el segundo capítulo realizamos una evaluación del contexto de la empresa, desde su tipo de empresa, organización, organigrama, tipo de producción otros de interés para el desarrollo del proyecto.

En el tercer capítulo nos centramos en todos los conocimientos teóricos del mantenimiento centrado en el riesgo; como su historia, definición conceptual, estrategias de mantenimiento que aplica, indicadores de evaluación, normas de procedimiento y por último su evaluación y retroalimentación.

El cuarto capítulo aplicamos la metodología, donde se desarrollaron los pasos planteados, se definió las funciones, y se realizó el análisis de modo de falla y efectos culminando con la estrategia de mantenimiento

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Descripción de la Realidad Problemática**

Las empresas pymes en el Perú tienen un crecimiento productivo y económico, pero este crecimiento también demanda una mayor inversión económica, tecnológica y de conocimientos en tecnologías de mantenimiento y gestión de activos, para poder sostener el rendimiento de producción necesario para que estas empresas sean competitivas en el mercado nacional con las empresas e industrias textiles del norte como son las industrias en Lima, y en la región sur como Arequipa y Tacna e internacional con la importación de productos.

Estas empresas en general no les dan la importancia necesaria a las acciones de mantenimiento, haciendo que el desarrollo de tecnologías y metodologías de mantenimiento no satisfaga las necesidades de los empresarios, elevando los costos.

#### **1.2. Tipo y Diseño de Investigación**

El tipo de investigación que se llevara a cabo es del tipo básico y correlacional. Se le denomina investigación básica o pura a la que se realiza con el propósito de



incrementar los conocimientos y conceptos teóricos para el progreso de la ciencia de una determinada ciencia, en este caso a la ingeniería mecánica. (Ezequiel, 1995)

La investigación correlacional tiene el fin de determinar y evaluar la relación que tienen las variables en un contexto particular, para ver cómo afecta directa o indirectamente una o la otra y que resultados podemos obtener con estos (Hernández, 2014)

Estos fallos previenen que la empresa logre realizar trabajos de mayor requerimiento de producción, debido a que la falta de un plan de mantenimiento hace que sea muy bajo los indicadores de confiabilidad y disponibilidad de los equipos. Lo cual conlleva a no usar a toda la capacidad instalada de la empresa.

Los problemas que esta tesis de investigación pretende encarar se pueden definir de la siguiente forma:

- ¿Cómo influye el diseño de la estrategia de mantenimiento basado en el riesgo?
- ¿Cuáles son las principales características que presenta el mantenimiento basado en el riesgo?
- ¿Cuál es el nivel actual de los indicadores de mantenimiento en la asociación textil AETI de la ciudad de Ilo duarte el año 2018?

### **1.3. Objetivos de la Investigación**

#### **1.4.1 Objetivo General**

1. Diseñar la estrategia de mantenimiento basado en el riesgo para incrementar los indicadores de mantenimiento en la asociación textil AETI de la ciudad de Ilo.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

1. Identificar las principales características que presenta el mantenimiento basado en el riesgo respecto a otros tipos de mantenimiento.
2. Calcular el nivel actual de los indicadores de mantenimiento en la asociación.
3. Relacionar las características del mantenimiento basado en el riesgo con el nivel actual de los indicadores de mantenimiento que presenta la asociación.
4. Implementar la metodología del mantenimiento basado en el riesgo a la asociación
5. Evaluar los resultados obtenidos para ver el grado significativo de diferencia entre los indicadores antes y después del diseño de la estrategia de mantenimiento.

### **1.4. Delimitación del Problema**

- **Teórica**

Se seguirá la metodología, conceptos, vocabularios y enfoques del mantenimiento centrado en el riesgo; así como material como manuales y fichas técnicas de los

diferentes activos como bordadoras, Remalladora de Telas, entre otros que conforman a la asociación.

- **Temporal**

El periodo de investigación y toma de datos necesarios inicia en Julio del 2018 y culmina en Agosto del 2019

- **Espacial**

La ubicación donde se realizarán los análisis de los activos de la asociación será la ciudad de Ilo, departamento de Moquegua, el cual cuenta con su propio taller, así como algunos asociados que los empresarios consideren necesario.

### **1.5. Justificación De La Investigación**

- **Justificación Económica:**

- Aumentar el tiempo medio entre fallas de los equipos críticos,
- Aumentar la disponibilidad y la producción de la empresa
- Reducir los tiempos de mantenimiento,
- Reducen los costos y aumentan los beneficios.

- **Justificación Técnica:**

- Presentar nuevos modelos de mantenimiento como el modelo de mantenimiento basado en el riesgo el cual es aplicado en países como la india, la unión europea y estados unidos.

- Aplicar los nuevos modelos presentados y demostrar su factibilidad en el contexto empresarial peruano

- **Justificación Social:**

- Fomentar las nuevas culturas y estrategias de mantenimiento que vienen con los diferentes modelos y sistemas modernos que emplean las diferentes industrias de nivel mundial.
- Demostrar a los empresarios sobre los beneficios de la innovación en sus empresas
- Concientizar al personal técnico sobre las nuevas metodologías de mantenimiento
- Fomentar la aplicación de nuevas ingenierías y los beneficios de la investigación.

## 1.6. Variables Operacionales

**Cuadro 1: Variables Operacionales**

VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES
<b>Variable Independiente</b> Estrategia de Mantenimiento Basado en el Riesgo	Es una técnica cuantitativa de análisis basado en los costos, establece el valor relativo de las distintas actividades de mantenimiento y a su vez, sirve como herramienta de mejora continua. El mantenimiento basado en el riesgo evalúa el riesgo comercial actual y analiza los costos contras los beneficios de las medidas para eliminar o mitigar los fallos	Gestión de Mantenimiento	Nivel de Priorización de Riesgo
<b>Variable Dependiente:</b> Indicadores de Mantenimiento	En la gestión de mantenimiento los indicadores, denominados KPI, son los valores numéricos que, si están correctamente seleccionados, reflejan la situación y la evolución del departamento de mantenimiento	Equipos críticos de los talleres textiles	Confiability Tiempo Medio Entre Fallas Tiempo Medio Para Reparar Disponibilidad

**Fuente:** Elaboración Propia

## **1.7. Hipótesis de la Investigación**

### **1.8.1 Hipótesis General**

La aplicación del diseño de la estrategia de mantenimiento basado en el riesgo influirá de manera directa y significativa para incrementar los indicadores de mantenimiento en la asociación de la ciudad de Ilo.

### **1.8.2 Hipótesis Alterna y Nula**

- La aplicación del mantenimiento basado en el riesgo influye de manera indirecta y no significativa para incrementar los indicadores de mantenimiento en la asociación de la ciudad de Ilo.
- La aplicación del mantenimiento basado en el riesgo no influye de manera directa y significativa para incrementar los indicadores de mantenimiento en la asociación de la ciudad de Ilo.

## CAPITULO II

### SITUACIÓN CONTEXTUAL DE LA EMPRESA

#### 2.1 Antecedentes de la Asociación Textil AETI.

Con fecha 8 de Marzo del año 2013, un grupo de empresarios textiles de la provincia de Ilo, se reunieron con el fin de formar una asociación que los agrupe, acordándose su fundación con la denominación de ASOCIACIÓN DE EMPRENDEDORES TEXTILES ILO (AETI), acordándose el estatuto que regirá el destino de la institución, el mismo que sería insertado en la escritura pública.

Así mismo fue elegida la Junta Directiva, conformada por las siguientes personas:

**Cuadro 2: Lista de la Junta Directiva de la Asociación AETI**

CARGO	NOMBRE	DNI
Presidente	Marivel Picón Alvarado	07616455
Vicepresidente	María del Socorro Rivera Portocarrero	04636552
Secretario	Inés Vicenta Ramírez Bustinza	04628044
Tesorero	Ada Luz Mamani Mamani	04649693
Vocal	Crely Salazar Culqui	44700974

**Fuente:** Elaboración Propia

Se facultó expresamente al presidente y secretario de actas para que suscriban y firmen la minuta y consecuente escritura pública de constitución.

Son fines de la asociación:

- Mejorar y fortalecer los conocimientos, acciones y prácticas de carácter económico, social, cultural y ambiental de los miembros de la asociación, con tecnologías basadas en el conocimiento científico y en el desarrollo de capacidades, conducentes al mejoramiento de la producción y comercialización de sus actividades textiles; Mediante la implementación de cuatro líneas fundamentales de acción:

1. La promoción e implementación de capacidades.
2. La promoción e implementación de los productos textiles.
3. La promoción e implementación de tecnologías productivas e innovativas.
4. Establecimiento de condiciones de manejo empresarial entre los asociados.

- Promover, intermediar y crear opciones para sus asociados, mediante la elaboración y ejecución de proyectos productivos.

El día viernes 27 de Abril del año 2012, la Empresa Southern Perú en convenio con la Municipalidad Provincial de Ilo, inicia un programa de capacitación en Confecciones Textiles Industriales, en talleres de confección y gestión empresarial a cargo de profesionales de la Universidad Católica de Santa María, con 150 participantes. Para este proyecto la Southern Perú implementó un maqui centró con máquinas industriales: 15 máquinas de costura Recta, 03 Remalladora de Telas, 01



cerradora, 01 botonera, 01 ojaladora, 01 Recubridora de Tela, 01 cortadora, 03 planchas industriales, mesa de corte y otros implementos para facilitar los talleres de confección. El tiempo de duración fue de 18 meses, finalizó miércoles 11 de setiembre del 2013.

El principal objetivo de este programa de capacitación fue que, al finalizar los emprendedores ya formados, quienes habrían adquirido habilidades para promover o mejorar sus unidades de negocio podrían buscar asociarse con otras pymes similares para que atiendan la demanda del mercado, formando un “CLÚSTER TEXTIL” en la Provincia de Ilo.

Habiéndose formado ya la Asociación de Emprendedores Textiles Ilo (AETI), la empresa Southern Perú Cooper Corporation entregó en donación toda la maquinaria utilizada en el proyecto CLÚSTER TEXTIL a la asociación. Estos activos físicos constaron de cortadoras eléctricas de tela, máquinas de costura recta de tela, remalladoras de tela, cerradoras de tela, ojaladora de tela, botonera de tela, bordadoras de tela CNC.

Actualmente la asociación cuenta con dichos activos físicos en su taller institucional para realizar trabajos en forma conjunta.

Las asociadas que hasta el momento producen prendas de vestir para las empresas locales, instituciones públicas y privadas son las siguientes:

- MANTO TEXTIL E.I.R.L RUC: 20533105166
- CREACIONES JUBELA E.I.R.L RUC: 20533165142
- TEXTILES JUAN DIEGO E.I.R.L RUC: 20533270108

- INDUSTRIA TEXTIL DEL SUR J&K E.I.R.L RUC: 20533272739

Con el fin de satisfacer las demandas de nuestros clientes en lo que se refiere a calidad de los productos que se fabrica, se ha continuado con la implementación de maquinaria de alta tecnología, adquiriendo 03 bordadoras computarizadas adicionales.

A partir del año 2013, la empresa es proveedora de:

- LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ILO
- SOUTHERN PERÚ COOPER CORPORATION.
- MINISTERIO DE SALUD RED DE ILO.
- GOBIERNO REGIONAL DE MOQUEGUA.

Además de las organizaciones ya mencionadas existen muchas empresas que ofertan diversos tipos de servicios, algunas trabajan como terceros en las empresas como:

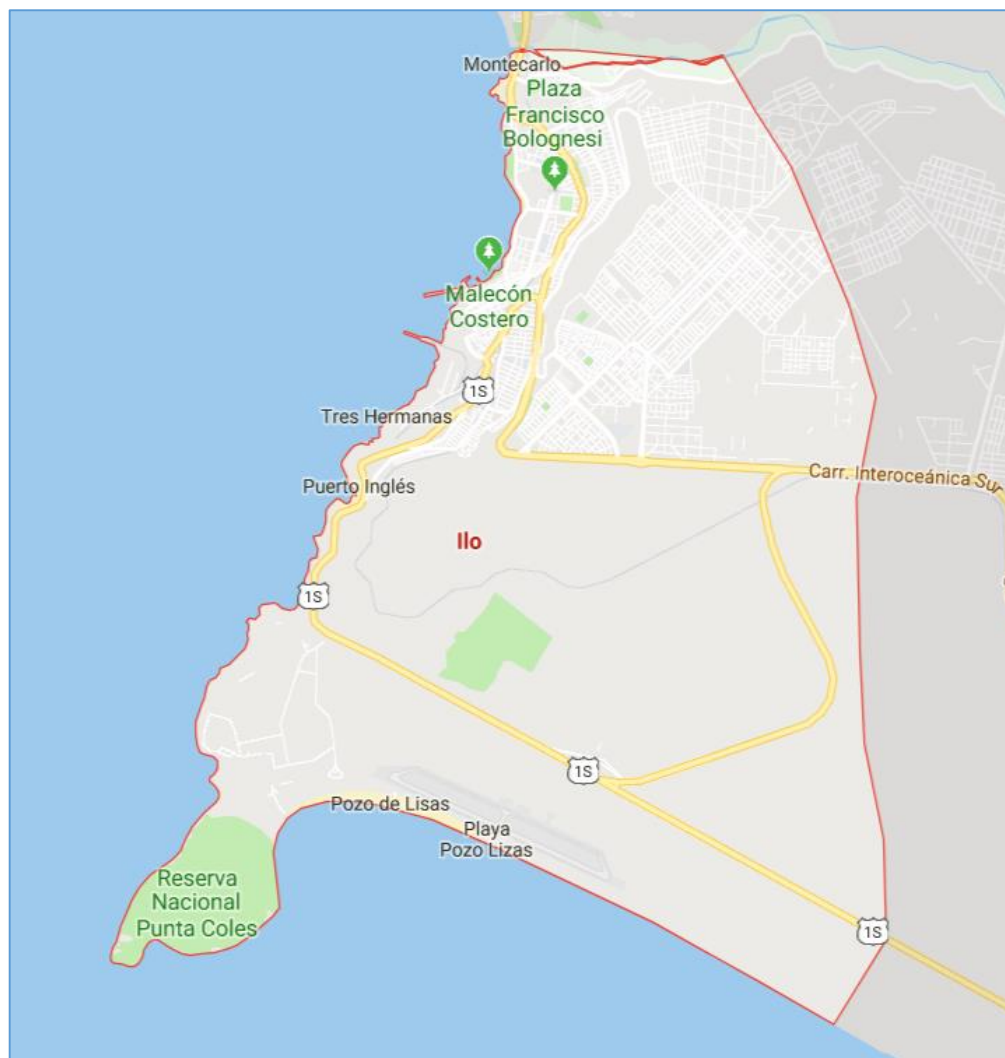
- SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION
- ENERSUR
- QUIROMI E.I.R.L.
- APOLO E.I.R.L
- CONGELADOS GUTIÉRREZ SAC
- HIELOS SANTA LUCIA E.I.R.L
- FACTORÍA WILSON E.I.R.L
- RADA TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.
- T Y T E.I.R.L.

- BENGOA Y FIGUEROA
- VFCG E.I.R.L
- NCK INGENIEROS E.I.R.L.
- MECHANIC PLANT INGENIEROS S.A.C.
- ANGLO AMÉRICA
- SERGEAR S.A.C.
- TECELEC S.R.L.
- MB SERVICIOS GENERALES
- EMPRESA DE TRANSPORTES HALCÓN E.I.R.L.
- EMPRESA DE TRANSPORTES Y SERVICIOS GENERALES  
QUINTINA E.I.R.L.
- MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ILO
- MUNICIPALIDAD DISTRITAL DEL ALGARROBAL
- MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PACOCHA
- CLUB DE LEONES ILO
- ROTARY CLUB
- TRABAJOS MARÍTIMOS S.A.C.
- EMPRESA DE SERVICIOS GENERALES VILLANUEVA.
- IMAGINE SCHOOL
- UNIDAD DE GESTIÓN EDUCATIVA LOCAL ILO

## 2.2 Referencias de la Asociación Textil AETI

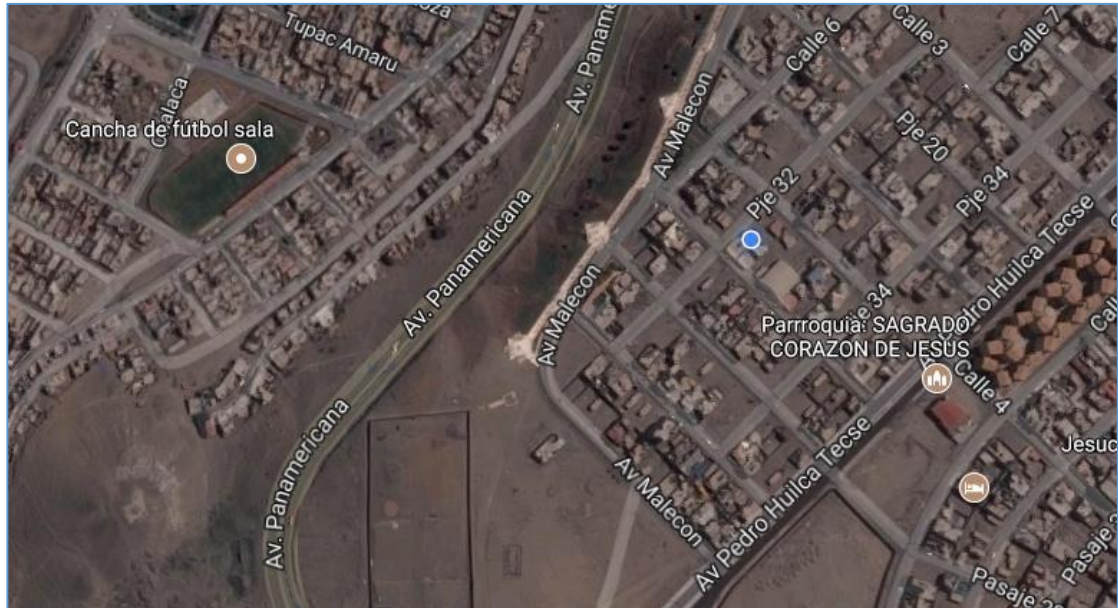
### 2.2.1 Ubicación Geográfica y Distribución

Actualmente la asociación. se encuentra ubicada en Urb. Magisterio Mz-37 Lt-16, departamento de Moquegua, ciudad de Ilo. Esta localización resulta muy ventajosa para la empresa debido a que se encuentra en la cercanía de diversas empresas privadas de servicios generales, proveedores de herramientas, repuestos y materias primas.



**Figura 1: Ubicación Geográfica de la Asociación Textil AETI**

Fuente: Google Maps 2019 [www.google.com.pe/maps/place/Ilo](http://www.google.com.pe/maps/place/Ilo)



**Figura 2: Ubicación de la Asociación Textil AETI en la Ciudad de Ilo.**

Fuente: Google Maps 2020 [www.google.com.pe/maps/place/Ilo](http://www.google.com.pe/maps/place/Ilo)

- **Visión de la Asociación Textil AETI.**

Ser una empresa que ofrezca la mejor opción en la confección de prendas de vestir y comercialización de indumentaria de protección personal con una constante innovación en diseños y líneas de productos de excelente calidad, disponibilidad y servicios.

- **Misión de la Asociación Textil AETI.**

Diseñar, confeccionar y comercializar prendas de vestir en diferentes líneas, con los más altos estándares de calidad, diseños exclusivos y a precio competitivo, con un recurso humano calificado para satisfacer las necesidades de nuestros clientes con ética, profesionalismo y responsabilidad.

### **2.2.2 Objetivos de la Asociación Textil AETI.**

- Ser una empresa exitosa la cual genere empleos en la localidad.
- Ser la organización más importante en todas las áreas que la conforman.
- Obtener un número grande e importante de clientes cautivos.
- Posicionarnos en el rubro textil como las empresas más importantes en la región Moquegua.
- Estar atentos y abiertos a las tendencias de la moda, así como la necesidad de la sociedad, para assimilarlas y responder en forma proactiva y práctica, manteniendo así la vigencia de la filosofía de la empresa.
- Cubrir al máximo la demanda de nuestros clientes para brindar una satisfacción total de sus demandas.
- Mantener siempre los precios competitivos en el mercado local y regional de nuestros productos.
- Brindar elegancia, comodidad y estilo a toda nuestra clientela con nuestros productos.

### **2.2.3 Análisis Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas**

El análisis FODA es una herramienta que permite obtener un diagnóstico preciso que permita en función de ello la toma de decisiones acorde con los objetivos y políticas formuladas.

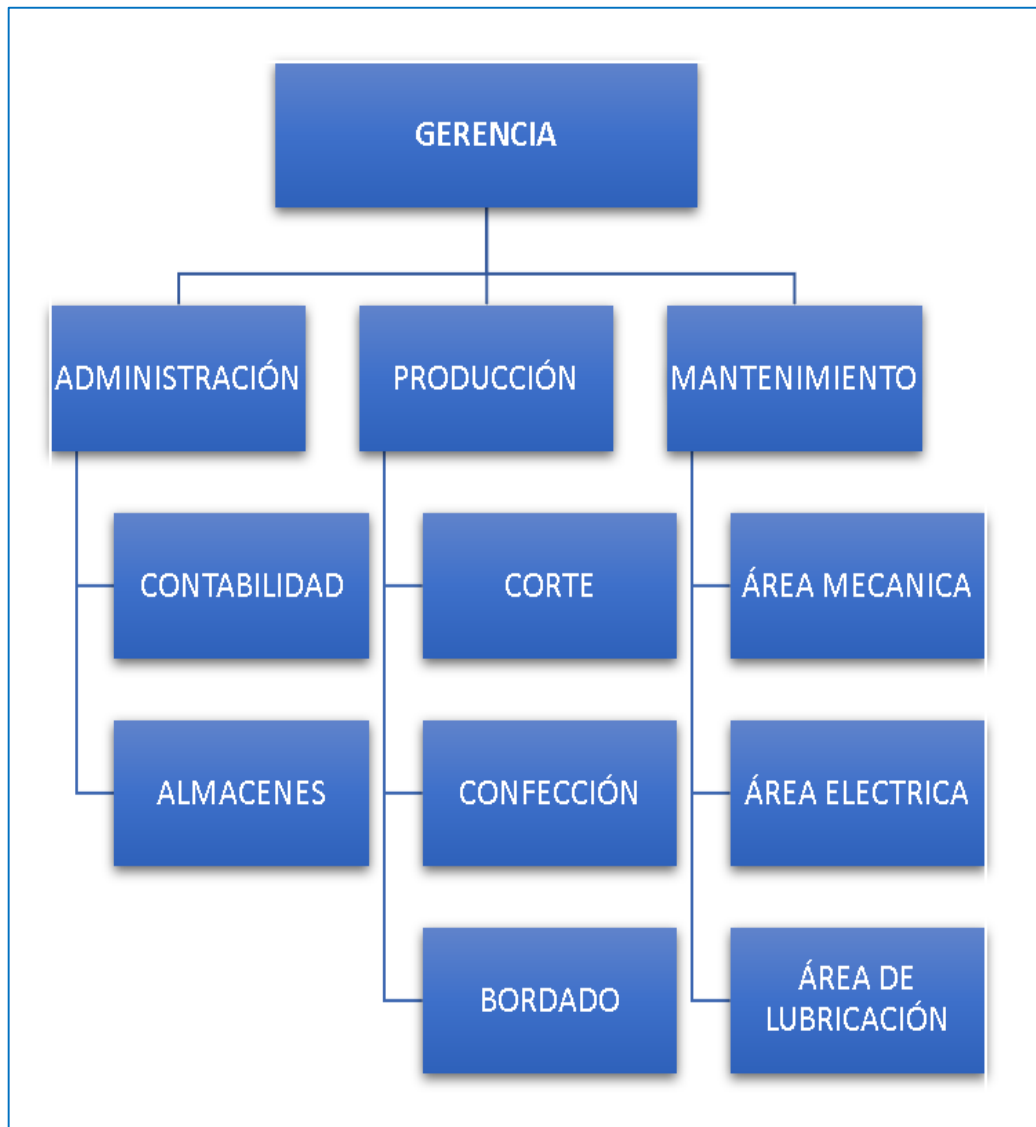
**Cuadro 3: Análisis FODA de la Asociación AETI**

<b>FORTALEZAS:</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Enfoque en actividades de atención al cliente y confección de prendas a la necesidad del cliente.</li> <li>○ Uso de tecnologías modernas de manufactura en los diferentes procesos de confección textil.</li> <li>○ Buena relación con el sistema financiero</li> <li>○ Contar con personal confiable y eficiente.</li> <li>○ Tener infraestructura propia.</li> <li>○ Ser una empresa formalizada.</li> <li>○ La garantía de calidad de sus productos textiles.</li> <li>○ Buen ambiente laboral.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Calidad del algodón peruano</li> <li>○ Existencia de un mercado laboral con experiencia y una tradición textil y de confecciones.</li> <li>○ Existencia de un mercado liderado por SPCC, Enersur, Quellaveco y las empresas que tercerizan las actividades laborales de dichas empresas.</li> <li>○ Tener infraestructura para crecer.</li> <li>○ Facilidad de adquisición de insumos textiles de calidad.</li> </ul>
<b>DEBILIDADES</b>	<b>AMENAZAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Solo produce para entidades de su localidad.</li> <li>○ Tiene una marca poco reconocida en el mercado interno y externo.</li> <li>○ La ubicación de la empresa está en una zona poco comercial.</li> <li>○ No tener una estrategia de mantenimiento planificado.</li> <li>○ La falta de un plan de Marketing Estratégico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Existen empresas peruanas de la competencia que exportan a casi todo el mundo por lo que pueden comprar los mercados de TSC y crear barreras para nuevos competidores.</li> <li>○ Incremento en los costos de exportación e importación por el alza de precios de los combustibles.</li> <li>○ Dependencia de un solo mercado destino.</li> <li>○ Velocidad de los cambios tecnológicos.</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 2.2.4 Organigrama de la Asociación Textil AETI.

Actualmente la asociación. cuenta con un personal que consiste de 50 personas, según este organigrama:



**Figura 3: Organigrama Funcional de la Asociación Textil AETI**

Fuente: Elaboración Propia

El personal se distribuye según la siguiente tabla:



**Tabla 1: Personal de la Asociación Textil AETI**

<b>ÁREAS</b>	<b>CANTIDAD</b>
Gerencia	01
Administración	03
Operarios de Área de Corte	05
Operarios de Área de Costura	15
Operarios de Área de Bordado	10
Contabilidad	02
Área de Mantenimiento Eléctrico	03
Área de Mantenimiento Mecánico	05
Área de Lubricación	03
Área de Almacenes	03
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

### **2.3 Producción de la Asociación.**

En este punto, analizamos la producción mensual de la asociación. así como los diferentes procedimientos de trabajo que se realizan en el taller. De la variedad de productos entre hechos a medida y por lotes, los más elaborados y los que afectan más al financiamiento de la asociación son:

- Casacas de tela a medida y por lotes.
- Chalecos de seguridad a medida y por lotes.
- Pantalones Jean de trabajo.
- Buzos deportivos a medida y por lotes.
- Polos de algodón a medida y por lotes.
- Camisas de algodón a medida y por lotes.
- Mamelucos de drill a medida y por lotes.

La producción mensual se presenta en la siguiente tabla, el cual muestra la producción mensual actual del taller, así como los diferentes productos que realiza.

**Tabla 2: Producción Mensual de la Asociación Textil AETI**

<b>PRODUCTO</b>	<b>PRODUCCIÓN MENSUAL (UND.)</b>
Casacas de Tela	3000
Chalecos de Seguridad	3000
Pantalones Jean de Trabajo	2000
Buzos Deportivos	2000
Polos de Algodón	10000
Camisas de Algodón	2000
Mamelucos de Drill	3000

**Fuente:** Elaboración Propia

Los diferentes productos tienen sus propios procedimientos de trabajos los cuales se muestran en las siguientes figuras

## **CAPITULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Introducción**

La gestión de mantenimiento ha tenido cambios en sus enfoques y metodologías en el transcurso de los años, desde los inicios de la revolución industrial, hasta la actualidad con plantas y maquinarias modernas. Las necesidades de mejoras en rendimientos y costos de las empresas con respecto a operación y mantenimiento han llevado al desarrollo de la metodología del mantenimiento basado en el riesgo, el cual es una mejora del mantenimiento basado en la confiabilidad, esta metodología está tomando impulso debido a su aplicación práctica y eficiente en pequeñas y grandes empresas.

En este capítulo exploraremos las diferentes etapas que tuvo la generación de mantenimiento, hasta llegar a una de las metodologías modernas conocida como el mantenimiento basado en el riesgo, el cual es la evolución e integración de los modelos de mantenimiento anteriores, lo cual permite un enfoque más completo al momento de desarrollar gestiones de activos.

### **3.2 Antecedentes del Mantenimiento Basado en el Riesgo**

En los últimos 50 años, el mantenimiento ha cambiado, y continúa cambiando tal vez más que cualquier otra disciplina de gestión. Los cambios se deben a un alto incremento en el número y variedad de activos físicos como plantas, equipamiento y edificaciones como son las investigaciones desarrolladas por (Cullen, Binns, Lonsdale, Abassi, & Garaniya, 2017) y (Garbatov, Sisci, & Ventura, 2018); las cuales deben de mantenerse en el mundo, diseños más complejos, nuevas técnicas de mantenimiento y cambios en la perspectiva de la organización de mantenimiento responsabilidad.

El mantenimiento también tiene que responder a las nuevas expectativas de nuestros tiempos. Las cuales incluye el rápido crecimiento en la apreciación de cómo los efectos de fallas se extienden en los equipos y como los afectan en su seguridad y ambiente como se aprecia en la investigación desarrollada por (Li, Chen, & Chang, 2019), la alta conexión que existe entre la calidad del producto y mantenimiento; así como el aumento en la presión de lograr altas disponibilidades de las plantas y la contención de costos, el cual se puede apreciar en el informe presentado por (Eygelhaar, Lötter, & van Vuuren, 2017)

También influye el desarrollo y apreciación de las energías renovables, a carbón, gas natural, como también los cambios climáticos influyeron en los nuevos enfoques de equipos confiables y las huellas de carbón que estos generan.

Los cambios están poniendo a pruebas las aptitudes y habilidades en todas las ramas de las industrias a sus límites. El personal de mantenimiento está adoptando

completamente nuevas maneras de pensamiento y actitudes, como ingenieros y administradores. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se están volviendo más aparentes, sin importar cuanto de esto esté siendo computarizado lo que lleva a la generación de nuevos métodos de computarización de datos como en la investigación de (Hamidreza, Hafezalkotob, & Martínez, 2019).

Teniendo esta gran cantidad de cambios en el paradigma de mantenimiento, administradores en todos lados buscan nuevas maneras de gestionar el mantenimiento. Quieren evitar los falsos comienzos y callejones sin salida que siempre acompañan a grandes trastornos. En su lugar, buscan marcos de referencias de estrategias que sinteticen los nuevos desarrollos en un patrón coherente, para que su desarrollo pueda ser evaluado u aplicar los que sean más valiosos para ellos y sus compañías.

Esto llevo al desarrollo de esta metodología, denominada mantenimiento basado en el riesgo, la cual su filosofía prueba que dicho marco de referencia, aplicado correctamente a las organizaciones de mantenimiento y operaciones, le dará al activo integridad y confiabilidad para lograr las necesidades que el negocio necesita.

### **3.3 Evolución de las Metodologías de Mantenimiento**

En las dos últimas décadas se han realizado avances importantes de nuevas estrategias de mantenimiento. Esto ha sido motivado por el aumento en la cantidad, en el tamaño, en la variedad y en la complejidad de los diferentes activos fijos; así como la conciencia creciente del impacto del mantenimiento en el medio ambiente,

la seguridad del personal, la rentabilidad del negocio y la calidad de los productos.  
(Moubray, 2004)

Todo esto se debe a que suelen tener efectos adversos sobre el medio ambiente las fallas imprevistas y esto resulta muchas veces en accidentes graves. Varios estudios han mostrado la estrecha relación entre las prácticas de mantenimiento y la ocurrencia de accidentes graves y letales. (Moubray, 2004)

Así mismo, la rentabilidad esta proporcionalmente relacionada con la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos, mientras que la calidad de los elementos producidos depende mucho de la condición operativa de los equipos.  
(Moubray, 2004)

Actualmente, el mayor desafío para los ingenieros de mantenimiento consiste en aplicar una estrategia de mantenimiento de tal manera que:

- Se aumente la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos
- Controlar la velocidad de deterioro del equipo
- Garantizar una operación con seguridad y respetando al medio ambiente
- Reducir los costos de operación

### **3.3.1 Primera Generación de Mantenimiento**

La primera revolución industrial, comenzó a finales del siglo 18. fue un cambio fundamental en el modo en que los productos eran elaborados, el pasar de la mano de obra a usar máquinas, procesos más eficientes de producción; lo cual inicio grandes cambios en las sociedades industrializadas. (Basson, 2018)

Esta generación se origina primordialmente en el Reino Unido. Los logros de esta época son el dominio de la energía de vapor, la mecanización de la industria textil, el desarrollo en los medios de transporte (trenes, tranvías), avances en los medios de comunicación (telégrafo, teléfono y radio) lo cual llevo al nacimiento de las fábricas modernas. (Basson, 2018)

En esta época, la industria no era altamente mecanizada, y los tiempos muertos no eran fuertemente considerados, pero comenzó a ser el periodo donde la máquina comenzó a reemplazar al hombre en las operaciones de agricultura y manufactura. En esta época la prevención de fallas del equipo no era una alta prioridad, debido a que el diseño de los equipos era simple y nada complejo. Esto lo hacía muy confiables y rápidos de reparar, también negaba la necesidad de un área de mantenimiento, en vez requería una simple limpieza y rutina de lubricación. (Moubray, 2004).

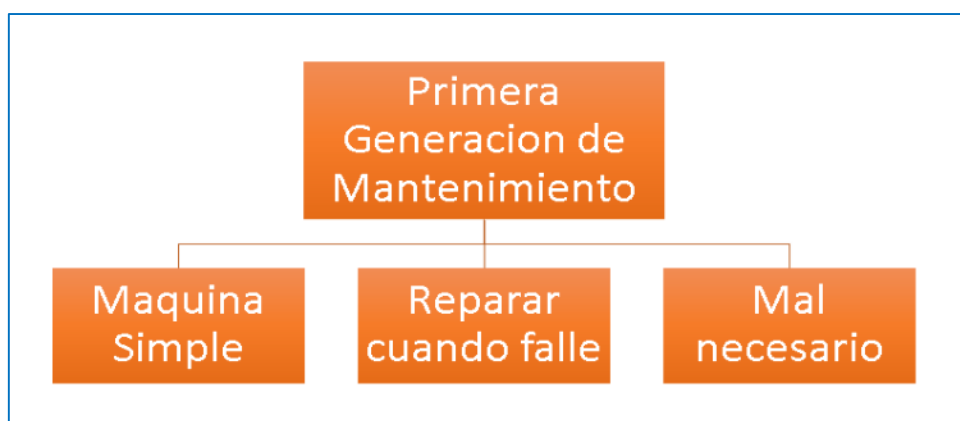
La segunda revolución industrial, también conocido como la revolución tecnológica, inicia desde mediados del siglo 19, hasta la primera guerra mundial. Se considera que esta etapa inicia con el desarrollo del proceso de Bessemer para la elaboración de acero más económico en el año de 1860, y culmino con el desarrollo de las producciones en masa y líneas de producción, mejora en los flujos de trabajo y con la administración científica.

La segunda revolución industrial fue impulsada por los desarrollos en el uso de electricidad, una variedad de innovaciones como el motor de combustión interna, aeronaves e imágenes en movimiento. El aumento en la mecanización en la industria y las mejoras en la eficiencia de los trabajadores incrementaron la

productividad de fábricas mientras se reducía la necesidad de mano de obra calificada. Las características de la primera generación descritas por Waeyenbergh y Pintelon son la siguiente:

- **Máquina simple:** las máquinas y equipos en este periodo de tiempo eran lentas y simples; también no tenían un complejo diseño. Lo que hacía que fueran fáciles de reparar y no requería de un mantenimiento constante. Las partes que fallaban se cambiaban y se ponía en operación nuevamente. Los componentes eran sencillos en operación y diseño. (Moubray, 2004)
- **Reparar cuando falle:** Se llevaba a cabo durante esta etapa de mantenimiento, era mayor mente reparar un componente o equipo en falla o roto después de que fallara. (Moubray, 2004)
- **Mal necesario:** Se consideraba como un mal necesario durante esta generación. (Moubray, 2004)

Durante esta generación, las fallas se describían como que todas las máquinas o ítems se deterioraban eventualmente. (Moubray, 2004)



**Figura 4: Características de la Primera Generación de Mantenimiento**  
Fuente: (Basson, 2018)



### **3.3.2 Segunda Generación de Mantenimiento:**

Esta generación inicia después de la segunda guerra mundial y dura hasta el periodo de 1980. La segunda guerra mundial causo cambios dramáticos, aumentando la demanda de bienes de todo tipo mientras que la oferta de mano de obra industrial disminuyó drásticamente por la guerra, esto genero un incremento en la mecanización Para el año de 1950, había una gran variedad de máquinas en las industrias, más numerosas y más complejas que en la generación anterior; tanto así que las industrias comenzaron a ser dependientes de estas. (Basson, 2018)

Así como crecía esta dependencia, el tiempo muerto comenzó a tener mayor atención. Esto llevo a la idea de que las fallas de los equipos podrían y deberían ser prevenidas, lo cual llevo a la creación del concepto de mantenimiento preventivo. En 1960, el mantenimiento preventivo consistía en mantenimiento mayores u overhauls a los equipos según un intervalo de tiempo. (Basson, 2018)

Los costos de mantenimiento también comenzaron a subir rápidamente relativo a los otros costos de operación. Esto llevo al desarrollo de sistemas de planeación y control de mantenimiento. Estos sistemas han ayudado en gran medida a tener los costos de mantenimiento bajo control y ahora son una parte establecida de las prácticas de mantenimiento. (Basson, 2018)

En esta temporada se introdujeron de nuevas tecnologías de diseño en la industria, lo que volvieron a los equipos y procesos más grandes y rápidos. Esto dio inicio a la invención del mantenimiento preventivo y las paradas programadas de planta. Durante este periodo, los equipos eran mantenidos siguiendo programadas de

mantenimiento. Estas paradas planificadas aumentaron las expectativas y las habilidades técnicas. (Moubray, 2004).

Finalmente, los montos de capital relacionados con los activos fijos, junto con el incremento de los costos de ese capital, llevo a la elaboración de modos de elevar la vida útil de estos activos. (Basson, 2018). Las características de esta generación son:

- **Complejidad de los mecanismos:** Aumento la complejidad de los diseños de los elementos que conformaban a los equipos, debido a la mecanización y la automatización comenzó a aumentar en las empresas. Los equipos comenzaron a ser menos confiables debido a que estos eran más rápidos y más complejos. Requerían un mayor número de intervenciones de mantenimiento debido a un rápido desgaste. Esto origino la necesidad de nuevas metodologías de mantenimiento y dio inicio a la segunda generación de mantenimiento, debido a los nuevos requerimientos de tiempo medio entre fallas y las nuevas demandas en la producción (Waeyenbergh y Pintelon, 2002)
- **Tecnificación del Mantenimiento:** El mantenimiento comenzó a considerarse como una actividad crítica durante esta etapa y descrito como una necesidad técnica o especialización técnica. Los equipamientos eran diseño complejo, haciendo que el mantenimiento requiera de una alta habilidad y entrenamiento. Esto requería trabajadores hábiles y con conocimiento técnico. (Moubray, 2004).
- **División de Operaciones de Mantenimiento:** Las áreas de mantenimiento fueron separadas de la de operaciones en esta generación debido a la necesidad

de tomar medidas de control y gestión que en muchas ocasiones entraba en directo conflicto con el área de operaciones. (Moubray, 2004)

- **Indicador de Disponibilidad:** Comenzó a considerarse importante la disponibilidad de máquinas y herramientas; debido a que afectaba proporcionalmente al área de mantenimiento. El aumento de este indicador garantizaba una reducción de tiempos muertos y un aumento en los tiempos medios entre falla. (Moubray, 2004)
- **Ciclo de Vida Útil:** Con la aplicación de indicadores de mantenimiento, se comenzó a estudiar la vida del equipo y como se comportaba en el tiempo, para poder tomar decisiones de gestión de mantenimiento más exactas. (Moubray, 2004)
- **Costo de mantenimiento:** El costo de mantenimiento se incrementó relativamente comparado con los costos de la antigua generación. Este incremento hizo que el mantenimiento fuera planificado y controlado. Se esperaba que el mantenimiento fuera llevado a cabo con el menor costo posible. (Moubray, 2004)



**Figura 5: Características de la Segunda Generación de Mantenimiento**

Fuente: (Basson, 2018)

### 3.3.3 Tercera Generación de Mantenimiento:

Esta etapa del mantenimiento inicia a comienzos de los años 90's. En esta generación comenzó a darse más importancia a varios aspectos que antes no se les daba tanta importancia, como la seguridad laboral y el cuidado del medio ambiente, lo cual generó la creación de diferentes normas y leyes. (Moubray, 2004)

Esto hizo que la misión del área de mantenimiento en esta generación fuera de aumentar los indicadores de confiabilidad y disponibilidad de equipos apuntada a una mejor calidad de producción, un alto ciclo de vida de los equipos y una reducción de costos. (Moubray, 2004)

Esta generación comienza junto con la tercera revolución industrial, la cual incluye tecnología digital, computadoras personales, el internet y personalización masiva de productos. Las tecnologías digitales cambiaron a las industrias, las fábricas ya

no estaban llenas de máquinas sucias operadas por trabajadores en overoles cubiertos de grasa. En esta generación la mayoría de trabajadores ya no se encontraban en las zonas de producción, sino en oficinas cercanas controlando remotamente las producciones, los trabajos de manufactura ahora requerían mayor habilidad y los trabajos repetitivos se volvieron obsoletos. (Basson, 2018) En esta generación los cambios han sido clasificados en:

- **Sistemas Automáticos:** Con la llegada de equipos autónomos y equipos más complejos, fue lo que dio inicio a la implementación de esta generación, con el análisis más enfocado en el diseño de los equipos. Se le dio más importancia al área de mantenimiento en las empresas. La implementación de nuevos sistemas autónomos hizo que se crearan nuevos modelos de gestión de mantenimiento para poder aplicar estas nuevas tecnologías lo que permitió el desarrollo de la ingeniería de mantenimiento aceleradamente. (Moubray, 2004)
- **Generador de Beneficio:** En esta generación se comenzó a tomar al área de mantenimiento ya no como un mal necesario o un generador de pérdidas, sino más bien como un generador de beneficios para las empresas. Varias empresas comenzaron a invertir más en mantenimiento ya no como un gasto, sino como una necesidad. Esto llevó a la creación de mejores modelos de mantenimiento, los cuales ayudaron a aumentar la calidad, mantenibilidad, seguridad y medio ambiente. Esto dio como resultado que se viera al mantenimiento como uno de los pilares en las empresas. (Moubray, 2004)



**Figura 6: Características de la Tercera Generación de Mantenimiento**

Fuente: (Basson, 2018)

### 3.3.4 Cuarta Generación de Mantenimiento:

A inicios del milenio, todos los conceptos e innovaciones se integraron, y se enfocaron en la satisfacción del cliente o empleador. En esta generación se le da importancia al mantenimiento proactivo y las actividades que esta conlleva. Lo que impulso esta generación fue que gran parte del personal técnico que se formó en la segunda y tercera generación de mantenimiento se estaban retirando, lo que dejo unos escasos de mano de obra calificada. (Hide, 2013).

Los factores en este mantenimiento en esta generación son:

- **Acciones Proactivas:** Uno de los factores clave durante esta etapa es la del comportamiento proactivo. Esto hace que los recursos sean asignados a los equipos que tengan alta demanda y están en constante operación por los ingenieros y personal de mantenimiento. Esto hace que se pueda identificar la criticidad de los equipos y que recursos requieren. (Dunn, 2003)
- **Monitoreo de Rendimiento:** Se necesita en esta generación ir más allá del monitoreo de disponibilidad, y lograr un monitoreo de rendimiento o confiabilidad, donde se monitoree la eficiencia del equipo y sistemas, y usar

estas eficiencias para realizar mejoras y actualizaciones a las estrategias de mantenimiento. (Hide, 2013)

- **Ciclo de vida útil y su costo de los equipos:** Esto nos permite seleccionar el mejor método con un bajo índice de costo beneficio de entre varios planes y esquemas que en teoría permitan llegar a la misma solución. Como dijo Lander en 1996, el mejor mantenimiento se puede lograr cuando el total del costo de ciclo de vida del equipo decrece. (Barringer, 2003)
- **Mejora de Selección de Enfoque:** Las actividades de mantenimiento deben de tender a ser simples, pero no llegar a sobre simplificarlas para poder mantener los resultados deseados. Esto permite que una mayor eficiencia. (Hide, 2013)
- **Diseño basado en el mantenimiento:** Reduce la complejidad del mantenimiento requeridos de máquinas y sistemas. Esto ayuda en el desarrollo de mantenimiento y produce altas eficiencias. (Hide, 2013)



**Figura 7: Técnicas de Mantenimiento**  
Fuente: (Moubray, 2004)



**Figura 8: Objetivos de Mantenimiento**

Fuente: (Moubray, 2004)

### 3.3.5 Quinta Generación de Mantenimiento:

Esta generación de mantenimiento, la cual inicia en el siglo XX y XXI. Esta generación tiene un enfoque tero tecnológico, lo cual significa el estudio y la gestión de la vida de un activo desde el comienzo u origen del mismo, hasta su disposición final. Integra practicas gerenciales, financieras de ingeniería, de logística y de producción de los activos buscando costos de ciclo de vida económicos.

Este concepto tiene la ventaja de ser aplicable en todo tipo de industrias y procesos.

El objetivo de su aplicación es el de:

- Mejorar y mantener la efectividad técnica y económica de un proceso o equipo a lo largo de todo su ciclo de vida
- Mejorar la eficiencia energética para que se reduzcan los costos y aumente la eficacia del proceso.

Combina experiencia y conocimiento para lograr una visión holística del impacto del mantenimiento sobre la calidad de los elementos que constituyen un proceso de



producción, y para producir continuamente mejoras tanto técnicas como económicas.

En esta generación de mantenimiento, es donde nace el mantenimiento basado en el riesgo (RCMIII), el cual se basa en el mantenimiento basado en la confiabilidad (RCMII).

### **3.4 Definición de Mantenimiento Basado en el Riesgo**

Desde el punto de vista de ingeniería, hay dos elementos en la gestión de cualquier activo fijo. El activo debe de ser mantenido y después de un tiempo también debe de ser modificado. De este modo se puede definir al mantenimiento como el aseguramiento de que los activos físicos continúen haciendo las funciones que el usuario quiera que realicen. (Basson, 2018)

Lo que el usuario quiera realizar va a depender de donde y como exactamente el activo va a ser usado, también conocido como contexto operacional, esto conduce a la definición del mantenimiento basado en la confiabilidad: es un proceso usado para determinar los requerimientos de mantenimiento de todo activo fijo bajo su contexto operativo. (Basson, 2018)

De esta noción se genera el concepto del mantenimiento basado en el riesgo, el cual lo define como un proceso usado para definir el nivel mínimo de cantidad de mantenimiento, ingeniería y otras estrategias de gestión de riesgo para asegurar los niveles mínimos tolerables de seguridad e integridad del medio, así como los costos y beneficios de la capacidad operática como sean especificados en el sistema de gestión de activos de la organización. (Basson, 2018)

### 3.4.1 Definición de Gestión de Activos

La gestión de activos es uno de los tópicos más debatidos en la última década. Se ha usado para nombrar algunos de los diferentes procesos y significa diferentes cosas para diferentes personas dependiendo de donde se encuentran en un negocio. En general, gestión de activos son actividades y practicas sistemáticas y coordinadas a través la cual una organización optimiza y gestiona de forma sostenibles sus activos. (Ravish Preshant, 2017)

El objetivo es el de realizar todas las daciones relacionadas a los activos de acuerdo a un solo conjunto de intereses. Esta idea proviene de un desarrollo en la comunidad financiera de gestión de activos. Financieramente, la gestión de activos también se define como la toma de decisiones de inversiones financieras para maximizar los rendimientos mientras se satisfacen las tolerancias al riesgo y otros requisitos de inversores. (Ravish Preshant, 2017)

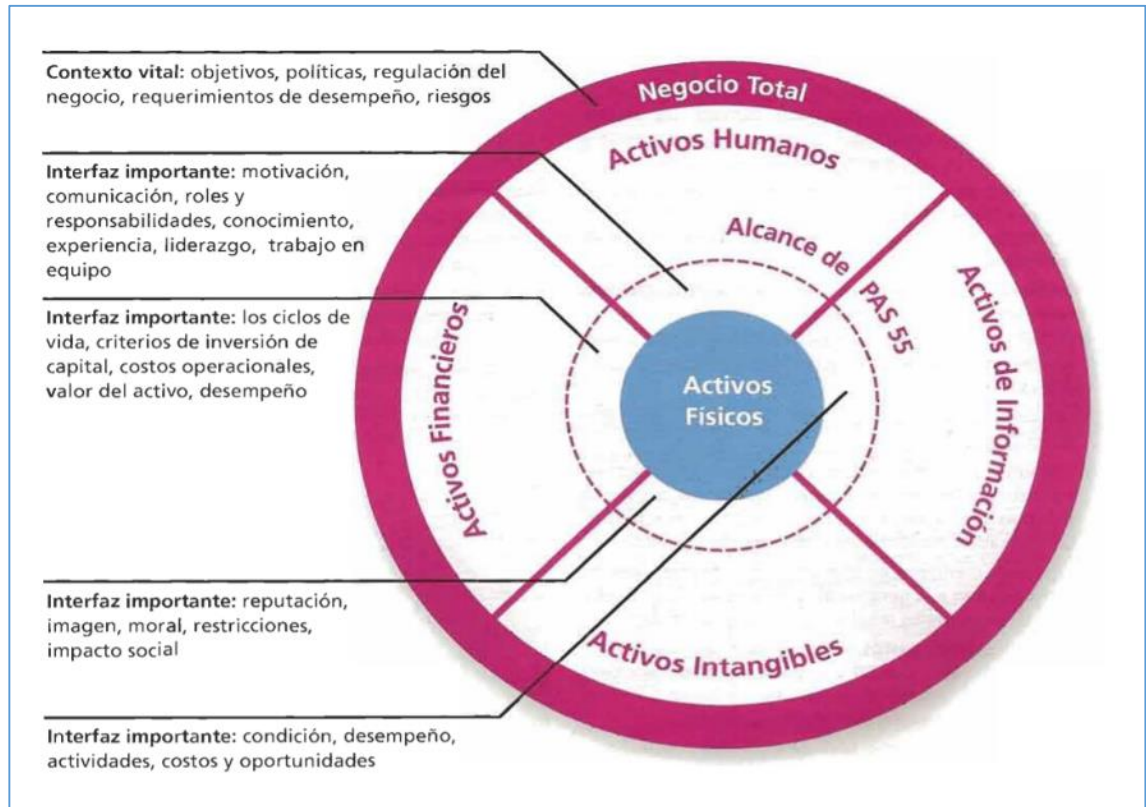


**Figura 9: Principios y Características Claves de la Gestión de Activos**  
Fuente: (PASS-55, 2008)

El campo de la gestión de activos también se ha conglomerado con el campo de la ingeniería. Bajo el auspicio de la SOCIEDAD INTERNACIONAL DE INGENIERÍA DE GESTIÓN DE ACTIVOS (ISEAM), la ingeniería de gestión de activos se enfoca en la gestión del ciclo de vida del activo físico requerido. Su propósito es el de realizar productos y el de proveer servicios de una manera que satisfaga los requerimientos del negocio. Para el desarrollo de la gestión de activos, se usarán las normas PAS-55-1:2008, PAS-55-2:2008 y la norma ISO 55000. (Ravish Preshant, 2017)

#### **3.4.1.1 Definición de Gestión de Activos**

En el 2004, el instituto de estándares británico (BSI), junto con IAM publicaron el PAS-55 parte 1 y 2, siendo la primera especificación de gestión de activos reconocido internacionalmente. El PAS-55 ofrece guías y buenas prácticas que permiten una gestión óptima de activos físicos e infraestructura sobre su ciclo de vida. Para poder gestionar los activos físicos en su ciclo de vida, la gestión de otros tipos de activos (no físicos) deben de también tomarse en consideración. En el 2008, estas especificaciones fueron revisadas y actualizadas. (PASS-55, 2008)



**Figura 10; Enfoque y Contexto de la PAS-55**

Fuente: (PASS-55, 2008)

El PAS-55 aboga por la eliminación de la forma de pensar de islas de activos en las empresas y considera en su lugar a los activos como sistemas. Al hacer estos, crea una optimización multifuncional del ciclo de vida de los activos, logrando una buena gestión de estos. (PASS-55, 2008)

### 3.4.1.2 Norma ISO 55000

En enero del 2014 la familia de estándares ISO 55000 fueron publicados para la gestión de activos, basándose en lo aplicado en la PAS-55. Mientras que PAS-55 se centra primordialmente en activos físicos, la ISO 55000 se extiende para poder ser aplicado a cualquier tipo de activo. Al hacer esto, la intención es el de hacer la gestión de activos más general para las diferentes interpretaciones del contexto de

gestión de activos, lo cual la ISO define como actividades coordinadas de una organización para lograr valor de un activo. (ISO-55000, 2014).

Las características de la ISO 55000 son:

- La alineación de los objetivos organizacionales hacia las estrategias de gestión de activos, sus objetivos, planes y las actividades operacionales del día a día.
- El uso de toda la planificación de la vida del activo y la colaboración multi disciplinaria para lograr los mejores resultados.
- El uso de gestión de riesgo y procesos de toma de decisión basados en el riesgo.

### **3.4.2 Contexto Operativo**

Según SAE JA 1012 define al contexto operacional como “las circunstancias en las que el activo físico o sistema se esperan que funcione”. Técnicamente, equipos idénticos actuaran de manera diferente si el contexto operativo es diferente. Por eso, programas de mantenimiento para equipos idénticos pueden ser diferentes del uno del otro si los contextos operativos son diferentes. (Basson, 2018)

Los parámetros y condiciones operativos típicos son los siguientes:

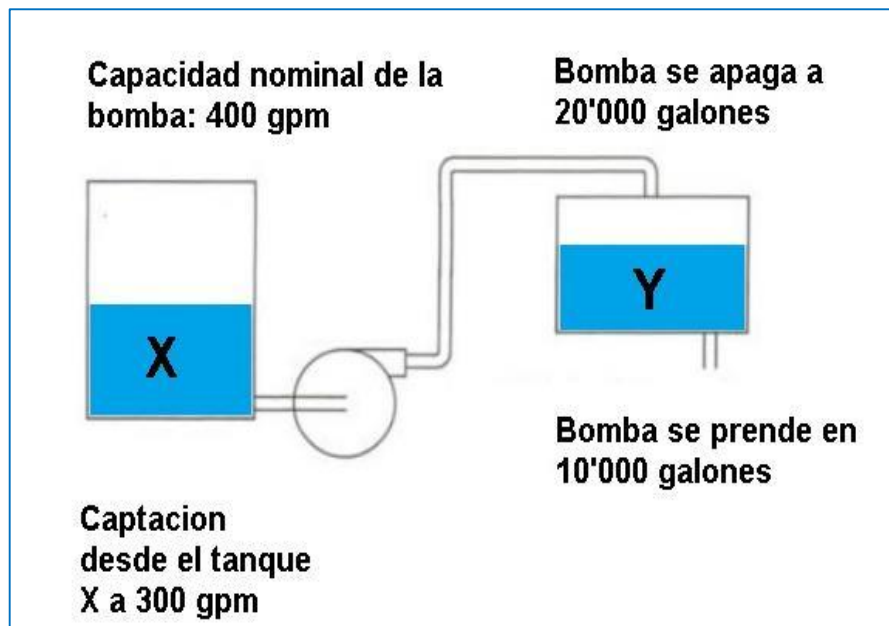
- Flujo de proceso
- Condiciones físicas y ambiente operativo
- Estándares de calidad del producto o servicio
- Estándares del ambiente y ambientales

- Requerimientos de estándares, regulaciones y reglamentos de seguridad.
- Horarios de turno
- Capacidad de reserva o redundancia
- Trabajos en progreso
- Utilización
- Logística y políticas de repuestos
- Condiciones de activo actuales.
- Demandas de mercado y suministro de materia prima
- Habilidades y tecnologías disponibles
- Readaptar, reusar y reciclar

No solo la condición afecta drásticamente las funciones y las expectativas de rendimiento, pero también afecta la naturaleza del modo de falla que pueda ocurrir, sus efectos y consecuencia, la frecuencia en la que ocurren y el modo de gestionarlos. (Basson, 2018)

Por ejemplo, la función primaria de una bomba en la siguiente figura se podría listar como:

**Bompear agua desde el tanque X al tanque Y a no menos de 300 galones por minuto.**



**Figura 11: Esquema de Sistema de Bombeo**

Fuente: (Basson, 2018)

Si la bomba fuera trasladado a otra ubicación donde bombeara slurry abrasivo en vez de agua hacia un tanque B desde donde el slurry fluye a 300 galones por minuto, la función primaria sería: (Basson, 2018)

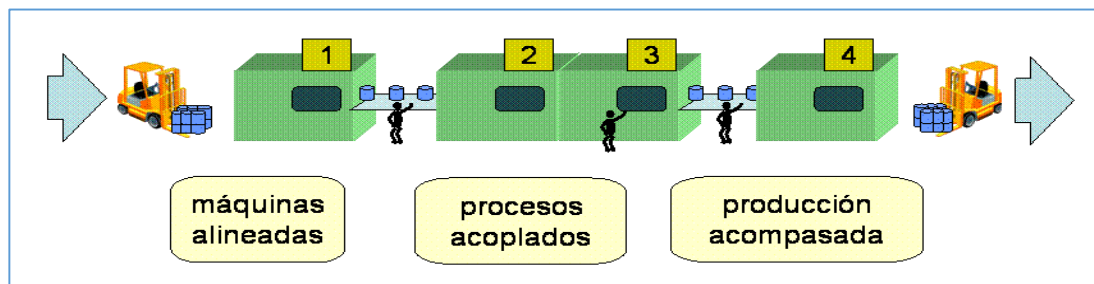
**Bompear slurry hacia el tanque B a no menos que 300 galones por minuto.**

Este es un estándar de rendimiento más alto que en su ubicación original, por ende, el estándar en el que este es mantenido aumenta en relación al nuevo estándar de rendimiento requerido. Porque ahora estaría bombeando slurry en vez de agua, la naturaleza, frecuencia y severidad de los modos de fallas cambian acorde al nuevo contexto. Como resultado, aunque la bomba en si no ha cambiado, es muy probable que acabe teniendo un programa de mantenimiento totalmente diferente debido al nuevo contexto operativo. (Basson, 2018)

Lo que esto significa es que cualquier persona que dese aplicar un mantenimiento basado en el riesgo a cualquier activo o proceso debe de asegurar que tienen un completo entendimiento del contexto operativo antes de iniciar. Algunos de los factores más importantes a tener en cuenta son los siguientes: (Basson, 2018)

### 3.4.2.1 Proceso por Lote o por Flujo

En las plantas manufactureras, la característica más importante del contexto operativo es el tipo de proceso. Este varía desde operaciones de procesos por flujo, donde casi todos los equipos están interconectados, donde las operaciones de trabajo de las maquinas son independientes una de otra. (Basson, 2018)

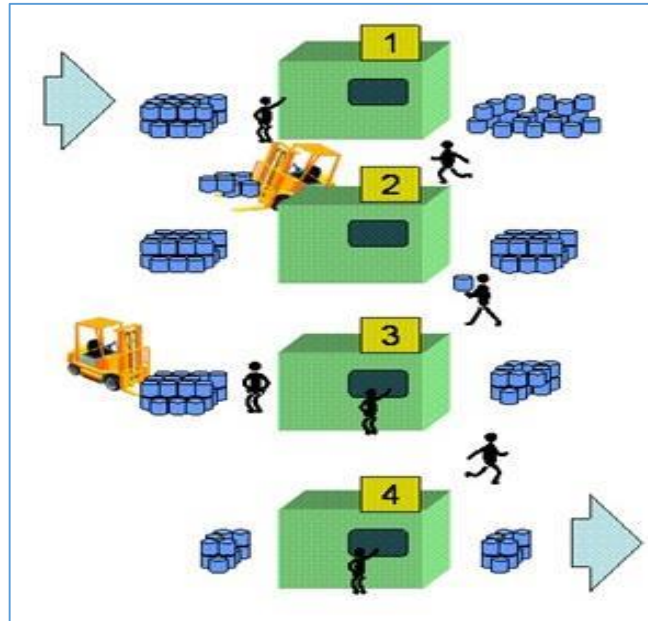


**Figura 12: Producción por Flujo**

Fuente: (Basson, 2018)

En los procesos por flujo, la falla de un solo activo puede parar toda la planta o reducir significativamente su producción, a menos que haya una capacidad de reacción o un stock de amortiguación, o si hay la posibilidad de equipos en stand by. Por el otro lado, en empresas con proceso por lotes, la mayoría de fallas solo afectan a la producción de una sola máquina o línea. Las consecuencias de cada falla son determinadas principalmente por la duración del paro y la cantidad de trabajo que queda pendiente en el proceso por el equipo que paro o por operaciones paradas. (Basson, 2018)





**Figura 13: Producción por Lote**

Fuente: (Basson, 2018)

Estas diferencias significan que la estrategia de mantenimiento aplicada a un activo en un proceso por flujo es a menudo radicalmente diferente que la estrategia aplicada a un activo idéntico en un ambiente de producción por lote. (Basson, 2018)

### 3.4.2.2 Estándares de Calidad

Los estándares de calidad y los estándares del servicio al cliente son otros dos aspectos del contexto operativo los cuales pueden llevar a diferencias entre la descripción de las funciones de maquinaria idéntica. (Basson, 2018)

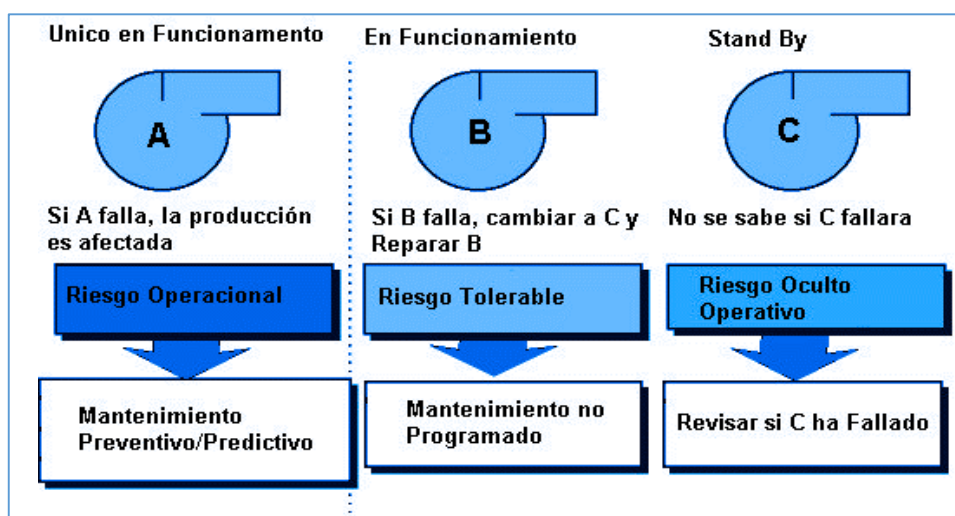
Por ejemplo, unidades de tratamiento de agua idénticas usados para la suavización y filtración pueden ser del mismo diseño y producir agua para diferentes usos. El primero puede ser usado para administrar agua tratada a bombas selladas e intercambiadores de calor en el proceso de la planta, mientras que el otro es usado para suministrar agua tratada para las estaciones de lavado de ojos y duchas de

seguridad. Los requerimientos de calidad del agua suministrada por las dos unidades difieren significativamente e impactan los subsecuentes requerimientos de mantenimiento. (Basson, 2018)

### 3.4.2.3 Redundancia

La presencia de redundancia, u otros medios alternativos de producción, es una característica del contexto operativo que debe de ser considerado a detalla cuando se definen las funciones de cualquier activo. (Basson, 2018)

La importancia de la redundancia es mostrada en las tres idénticas bombas mostradas en la siguiente figura. La bomba B tiene otra en stand by, mientras que la bomba A no cuenta con una. Esto significa que la función primaria de la bomba A es el de transferir liquido por su cuenta, y la de la bomba B es el de realizarlo teniendo uno en stand by. El pensamiento tradicional sugiere que bombas idénticas deberían tener programas de mantenimiento y repuestos idénticos. Esta diferencia en el contexto operativo significa que los requerimientos de mantenimiento de estas bombas serán diferentes, incluso aunque sean iguales. (Basson, 2018)



**Figura 14:Diferentes Contextos Operativos**

Fuente: (Basson, 2018)

#### **3.4.2.4 Utilización y Carga**

Algunos equipos tal vez deban de operar todo el tiempo, mientras que otros solo son usados cuando la ocasión lo amerita. También, algunos equipos operan muy cercanos a su capacidad de diseño, mientras que otros equipos tienen un margen saludable entre su capacidad y para que están siendo usados. La diferencia en la utilización y el margen de capacidad pueden tener un impacto significativo en como el equipo se comporta, como falla y que tipo de mantenimiento es requerido. Además, el intervalo de mantenimiento también puede ser significativamente diferente y puede depender en el modo en que el equipo es operado. (Basson, 2018)

#### **3.4.2.5 Ambiente Operativo y Estándares Medioambientales**

El medio ambiente en el que equipo opera juega un rol importante en como el equipo se comporta y falla. Por ejemplo, una bomba e interruptores operando fuera en humedad corrosiva del ambiente puede comportarse completamente diferente que el mismo equipo operando en un lugar seco con ambiente controlado a través de un sistema HVAC. (Basson, 2018)

Además, un aspecto cada vez más importante del contexto operativo de cualquier activo es el impacto que tiene o que podría tener en el medio ambiente. (Basson, 2018)

#### **3.4.2.6 Jornadas de Trabajo**

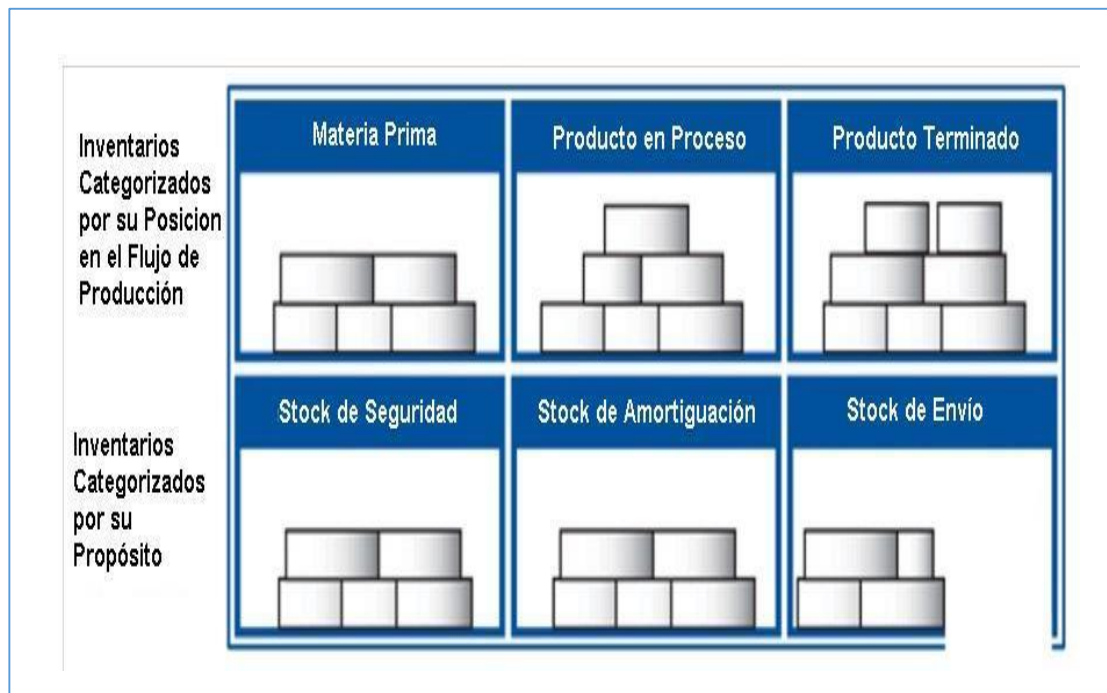
Las jornadas de trabajo afectan profundamente el contexto operativo. Algunas empresas operan por 8 horas, 6 días a la semana. Otras continuamente 7 días a la semana, y otras operan entre estos dos rangos. (Basson, 2018)

En una única jornada de trabajo de planta, las pérdidas de producción debido a fallas pueden usualmente compensarse al realizar sobre tiempos. Estos sobretiempos llevan a un costo de producción incrementado, por eso las estrategias de mantenimiento son evaluadas en contraste con estos costos. Sin embargo, es posible programar actividades de mantenimiento regulares en tiempos cuando los trabajadores de turno no se encuentran en el sitio. (Basson, 2018)

Por otro lado, si la planta opera 24 horas en 7 días a la semana, es raramente posible de recuperar el tiempo perdido, y por eso las paradas de planta ocasión perdida de producción y pérdida de ventas y ganancias. Esto es más caro que realizar sobretiempos, es por eso que es conveniente tratar mucho más de prevenir fallas bajo estas circunstancias. Sin embargo, esto es más difícil de realizar mantenimiento a equipos que están operando en plantas completamente cargadas, por eso estrategias de mantenimiento deben de ser formuladas con mayor cuidado. (Basson, 2018)

#### **3.4.2.7 Trabajo en Progreso y Almacenamiento de Stock**

Trabajos en progreso se refiere a cualquier material que aún no ha pasado por todas las etapas del proceso de manufactura. Los materiales pueden ser almacenados en tanques, contenedores, tolvas, palas, fajas, o en almacenes especiales. Las consecuencias de la falla de cualquier máquina son bastante influenciadas por la cantidad de los trabajos en progreso entre esa máquina y las siguientes en el proceso.



**Figura 15: Tipos de Procesos de Inventariado en Empresas Manufactureras**

Fuente: Gemba Kaizen, 2017

Consideremos el siguiente ejemplo, donde el volumen de trabajo en la cola de producción es suficiente para mantener las operaciones por 6 horas y solamente toma 4 horas para reparar el modo de fallo bajo estas consideraciones. En este caso, la falla no afectará a la producción en general. Por el contrario, si la falla tomara 8 horas para reparar, esto podría afectar la producción en general debido a que la siguiente operación tendría que esperar la diferencia de tiempo. La severidad de estas consecuencias depende de:

- La cantidad de trabajos en progreso entre la operación y la siguiente; sucesivamente.
- La medida en el que cualquier operación afectada por el cuello de botella de la operación (en otras palabras, una operación que gobierne la producción de toda la línea),

Aunque las paradas de planta cuestan dinero, también cuesta dinero detener stock de trabajos en progreso. Hoy en día, el costo de mantener stock de cualquier tipo es tan alto que reducirlos a un mínimo absoluto es una alta prioridad. Este es uno de los objetivos más importantes de los sistemas Just in Time (JIT) y sus derivadas.

Estos sistemas reducen los stocks de trabajos en progreso, y así el colchón que los stocks almacenados proveían contra las fallas está rápidamente desapareciendo. Este es un círculo vicioso, porque la presión en los departamentos de mantenimiento de reducir fallas para que sea posible realizarlo sin el colchón de stocks también incrementa.

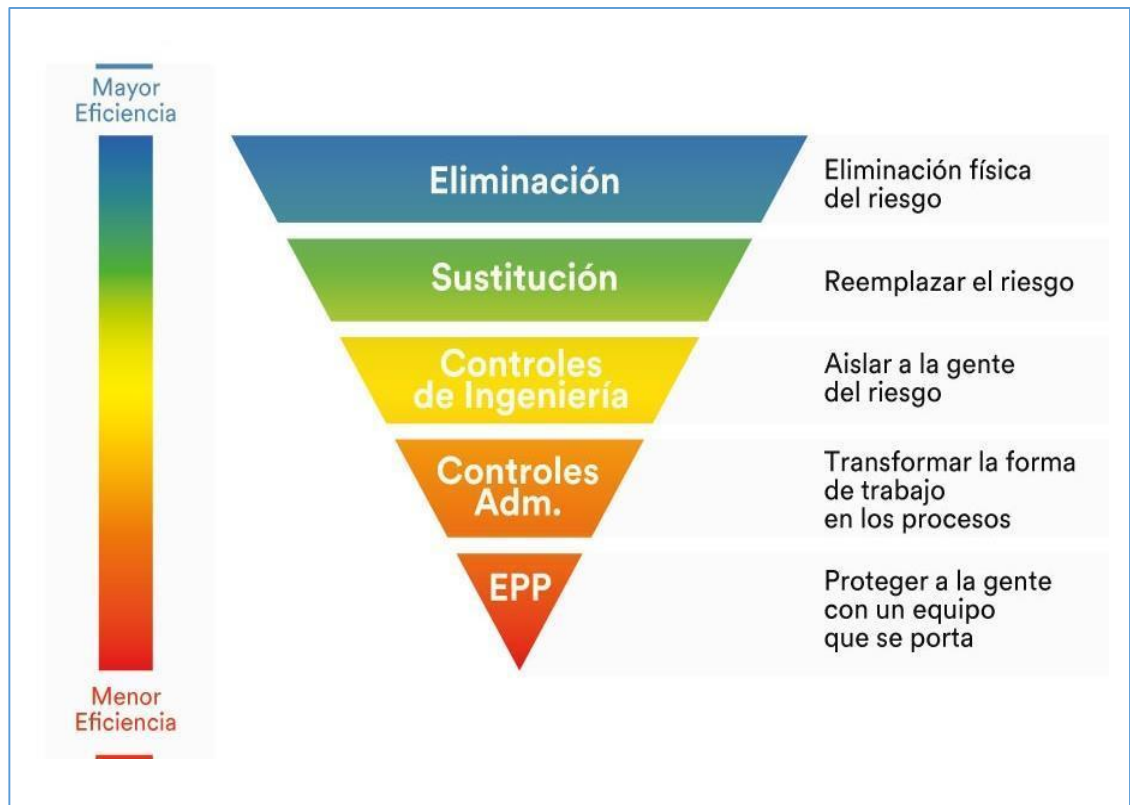
Entonces, desde el punto de vista del mantenimiento, un balance se tiene que tomar entre las implicaciones económicas y los fallos operacionales y:

- Los costos de mantener stocks de trabajos en progreso para mitigar los efectos de las fallas.
- De lo contrario:
- El costo de realizar tareas de mantenimiento proactivo con la visión de anticiparse o prevenir las fallas.
- Para lograr este balance satisfactoriamente, este aspecto del contexto operativo debe de estar claramente entendido en las operaciones de manufactura.

#### **3.4.2.8 Peligros de Seguridad**

Los peligros de seguridad asociados con operaciones específicas y/o materiales deben de ser definidos. Los peligros de seguridad también pueden requerir un

cuidado especial, almacenamiento, identificación, señales de peligro, y sistemas de protección. Todo esto podría determinar si son necesario tomar precauciones adecuadas o si estructuras de contención adicionales, sistemas de supresión de fuegos, medios de supresión, selección de materiales, ventilación, y restricciones puedan ser aplicados y si estos pueden impactar en las fallas. (Basson, 2018)



**Figura 16: Jerarquía de Control de Seguridad en el Trabajo**

Fuente: (Cullen, Binns, Lonsdale, Abassi, & Garaniya, 2017)

### 3.4.2.9 Demanda de Mercado y Fluctuaciones.

El contexto operativo a veces presenta variaciones cíclicas en demandas de productos o servicios que proporcionan la organización. Tomemos como ejemplo las compañías de refrescos. Ellos experimentan una mayor demanda en sus productos en el verano comparándolo en la temporada de invierno. Otro ejemplo es el de compañías de transporte urbano, los cuales experimentan alces de demanda durante horas pico. (Basson, 2018)

Podemos tomar otro ejemplo de las industrias de agua y agua residual donde la demanda varía diariamente. Mas personas usan agua potable durante la mañana y en la noche cuando las personas usan la ducha, lavadoras, lavaplatos, etc. La demanda diaria varía significativamente y la demanda estacional puede variar en áreas donde los servicios deben lidiar con fenómenos naturales. (Basson, 2018)

En casos como estos, las consecuencias operaciones de falla son mucho más serios en tiempos de picos de demanda, por eso en este tipo de industria, los aspectos del contexto operativo necesitan de ser claramente entendidas cuando se definan las funciones y se evalúen las consecuencias de falla. (Basson, 2018)

### **3.4.3 Estándares de Función y Rendimiento**

Antes de que sea posible de aplicar un proceso para determinar que se debe de hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe con las actividades que el usuario desee en el presente contexto operativo se necesitan de dos cosas: (Basson, 2018)

- Determinar qué es lo que el usuario desee lograr con el activo.
- Asegurar que sea capaz de hacer lo que el usuario desee lograr con el activo.

Es por esta razón que el segundo paso en el proceso de aplicación del mantenimiento basado en el riesgo es el de definir las funciones de cada activo en el contexto operativo, junto con los estándares deseados de rendimiento asociados. (Basson, 2018)

Las expectativas que los usuarios pueden tener de sus activos se pueden dividir en dos categorías, funciones primarias y funciones secundarias:



- Las funciones primarias resumen por qué el activo fue adquirido en primer lugar, esta categoría de función cubre asuntos como la velocidad, producción, capacidad de carga o almacenamiento, productos, calidad y servicio al cliente. (Basson, 2018)
- Las funciones secundarias reconocen que se espera de todo activo de realizar más acciones que solo cumplir sus funciones primarias. Usuarios también tienen expectativas en áreas como seguridad, control, protección, eficiencia de operaciones, cumplimiento de las regulaciones medioambientales, requerimientos futuros de reciclaje, reusó o readaptar e incluso la apariencia del activo en sí. (Basson, 2018)

Los usuarios de los activos son los que usualmente están en mejor posición de saber exactamente cuál es la contribución que cada activo hace para el bienestar físico y financiero de toda la organización, por lo que es esencial su participación en los procesos de gestión de mantenimiento basado en el riesgo. (Basson, 2018)

#### **3.4.3.1 Descripción de Funciones**

Es un principio establecido del valor de la ingeniería que la función debe de consistir de un verbo y de un objeto. Pero como se explicará también más adelante, los usuarios no solamente esperan del activo realizar una función. También esperan que lo realicen en un nivel aceptable de rendimiento. Entonces una definición de función y la implicación de la definición de un objetivo de mantenimiento por el activo no está completo a menos que se especificó tan preciso como sea posible el nivel de rendimiento deseado por el usuario. (Basson, 2018)

**Una función debe de consistir de un verbo, un objeto y de un estándar de rendimiento deseado.**

Tomando el ejemplo visto en el punto 2.5 la función primaria de la bomba de la figura 6 sería:

**Bombear agua desde el tanque X al tanque Y a no menos de 300 galones por minuto**

En este ejemplo se muestra una función que consiste de un verbo (bombear), un objeto (agua), y un estándar de rendimiento (no menos de 300 galones por minuto) deseado por el usuario. (Basson, 2018)

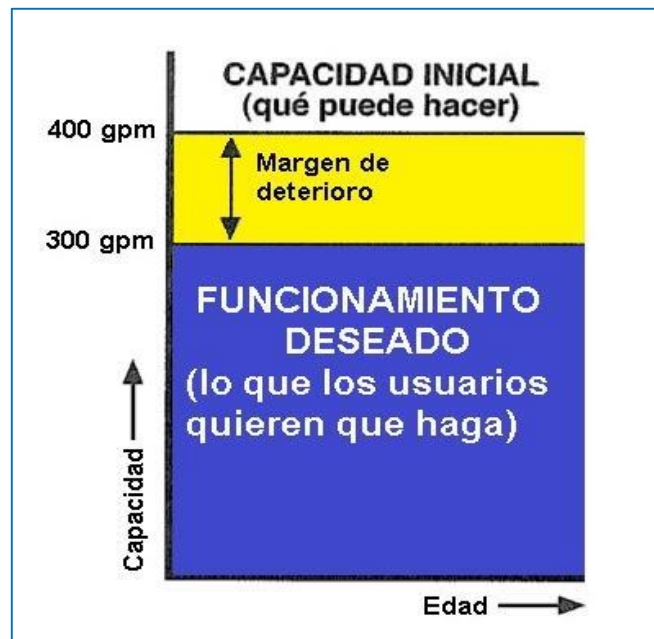
#### **3.4.3.2 Estándares de Rendimiento**

El objetivo del mantenimiento es el de garantizar que los activos continúen realizando lo que el usuario quiere de ellas. El alcance de lo que el usuario quiere de cada activo puede ser definido por un estándar mínimo de rendimiento. Si pudiéramos construir un activo que puede realizar el rendimiento mínimo sin deteriorarse de alguna manera, entonces este sería el fin del asunto. Esta máquina continuaría trabajando sin necesidad de mantenimiento. (Basson, 2018)

Sin embargo, en el mundo real, no es tan simple. Cualquier sistema organizado que está expuesto al mundo real se deteriorara. El resultado final de este deterioro es una desorganización total, también conocido como caos o entropía, a menos que se tomen medidas para contrarrestar cualquier proceso que este causando el deterioro. (Basson, 2018)

Por ejemplo, la bomba de la figura 14 bombea agua a un tanque a 300 galones por minuto. Un proceso que causa el deterioro de la bomba (falla del mecanismo) es el desgaste del impulsor. Esto ocurre independientemente de si la bomba bombea ácido o aceite lubricante, o independientemente de que si el impulsor está hecho de titanio o acero. La única pregunta es qué tan rápido se desgastará al punto en que no puede bombear 300 galones por minuto. (Basson, 2018)

Si el deterioro es inevitable, entonces se debe permitir. Esto significa que cuando algún activo es puesto en servicio, este debe de poder producir más que el estándar mínimo de rendimiento deseado por el usuario. Lo que el activo es capaz de producir es conocido como capacidad inicial (o confiabilidad inherente). (Basson, 2018)



**Figura 17: Capacidad Inicial vs Rendimiento Deseado**  
Fuente: (Basson, 2018)

Por ejemplo, para poder asegurar que la bomba de la figura 14 realice lo que el usuario requiere y permitamos el desgaste de este, los diseñadores deben de elegir una bomba que tenga una capacidad inicial instalada mayor a 300 galones por

minuto. En la figura 6, la bomba seleccionada tiene una capacidad de 400 galones por minuto. (Basson, 2018)

Esto significa que el rendimiento puede definirse de dos maneras:

- Rendimiento deseado (que es lo que el usuario quiere que el activo realice)
- Capacidad instalada (que es lo que puede realizar)

El mantenimiento ayuda a garantizar que los activos continúen realizando las funciones que se les asigna, ya sea asegurando que la capacidad se mantenga encima el estándar mínimo deseado por el usuario o restaurándolo a niveles cercanos de su capacidad inicial si baja debajo de este punto. Cuando se considere restaurar un equipo, hay que tener en mente: (Basson, 2018)

- La capacidad inicial de cualquier activo es establecida por su diseño y por cómo se ha fabricado (capacidad inherente)
- El mantenimiento puede solo restaurar en activo a este nivel de capacidad (no puede ir más allá de este).

En la práctica, la mayoría de los activos son diseñados y construidos adecuadamente, así que es usualmente posible desarrollar programas de mantenimiento que asegure que los activos continúen realizando lo que el usuario quiera. En pocas palabras, dichos activos son mantenibles, como se muestra en la siguiente figura. (Basson, 2018)

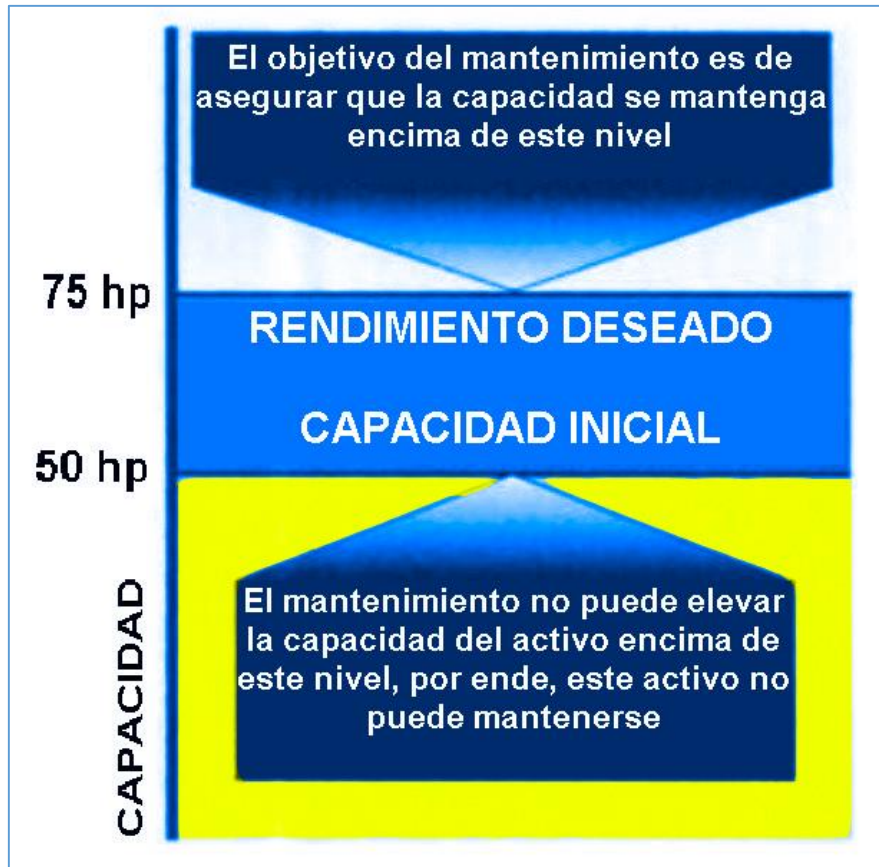


**Figura 18: Características de un Activo Mantenible**

Fuente: (Basson, 2018)

En resumen, activos con estas características son mantenibles, las cuales se muestran en la figura anterior. Por otro lado, si el rendimiento deseado excede la capacidad inicial, ninguna cantidad de mantenimiento va a poder resultar en el rendimiento deseado. (Basson, 2018)

En otras palabras, dicho activo no puede mantenerse, como se describe en el siguiente efecto. Por ejemplo, si tratáramos de sacar 75 hp (rendimiento deseado) de un motor de 50 hp (capacidad inicial), el motor activaría las protecciones termomagnéticas seguidamente, hasta quemarse por completo. Ninguna cantidad de mantenimiento hará que aumente su capacidad. Puede estar diseñado y construido adecuadamente, solo que no puede realizar el rendimiento deseado en el contexto en el que está siendo usado. (Basson, 2018)



**Figura 19: Característica de Activo no Mantenible**

Fuente: (Basson, 2018)

Se pueden sacar dos conclusiones de los ejemplos mostrados:

- Para que cualquier activo pueda ser mantenible, el rendimiento deseado del activo debe de estar por debajo de la capacidad inicial de este.
- Para determinar si este es así, no solo se necesita saber la capacidad inicial del activo, sino también se necesita saber con exactitud el rendimiento mínimo que el usuario está preparada para aceptar en el contexto en que el activo este siendo usado.

Esto resalta la importancia de identificar precisamente que es lo que el usuario quiere cuando se comienza el desarrollo del programa de mantenimiento. Los

siguientes puntos exploran aspectos claves de los aspectos de estándares de rendimiento.

### **3.4.3.3 Múltiples Estándares de Rendimiento**

Muchas declaraciones de funciones incorporan varios estándares de rendimiento. Por ejemplo, una función de un reactor químico en una planta química de trabajo por lotes poder ser listada como: (Basson, 2018)

**CALENTAR HASTA 1'000 LIBRAS DE UN PRODUCTO X DESDE  
TEMPERATURA AMBIENTE HASTA EL PUNTO DE EBULLICIÓN  
(257° F) EN 1 HORA**

En este caso, el peso del producto, el rango de temperatura y el tiempo presentan diferentes expectativas de rendimiento. (Basson, 2018)

### **3.4.3.4 Estándares de Rendimiento Cuantitativas**

Los estándares de rendimiento deben de ser cuantificados donde sea posible, debido a los estándares cuantitativos son inherentemente mucho más precisos que los estándares cualitativos. Se tiene que tener especial cuidado para evitar declaraciones cualitativas como “Producir tantos artilugios como requiera la producción”, o “Ir lo más rápido posible”. Declaraciones de funciones de este tipo son insignificantes, solo porque hacen imposible definir exactamente cuando el ítem falla. (Basson, 2018)

En realidad, puede ser extraordinariamente difícil definir precisamente lo que es requerido, pero solo porque es difícil no significa que no se pueda o no se deba

realizar. Si el usuario del activo no puede definir precisamente que rendimiento quiere que el activo realice, no pueden responsabilizar al personal de mantenimiento a mantener ese rendimiento. (Basson, 2018)

#### **3.4.4 Definición de Fallo**

Antes de introducir otros conceptos y parámetros, es esencial el que definíamos la palabra fallo y poder definir está en su totalidad y comprenderla. Amenos que el estado de fallo se haya definido, es imposible explicar el significado de la calidad de este o su confiabilidad. Al fallo se le define como: (Smith, 2017)

**No conformidad con algún criterio de rendimiento definido.**

Refinamientos que diferencian entre términos como defecto, mal funcionamiento o rechazo son a veces importantes en cláusulas contractuales y en la clasificación de análisis de datos, pero no se les debe permitir que nuble el problema. Estos términos variados solamente incluyen o excluyen fallas por tipo, causa, severidad o uso. Debido a que la falla se le define como una desviación de una especificación, entonces la definición de fallo implica un cambio en el rendimiento especificado. (Smith, 2017)

##### **3.4.4.1 Estados de Falla**

Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y expectativas de rendimiento asociados a los activos bajo consideración. La única ocurrencia que sea posible de detener un activo de realizar los requerimientos establecidos por el usuario se llaman fallos. Esto sugiere que el mantenimiento logra sus objetivos adoptando un enfoque adecuado a la gestión de fallos. Sin embargo, antes de que



se pueda aplicar las herramientas de gestión de fallas, tenemos que identificar que fallos pueden ocurrir. El mantenimiento basado en el riesgo los categoriza en dos niveles: (Basson, 2018)

- Primero identificado que circunstancias logran un estado de falla.
- Segundo, identificando que eventos pueden causar que el activo llegue a tener un estado de falla.

El mantenimiento basado en el riesgo define a los estados de falla como fallas funcionales, porque ocurren cuando los activos no son capaces de cumplir las funciones en un estándar de desempeño que sea aceptable con el usuario. Además de la total inhabilidad de funcionar, esta definición engloba las fallas parciales, donde los activos aun funcionan, pero a un nivel o desempeño no aceptable, incluyendo circunstancias donde el activo no puede mantener niveles aceptables de calidad o precisión. Esto solo se puede identificar después que las funciones y los estándares de rendimiento de los activos hayan sido definidos. (Basson, 2018)

#### **3.4.4.2 Modos de Fallo**

Una vez que los estados de fallo han sido identificados, el siguiente paso es tratar de identificar todos los eventos que son razonablemente los causantes de los estados de falla. Estos eventos se llaman “modos de falla”. Los modos de fallos razonablemente probables incluyen a aquellos que han ocurrido en el mismo o similar equipo operativo en el mismo contexto operativo, fallas que están siendo prevenidas actualmente por un régimen de mantenimiento existente y fallas que no han pasado aun pero que son consideradas posibilidades reales en el contexto en

cuestión. Modos de fallos poco probables también deberían de ser listados para que las consecuencias puedan ser asistidas lo antes posible (Basson, 2018)

La gran mayoría de listas de modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso. Sin embargo, el listado también debería incluir las fallas causadas por error humano y fallas de diseño, para que toda posible causa de falla del equipo puede ser identificada y corregida apropiadamente. Es también importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle para asegurar que el tiempo y esfuerzo no sea gastado tratando de tratar los síntomas mas no la causa. Por otro lado, es de igual importancia asegurar que el tiempo no sea gastado solo en el análisis entrando demasiado en detalle y no realizar ninguna gestión de mantenimiento con la información obtenida. Los modos de falla consisten de una causa y un mecanismo que lleva al fallo. (Basson, 2018)

#### **3.4.4.3 Efectos de Fallo y Severidad de las Consecuencias**

El quinto paso en el proceso del mantenimiento basado en el riesgo implica listar los efectos de falla, lo cual describe que ocurre cuando cada modo de fallo ocurre. Estas descripciones deben incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de fallas, las cuales pueden ser: (Basson, 2018)

- ¿Cuándo es la falla más probable que ocurra (inicio, operación normal o después de mantenimiento)?
- ¿Cuán frecuente ocurriría si no se hace algún intento de prevenirlo (probabilidad)?
- ¿Qué evidencia (si hay alguna) existe que la falla ha ocurrido?

- ¿De qué manera (si hay alguna) amenaza la seguridad o el medio ambiente?
- ¿De qué manera (si hay alguna) afecta la producción u operaciones?
- ¿Qué daño físico (si hay alguno) es causado por la falla?
- ¿Qué se debe de hacer para reparar la falla?
- ¿Causa algún daño secundario?
- ¿Cuál es la pérdida de ingresos (si hay alguno)?

El proceso de identificación de funciones, fallas funcionales, modos de fallo y efectos de fallo cuantifican el riesgo y logran sorprendentes y muchas veces oportunidades de gestión y reducción del riesgo, mejorando el rendimiento y la seguridad, y eliminando los gastos. (Basson, 2018)

#### **3.4.5 Método de Toma de Decisiones Según el Riesgo**

En el ambiente de negocios, inversores y reguladores esperan que las empresas presenten información de una manera que sea entendible. De este modo, mostrar la información en términos de riesgo y probabilidades han estado siendo aplicados mayormente ahora en la gestión de activos. Estos métodos ayudan en la expresión y presentación de decisiones en términos financieros relacionados al riesgo. (Ravish Preshant, 2017)

Riesgo es la combinación del efecto (severidad) del evento y la posibilidad (probabilidad) de que ocurra el evento.

$$**RIESGO = (SEVERIDAD)X(PROBABILIDAD DE QUE OCURRA)**$$

Generalmente hablando, la existencia del riesgo implica que existe una posibilidad de consecuencias negativas o derivaciones de valores esperados cuando un evento

tenga una probabilidad de ocurrir. Lo esencial de la gestión de riesgo es el que no está solo limitado con riesgos técnicos, pero también se extiende a la gestión de riesgo que envuelve el análisis de eventos de sistemas completos. Además, la gestión de riesgo involucra el proceso de toma de decisiones de medidas de los activos y la evaluación de estos. (Ravish Preshant, 2017)

El mantenimiento basado en el riesgo diferencia a los riesgos que impactan la seguridad y/o el medio ambiente (riesgo físico) y los riesgos que afectan a la operación o la económica (riesgo económico). El mantenimiento basado en el riesgo clasifica los riesgos asociados con las fallas en cinco grupos: (Basson, 2018)

- **Riesgos Físico Oculto:** Fallas ocultas no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a múltiples fallas con serios y en ocasiones catastróficas consecuencias. La mayoría de estas fallas están asociadas con dispositivos de protección que no son infalibles. (Basson, 2018)
- **Riesgo Económico Oculto:** No todos los dispositivos de protección son instalados para proteger a personas, algunos protegen los equipos de daños y consecuencia de estos daños. La falla o el traspaso de sistema de protección incrementa el riesgo de la falla al equipo que está destinado a proteger, y esto puede tener consecuencias muy caras. (Basson, 2018)
- **Riesgo Físico Evidente:** Una falla tiene consecuencias de seguridad si puede dañar o matar a alguien. Tiene consecuencias medio ambientales si conlleva a un rompimiento de cualquier estándar de la corporación, región, nacional o internacional. (Basson, 2018)

- **Riesgo Económico Evidente:** Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta a la producción (volumen de producción, calidad del producto, servicio al cliente o costos de operaciones adicionales a los costos directos de reparación) (Basson, 2018)
- **Riesgo Evidente Tolerable:** Los fallos que entran en esta categoría son los que no poseen un riesgo intolerable a la seguridad, el medio ambiente o a la operación. Estos riesgos son tolerables y para los que ocasiones consecuencias operacionales, el costo directo de reparación y de cualquier daño secundario) pueden ser los únicos efectos. Riesgos físicos que se consideran tolerables de acuerdo a la organización o los estándares de la sociedad, no deben de ser ignorados, pero deben ser revisados y gestionados apropiadamente. Los riesgos físicos con consecuencias severas nunca deben ser toleradas, a menos que la probabilidad de ocurrencia es extremadamente baja. (Basson, 2018)

En tales modelos de negocios socio tecnológicos, la misión visión y estrategias de la corporación están conectadas a los valores generales de toda la corporación. Los valores de una organización son los siguientes: (Ravish Preshant, 2017)

- Calidad
- Seguridad
- Finanzas
- Imagen
- Leyes y Regulaciones

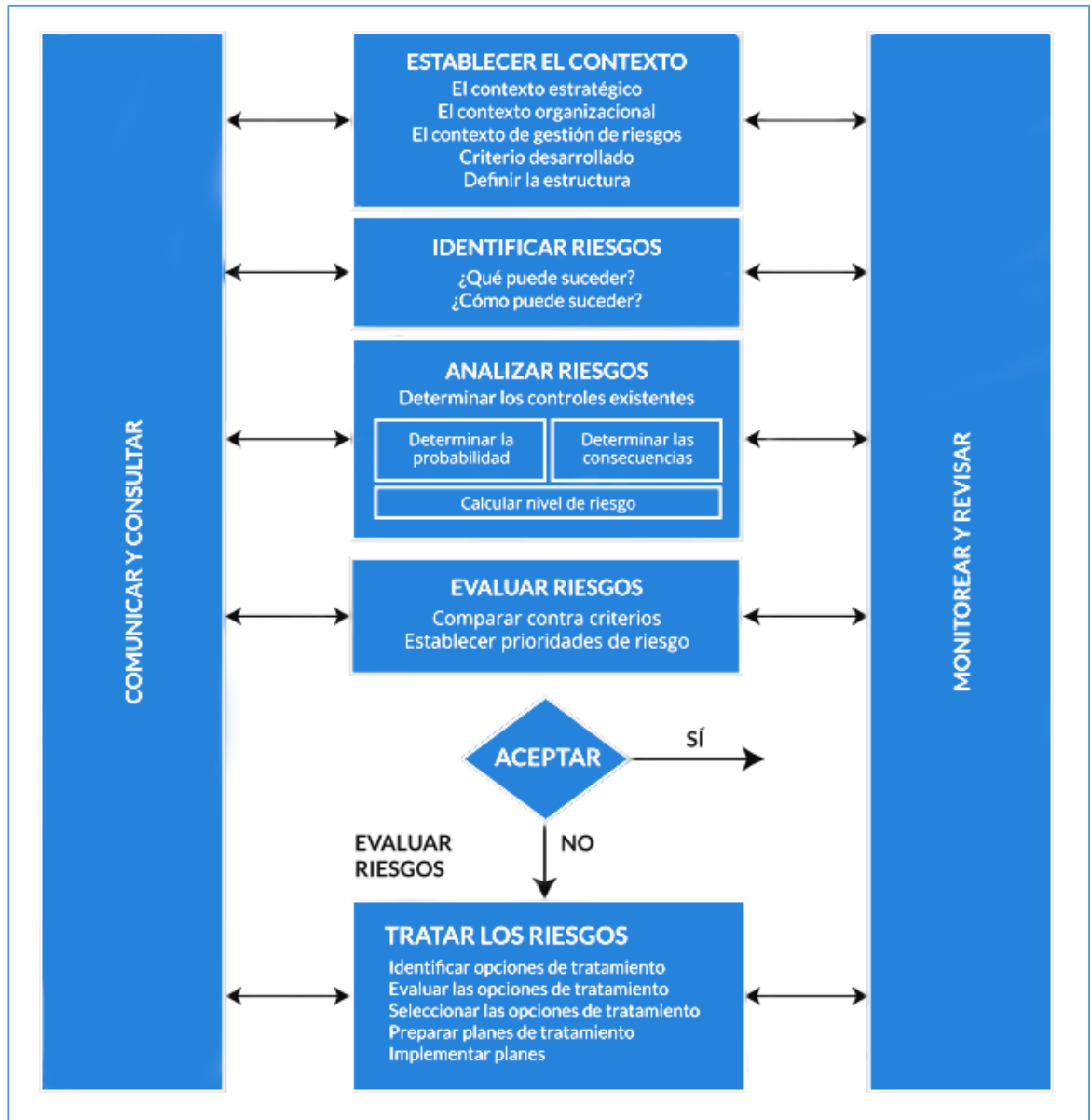
Básicamente, en orden de presentar un cierto riesgo, este problema deberá tener una influencia en los valores del negocio. Dependiendo de la gestión de la organización es usualmente útil en la practica el enfocarse en un numero de estos valores. Por ejemplo, es reportado que los riesgos en el área de seguridad no van a ser aceptados debido a leyes. (Ravish Preshant, 2017)

### **3.4.6 Estándares de Gestión de Riesgo**

En general, la gestión de riesgo, como un proceso regular de negocios, proporciona métodos de identificar, evaluar y tratar los riesgos de una organización y futuros eventos que tengan un impacto negativo en la organización. Además, crea conciencia de los riesgos socio tecnológicos de los activos y las posibilidades de tratarlos. Los estándares que rigen la gestión del riesgo fueron publicados en la norma ISO 31000:2019. (Ravish Preshant, 2017)

#### **3.4.6.1 Norma ISO 31000:2009**

En la norma ISO 31000 una vista general del proceso de toma de decisión de la gestión del riesgo se muestra en la siguiente imagen



**Figura 20: Proceso General de Toma de Decisión de la Gestión de Riesgo**  
**Fuente: (ISO-31000, 2009)**

En la norma ISO 31000, la gestión de riesgo se describe como una evaluación que proporciona toma de decisiones y responsabilidades con una mejor comparación de los riesgos que pueden afectar los logros de los objetivos, y los controles adecuados y efectivos que están siendo aplicados. Esto proporciona una base para las daciones sobre los enfoques más apropiados a ser usados para tratar los riesgos. La elaboración de evaluaciones de riesgo es una entrada en el proceso de toma de

decisiones de la organización. En general, la apreciación de riesgos es un proceso de identificación, análisis y evaluación de riesgo (Ravish Preshant, 2017)

### **3.4.7 Frecuencia de Falla y Tiempo Medio Entre Fallas**

Los requerimientos rara vez se expresan especificando valores de confiabilidad o de mantenibilidad. Existen parámetros útiles relaciones como la frecuencia de fallo, tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación los cuales describen más fácilmente los estatus del activo. El símbolo de frecuencia de falla es lambda  $\lambda$ . Consideremos un grupo de  $N$  ítems y, en un tiempo  $t$ , un número  $k$  de estos fallos. El tiempo acumulado  $T$ , será  $Nt$  si se asume que cada falla es remplazada cuando este ocurra, en cambio un caso no remplazable  $T$ , se da por: (Smith, 2017)

$$T = [t_1 + t_2 + t_3 \dots + t_k + (N - k)t]$$

El tiempo medio entre fallas es el lapso predicho de tiempo entre fallas inherentes de un sistema durante la operación. El MTBF puede ser calculado como una media aritmética entre los tiempos de fallas de un sistema. En sistemas reparables, las fallas son consideradas como condiciones fuera del diseño que localizan al sistema fuera del servicio hacia un estado de reparación. El MTBF refleja la habilidad del producto de mantener sus funciones y calidad durante un determinado tiempo. Específicamente, el MTBF se aplica solo a productos de servicio. El MTBF puede ser obtenido de la inversa de la frecuencia de fallas. En otras palabras, el MTBF se puede considerar como la ratio del acumulado total de horas de trabajo a el número de fallos. (Yao-te, Kuo-Qin, Shu-Ching, & Wen-Pin, 2019)



Para la demostración de la formula del MTBF, se toma a la vida del activo físico como un tiempo T, el cual es producto de una variable aleatoria.  $P(T \geq t)$  se refiere a la probabilidad que la vida útil del activo físico se extienda en un tiempo T.  $R(t)$  se refiere a la confiabilidad de la vida útil del activo en el tiempo T que se extiende hacia un tiempo t.  $R(t)$  es igual a  $P(T > t)$ , el cual es una función de la confiabilidad. Si  $f(t)$  representa la probabilidad de fallo del activo físico en un tiempo T, se define la siguiente ecuación (Yao-te, Kuo-Qin, Shu-Ching, & Wen-Pin, 2019)

$$f(t) = P(T < t) = 1 - R(t), t \geq 0$$

Si el tiempo de falla del activo físico está en función de t, entonces la relación entre la probabilidad de fallo  $f(t)$  y la confiabilidad  $R(t)$ , se definiría la siguiente ecuación. (Yao-te, Kuo-Qin, Shu-Ching, & Wen-Pin, 2019)

$$R(t) = 1 - f(t) = 1 - \int f(t') dt'$$

La vida media se refiere al promedio de tiempo en el que el activo físico opera o es usado desde un tiempo inicial hasta que ocurre un fallo. La Vida media también se le puede considerar MTBF. Si T representa el total de operaciones en un tiempo de producción, y r es el número total de fallas dentro del tiempo T, entonces, el MTBF puede expresarse del siguiente modo (Yao-te, Kuo-Qin, Shu-Ching, & Wen-Pin, 2019)

$$MTBF = \frac{T}{r}$$

### 3.4.8 Análisis de la Distribución de Fallas Promedio

Algunas veces, la frecuencia de falla de los activos físicos no es constantes, y el propósito del análisis de vida útil es el de estimar la pérdida de dicho activo. Uno de los métodos más comunes es la distribución Weibull, el cual es usado para estimar las horas de operación – falla de los activos físicos. Asumiendo que dos parámetros de la distribución de Weibull son  $\alpha$  (parámetro de escala) y  $\beta$  (características de vida), y su probabilidad de falla se representan como: (Yao-te, Kuo-Qin, Shu-Ching, & Wen-Pin, 2019)

$$f(t) = \alpha\beta t^{\beta-1} e^{-\alpha t^\beta}, t > 0, \alpha > 0, \beta > 0$$

La función de la confiabilidad se representa del siguiente modo

$$R(t) = e^{-\alpha t^\beta}$$

Y la frecuencia de falla se define con la siguiente ecuación

$$h(t) = \alpha\beta t^{\beta-1}$$

Luego, el parámetro de forma  $\beta$  y el parámetro de escala  $\alpha$  son obtenidos de la siguiente ecuación.

$$MTBF = \int_0^{\infty} t x \alpha\beta t^{\beta-1} e^{-\alpha t^\beta} dt$$

Esta integral es la distribución gamma  $\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$ . Con esta relación, el MTBF se define con la siguiente ecuación

$$MTBF = \alpha^{\frac{1}{\beta}} \Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$$

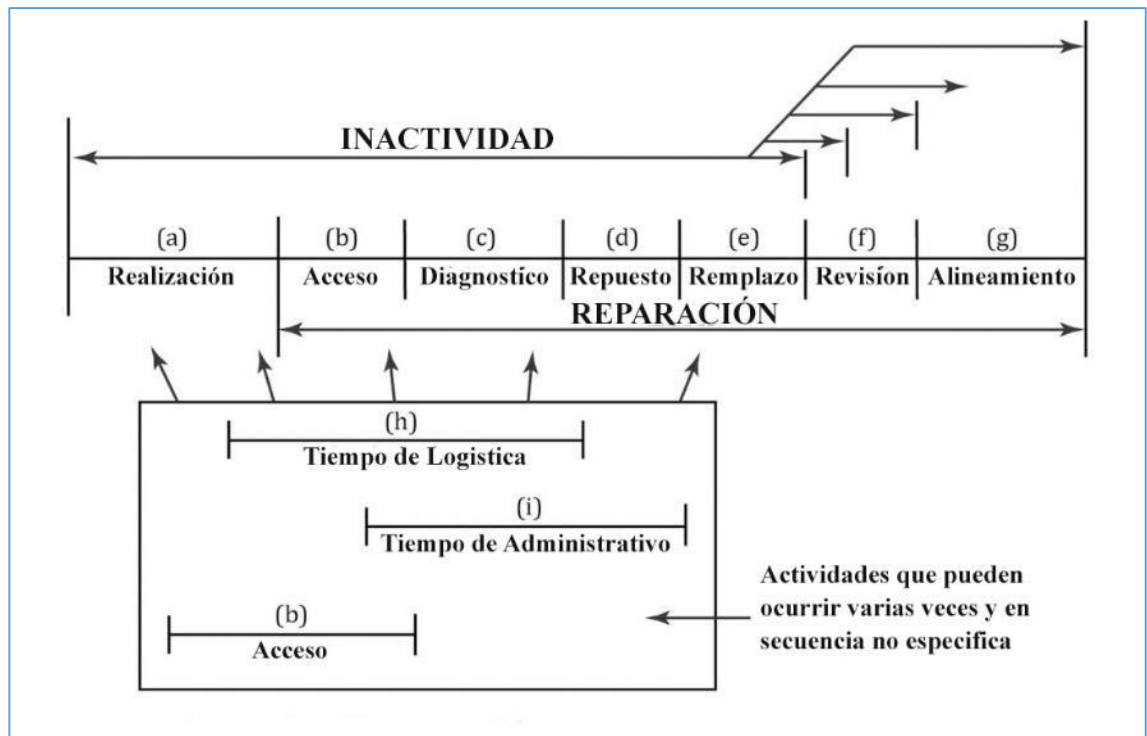
### 3.4.9 Tiempo de Inactividad y Tiempo de Reparación

Tiempo de Inactividad o de corte es el periodo en el cual el equipo está en un estado de fallo. Una definición formal de esta es usualmente evitada, debido a la dificultad de generalizar este parámetro el cual puede consistir de diferentes elementos de acuerdo a las condiciones de sistema y de operación. Este concepto se puede enfatizar del siguiente modo: (Smith, 2017)

- Un sistema que no se encuentre en uso continuo puede desarrollar una falla mientras se encuentre inmóvil. La condición de falla puede no ser evidente hasta que se requiera que el sistema entre en operación. El tiempo de parada se podría iniciar desde que inicio la falla, o desde que se dio la alarma de la condición o desde cuando el sistema se requería en operación. Depende del contexto operativo. (Smith, 2017)
- En algunos casos, puede ser estratégicamente económico o esencial el dejar el equipo en una condición de falla hasta un momento en particular o hasta que un número acumulado de fallas similares hayan ocurrido. (Smith, 2017)
- Las reparaciones pueden haber completado, pero no puede ser seguro el reiniciar el sistema a su condicione de operación inmediatamente. Alternamente, si es del tipo cíclico el sistema, deberá de ser necesario hacer un retraso al inicio. Dependerá del contexto operativo del sistema. (Smith, 2017)

Los tiempos de reparación a menudo implica un elemento de revisión o alineamiento además de las actividades técnicas necesarias. La definición y uso de este término dependerá de si el indicador a evaluar será a disponibilidad o la

mantenibilidad. Ambos tiempos y sus elementos se muestran en la siguiente figura.  
(Smith, 2017)



**Figura 21: Elementos de Tiempo de Inactividad y Tiempo de Reparación**  
Fuente: (Smith, 2017)

- **Tiempo de Realización:** Es el tiempo que transcurre antes de la falla, la cual se presume que es latente, se vuelve aparente. Este elemento contribuye a la indisponibilidad, pero constituye parte del tiempo de reparación. (Smith, 2017)
- **Tiempo de Acceso:** Implica el tiempo, desde la realización de la falla, hasta que comienza a encontrarse la falla. Este tiempo no incluye transporte, pero el retiro de cubiertas y guardas y sus conexiones si se considera. Este tiempo depende del diseño mecánico del activo físico. (Smith, 2017)
- **Tiempo de Diagnostico:** Se refiere al tiempo de hallazgo de fallas e incluye el tiempo de ajuste de equipos de pruebas si se requiere, el tiempo de

revisiones, la interpretación de los datos obtenidos, verificación de conclusiones y la toma de decisión de acciones correctivas. (Smith, 2017)

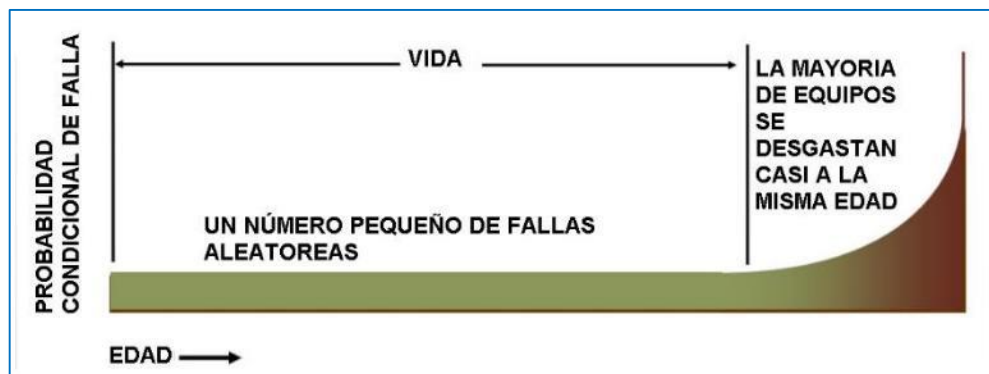
- Tiempo de Procura de Repuestos: La procura de partes puede ser desde tomarlos de una caja, obtenerla de un activo igual, o cambiando el activo físico por otro del mismo sistema. El tiempo que toma mover las partes desde el depósito al sistema no se incluye, dado que este se considera en los tiempos de logística. (Smith, 2017)
- Tiempo de Reemplazo: Involucra la remoción del componente en fallo, seguido por los conexiones mecánicas, eléctricos. Este tiempo depende del componente en falla y el diseño mecánico del activo. (Smith, 2017)
- Tiempo de Revisión: Involucra verificar que la condición de falla ya no exista y que el sistema se encuentre operacional. Puede ser posible restaurar la operación del sistema antes de completar las revisiones, en ese caso, no constituye un tiempo de inactividad. (Smith, 2017)
- Tiempo de Alineamiento: Como resultado de cambiar un componente del sistema, algunos ajustes pueden ser requeridos. Como en el caso de las revisiones, algunos alineamientos pueden realizarse con el equipo en operación. (Smith, 2017)
- Tiempos de Logística: Este es el tiempo que repuestos y consumibles toman en procurarse, así como herramientas específicas y adicionales; y de ser necesario mayor mano de obra. Los tiempos de transporte de estos son considerados. (Smith, 2017)

- **Tiempos Administrativos:** Esta en función de la organización en sí. Las actividades típicas involucran reportes de fallos, la asignación de tareas de reparación, entre otros. (Smith, 2017)

Hablar de tiempo de reparación máximo y tiempo de inactividad máxima no tiene sentido y es peligroso. Dadas suficientes reparaciones, eventualmente excederán las que ya han sido observadas. Solamente el tiempo medio y percentil puede ser especificado como un parámetro de diseño. (Smith, 2017)

### 3.4.10 Estrategias Proactivas de Gestión de Riesgo

Aun muchas personas tienen el concepto que la mejor manera de optimizar la disponibilidad de las plantas industriales se logra aplicando un mantenimiento proactivo de forma rutinaria. Los conceptos y conocimientos obtenidos en la segunda generación de mantenimiento sugieren que estas estrategias deberían de consistir en overhaules o el remplazo de componentes en intervalos de tiempo fijos. Este tiempo de intervalo fijo se muestra en la siguiente figura. (Basson, 2018)



**Figura 22: Visión Tradicional de la Falla de Equipos**

**Fuente:** (Basson, 2018)

Esta figura está basada en la suposición que la mayoría de equipos operan confiablemente por un periodo de tiempo y luego se desgastan. El pensamiento clásico sugiere que tener historiales extensos sobre las fallas nos permitirán

determinar este tiempo de vida y así poder realizar planes para tomar acciones preventivas justo antes de que este equipo este apunto de fallas en un futuro. (Basson, 2018)

Este modelo es aplicable para algunos tipos de equipos simples y para algunos equipos complejos que presenten modos de fallos dominantes. En particular, desgastes característicos son usualmente encontrados en equipos que tienen un contacto directo con el producto. Los fallos relacionados con la edad son usualmente asociados con la fatiga, la corrosión, la abrasión y la evaporación. (Basson, 2018)

Sin embargo, en la actualidad, los equipos son más complejos que los que se usaban hace 40 años. Estos han llevado a cambios inesperados en los patrones de fallas, como se muestran en la siguiente figura. La figura presenta probabilidades condicionales de fallas con respecto al tiempo, pero considerando una variedad de equipos y componentes eléctricos y mecánicos. (Basson, 2018)



**Figura 23: Seis Patrones de Fallas**  
Fuente: (Basson, 2018)

- El patrón A es la bien conocida curva de la bañera. Comienza con un alto índice de falla (Conocida como fallas de arranque), seguidas por un constante o gradualmente constante incremento de probabilidad de falla, finalizando con una zona de desgaste.
- El patrón B muestra una constante o un incremento ligero y lento de la probabilidad de falla, acabando en una zona de desgaste. Este él es el modelo tradicional explicado con anterioridad.
- El patrón C muestra un ligero y lento incremento en el tiempo de la probabilidad de falla, pero en este no es identificable la edad de desgaste.
- El patrón D muestra una baja probabilidad condicional de falla cuando el equipo es nuevo o es recién traído de fábrica, luego tiene un rápido incremento hasta que se estabiliza.
- El patrón E muestra una probabilidad condicional constante de fallas a cualquier edad, se concediera como fallas aleatorias.
- El patrón F comienza con un alto nivel de fallas en su zona de arranque, los cuales eventualmente se reducen a un valor constante.

Estudios realizados en aeronaves civiles mostraron que el 4% de los ítems forman parte de del patrón de fallas A, 2% conforman al patrón B, 5% conforman al patrón C, 7% conforman al patrón D, 14% conforman al patrón E y no menos que el 68% conforman al patrón F. Estos porcentajes de fallas ocurridas en aviones no necesariamente refleja los mismos que la industria, pero no cabe la duda que los activos, al volverse más complejos, tienden a tener más componentes que se comportan dentro de los patrones E y F. (Basson, 2018)



Estos hallazgos contradicen la creencia que siempre hay una conexión entre la confiabilidad y la edad operativa del activo. Esta creencia llevo a la idea que mientras se realizaran /overhaules más seguidos, era menos probable que fallara el activo. En la actualidad, esta es rara vez la verdad. Amenos que haya un modo de fallo dominante relacionado con la edad del activo, los límites de edad hacen poco o nada para mejorar la confiabilidad de equipos complejos. De hecho, overhaules programados pueden en realidad incrementar las tasas generales de falla al generar fallas de arranque a sistemas que estaban estables. (Basson, 2018)

La percepción de estos hechos llevo a algunas organizaciones a abandonar totalmente la idea de mantenimiento proactivo. De hecho, esto puede ser lo correcto para equipos con menor consecuencia de fallas. Pero cuando las consecuencias de fallas son significativas, se debe tomar acciones para prevenir o predecir las fallas, o al menos, reducir sus consecuencias. El mantenimiento basado en el riesgo divide a las estrategias de gestión del riesgo en seis categorías: (Basson, 2018)

- Trabajos programados según condición
- Trabajos programados de restauración
- Trabajos programados de descarte
- Combinación de tareas (para fallas con consecuencias de seguridad y medioambientales).
- Trabajos de búsquedas de fallas y revisiones funcionales (optimización de sistemas productivos).

- Modificaciones esporádicas (Necesario cuando ninguna estrategia proactiva puede hallarse para fallas que posean riesgos físicos y recomendada para fallas que posean riesgos económicos)

### **3.4.11 Proceso de Selección de Estrategias**

Una gran fortaleza del mantenimiento basado en el riesgo es la manera en que proporciona criterios simples, precisos y fáciles de entender para poder decidir que de las estrategias de gestión de riesgo proactivo son técnicamente posibles en cualquier contexto, y de ser así, decidir cada cuanto deben de realizarse y quien debería realizarlo. (Basson, 2018)

De ser o no ser una tarea proactiva técnicamente factible esta es gobernada por características técnicas de la actividad y de la falla que se busca prevenir. Si esta tiene valor de hacerse es gobernada por que también actúa con el riesgo asociado con la falla. Si una actividad proactiva no puede ser encontrada que sea a la vez técnicamente factible y sea útil, o una combinación de tareas no puede ser encontrada para una falla o múltiples fallas con consecuencias de seguridad y medio ambiente, entonces un cambio esporádico situacional debe de ser implementado. La esencia del proceso de selección de tareas es el siguiente (Basson, 2018)

- Para fallas ocultas que posean riesgos de seguridad o medioambientales (fallas físicas), una tarea proactiva tiene valor de realizarse si reduce los riesgos de las múltiples fallas asociadas con las funciones a un nivel tolerable bajo. Si dicha tarea no puede ser encontrada, entonces una tarea programada de búsqueda de falla debe de realizarse. Si una debida tarea programada de búsqueda de falla no puede ser encontrada, entonces un cambio esporádico

obligatorio debe de ser implementado. El ítem deberá de ser rediseñado, o el proceso deberá de ser cambiado, para reducir la probabilidad de fallas múltiples a un nivel tolerable. (Basson, 2018)

- Para fallas ocultas que posean riesgo económico, una tarea proactiva tiene valor de realizarse si reduce la probabilidad de fallas múltiples asociadas con la función a un nivel tolerable bajo. Si dicha acción no puede ser encontrada, entonces una tarea programada de búsqueda de fallas debe de ser realizada (a intervalos donde la suma del costo de realizarlo la tarea de búsqueda de fallas y los costos asociados de las fallas múltiples está en lo mínimo). Si no se puede encontrar una tarea adecuada de búsqueda de fallas, entonces un cambio esporádico deberá de ser considerado para reducir el riesgo en general. El ítem deberá de ser rediseñado, o el proceso tendrá que ser cambiado, para reducir la probabilidad de múltiples fallas a niveles tolerable. (Basson, 2018)
- Si la falla posee un riesgo operacional aparente (riesgo económico), una tarea proactiva solo tiene valor de realizarse si el costo total de realizarlo sobre un periodo de tiempo es menos que el costo de las consecuencias operaciones y los costos de reparación sobre ese periodo. En otras palabras, la tarea debe de ser justificada económicamente. Si esto ocurre y las consecuencias operacionales aún son inaceptables (intolerables), entonces la optimización de sistemas de protección se considerará por funciones que son protegidas por uno o más equipos de protección. Si es riesgo asociado con la falla sigue siendo intolerable, un cambio esporádico será considerado seguidamente para reducir el riesgo económico. Si no es justificado, ningún

mantenimiento programado será seleccionado como una tarea predeterminada. (Basson, 2018)

- Si la falla posee un riesgo tolerable o no operaciones evidentes, una tarea proactiva solo sería valiosa de realizar si el costo de la tarea en el periodo de tiempo es menos que el costo de reparación en el mismo periodo de tiempo. Estas tareas deben también tener una justificación en el lado económico. Si estas no son justificadas, la decisión inicial predeterminada es otra vez un mantenimiento no programado, y si el costo de reparación es muy alto, la segunda decisión predeterminada es el de cambio esporádico. (Basson, 2018)

Este alcance significa que las estrategias proactivas son solo especificadas a las fallas que son realmente necesarias, las cuales, llevan a una reducción substancias en las cargas de trabajo rutinarias y en ahorros. Menos trabajo rutinario también significa que el resto de tareas son más probables de realizarse propiamente. Esto junto con la eliminación de tareas contra productivas lleva a un mantenimiento más efectivo. (Basson, 2018)

Comparemos este nuevo paradigma con el enfoque tradicional al desarrollo de políticas de mantenimiento. Tradicionalmente, los requerimientos de mantenimiento de cada activo eran evaluados en términos de si las características técnicas eran reales o asumidas, sin considerar las consecuencias de fallas. La programación resultante es usada para todos los activos similares, sin considerar que diferentes consecuencias aplican en diferentes contextos operacionales. Esto

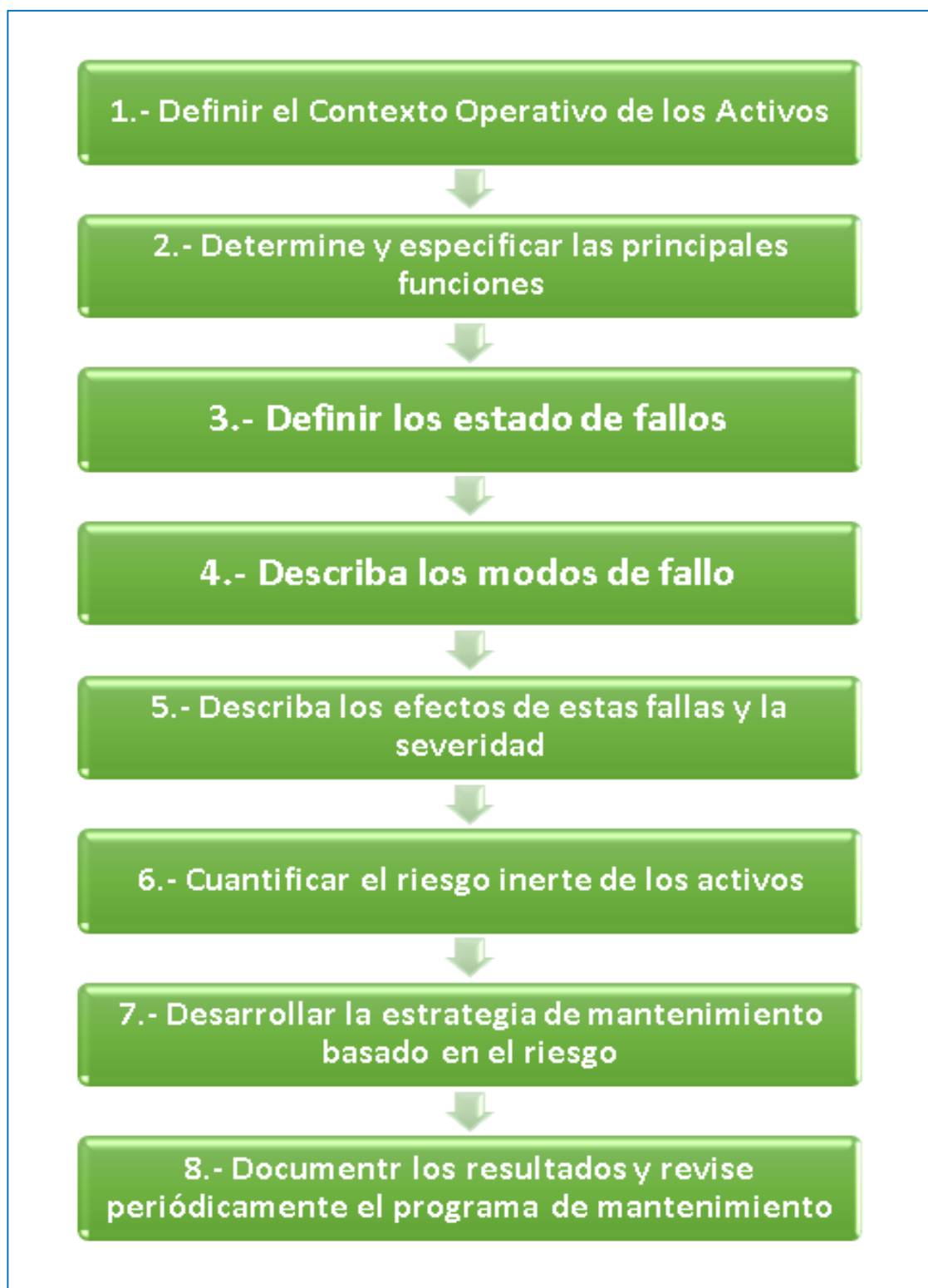
resulta en una gran cantidad de programaciones que no son usados, ni porque estén equivocados en un sentido técnico, pero porque no logran nada. (Basson, 2018)

### **3.4.12 Aplicación del Mantenimiento Basado en el Riesgo**

El proceso de aplicación del mantenimiento basado en el riesgo requiere que sean respondidas las siguientes preguntas por cada activo o sistema que este en revisión. (Basson, 2018)

- ¿Cuáles son las condiciones operativas o contexto operativo?
- ¿Cuáles son las funciones y los estándares de rendimiento asociados de los activos o sistemas que estén en el presente contexto operativo?
- ¿De qué manera puede fallar en cumplir sus funciones?
- ¿Qué ocasiona cada estado de falla?
- ¿Qué pasa cuando cada falla ocurre? (efecto de falla y severidad de las consecuencias.)
- ¿Cuáles son los riesgos asociados de cada falla? (Riesgo inerte cuantificado.)
- ¿Qué se debe de hacer para reducir los riesgos inertes a un nivel tolerable?)
- ¿Qué se puede hacer para reducir o gestionar los riesgos de un modo de costo – beneficio sea tolerable?

Estas preguntas se pueden representar del siguiente modo en el siguiente diagrama de flujo:



**Figura 24: Secuencia de Análisis de Modo de Falla y Efecto**

Fuente: (Basson, 2018)

Esta metodología se aplicará siguiendo los siguientes pasos

### **3.4.12.1 Paso 1: Definir el Contexto Operativo**

En este paso, se establecerán los activos físicos de la Asociación Textil AETI para el desarrollo de la metodología de mantenimiento basado en el riesgo, así como la codificación de estos para poder llevar el control de los mismos más fácilmente. Se finalizará este punto con el análisis de criticidad de los activos físicos para poder cuantificar el impacto que tienen estos en el proceso productivo, así como jerarquizar por criticidad los mismos.

Se tomará el procedimiento de la ISO 14224 como una guía para determinar la jerarquía de los activos y su taxonomía. Un contexto operativo debe de ser desarrollado para que la metodología del mantenimiento basado en el riesgo pueda conducirse. El contexto operativo describe el proceso en general, el papel que desempeña el activo en el proceso, el impacto que tiene el activo en el negocio y la función de los activos. Los pasos para cada uno es el siguiente: (Basson, 2018)

- **Proceso en general**
  - Describir el proceso general directamente relacionado con el activo o el sistema
  - Describir el ambiente en el cual los activos son operados. ¿Se encuentra dentro de un edificio o la intemperie? ¿Es el ambiente limpio o sucio? ¿Seco o húmedo? ¿Neutral, corrosivo o ácido?
  - También mencionar al equipo de operaciones.
- **Papel que desempeña el activo o sistema en el proceso en general**

- Describir el principal propósito del activo (¿Por qué existe? Y cómo encaja en el proceso en general notando también como afecta a otros procesos de la empresa.
- Describir el rendimiento deseado requerido de este activo con un estándar de rendimiento cuantificado.
- **Impactó del activo en el negocio**
  - Describir las consecuencias generales si este activo deja de operar o no opera con el nivel de rendimiento deseado.
  - Describir los posibles impactos en la calidad de producción o servicios y los impactos resultantes en los servicios al consumidor y cliente.
- **Función de Activos**
  - Desarrollar una descripción funcional del activo. La descripción debe de estar basado en el flujo lógico del proceso de ser posible.
  - Listar lo componentes más importantes del activo.
  - Incluir la presencia de equipos en stand by y/o capacidad de redundancia.
  - Indicar si se requiere materiales de construcción especiales.
  - Indicar si se requieren condiciones de operación especiales.
- **Documentación a ser usada para la descripción del contexto operativo**
  - Diagramas de Flujo de Proceso (PFDs)
  - Diagramas de Flujo Mecánico (MFDs)





**Figura 25: Niveles de Estructura de una Planta Industrial**  
Fuente: (Norma ISO 14224,2015)

Seguidamente, se realizará la criticidad de los activos, el cual incluye la revisión de datos e información normalmente contenida en el sistema de gestión de trabajos (WMS) así como observaciones de campo. Basados en los resultados del proceso de el ACAP, es esencial determinar el nivel de riesgo tolerable por a cada sistema del activo. El proceso ACAP considera redundancias (sistemas en stand by) y sistemas proactivos y sigue los principios básicos para determinar el riesgo relativo de cada activo (en su contexto operativo) posee la organización. Estos son: (Basson, 2018)

- Cuál es el peor caso escenario, razonablemente probable de fallo funcional) el activo no logra realizar lo que el usuario quiere que realice).
- Si un dispositivo de protección oculto es presente, ¿puede la consecuencia de fallo reducirse o eliminarse? De ser así, analizar el dispositivo de protección

separadamente y asegurar que el dispositivo esté presente en la jerarquía del activo físico.

- ¿Todos los subsistemas comparten la misma consecuencia de fallas?, de no ser así, comenzar con un nivel menor.
- ¿Cuáles son las consecuencias de estas fallas por categoría (seguridad, medio ambiente, operaciones)?
- ¿Qué tan seguido ocurren las fallas (probabilidad)?
- ¿Cuál es el nivel de riesgo tolerable?

Siguiendo la evaluación de criticidad de activos y priorización de activos, la organización deberá de tener una visión general de la organización de activos por jerarquía de activos y categorizada por su relativa importancia y el impacto que tiene en los objetivos del negocio. Los resultados del ACAP son usados en la priorización de procesos del mantenimiento basado en el riesgo (donde comenzar) y que concluir. (Basson, 2018)

Las frecuencias de mantenimiento no son determinadas por la criticidad del activo, pero la criticidad del activo determina que sistemas se deben de considerar para el mantenimiento.

#### **3.4.12.2 Paso 2: Establecer las Funciones de Activos Físicos**

En este paso, una vez establecidos los activos y sus importancias en el proceso productivo, se definirán las funciones primarias y de ser necesarias secundarias de los activos físicos, los cuales se documentarán en cada una de las fichas técnicas de los activos físicos las cuales se elaborarán debido a que la asociación no tiene alguna

elaborada. Estas fichas técnicas presentaran información descriptiva del activo, así como información funcional deseada de la misma para poder seguir con la metodología del mantenimiento basado en el riesgo.

Registros y jerarquías de activos con raramente completos o correctos en las industrias. Esto se debe a muchas razones que van desde entradas de data incorrecta o modificaciones y/o remplazos de los activos. Los activos críticos son normalmente registrados con más precisión, pero siempre hay que cerciorase que los registros de los activos contenidos en los sistemas de gestión de mantenimiento y lo instalado tengan concordancia el uno con el otro. (Basson, 2018)

El proceso de registro de verificación de activos incluye una revisión de la base de datos e información de fichas técnicas y hojas de datos de los activos, y también observaciones y verificación en campo. El proceso deberá verificar la existencia de los activos, y que no haya duplicados de datos, activos faltantes o activos obsoletos. (Basson, 2018)

El proceso sigue los siguientes pasos:

- Cuales activos son incluidos (Identificación y localización de activos)
- Clasificación de los activos y su prioridad.
- Atributos e información del equipo
- Sistemas aislados o redundantes
- Sistemas y equipos de protección.

### **3.4.12.3 Paso 3: Determinar los Sistemas de Activos Físicos**

En este paso, una vez definida las funciones de los activos físicos, comenzaremos con la descomposición de los activos críticos en sistemas, subsistemas, componentes, etc. Esto facilitara la identificación componentes y los diferentes elementos que puedan presentar fallas asociadas por desgaste, diseño o error humano, lo que facilitara la identificación de estados, modos y efectos de fallos.

Para lograr esto, se usarán los manuales de operación y mantenimiento de los activos físicos críticos, lo cual permitirá además saber el nombre de cada componente para facilitar la adquisición de estos.

- **Repuestos y Políticas de Almacenamiento**

Es posible de usar una derivativa de la metodología de mantenimiento basado en el riesgo para optimizar el almacenamiento de repuestos y las estrategias de gestiones de riesgos asociados. Esta derivativa está basado en el hecho de que la única razón de mantener repuestos es de evitar o reducir los riesgos asociados con la falla reduciendo el tiempo medio para reparar (MTTR). (Basson, 2018)

La relación entre los repuestos y el riesgo se basa en el tiempo que toma la procura de repuestos desde los proveedores. Si se pudiera realizar instantáneamente, no habría necesidad de almacenar ningún repuesto. Pero en la realidad, la procura de repuestos toma tiempo. Esto es conocido como tiempo de espera, y varía desde una razón de minutos a varios meses o años. Si los repuestos no son almacenados, el tiempo de espera a menudo dictamina cuanto tiempo toma reparar la falla, y por lo tanto la severidad de sus consecuencias. Por otro lado, mantener repuestos también es un costo, por eso se debe de llegar a un balance, sobre una base de caso por caso,

entre los costos de mantener repuestos y el costo total de no mantenerlos. En algunos casos, el peso y/o las dimensiones de los repuestos también se deben de tomar en cuenta debido a restricciones de peso y espacio, especialmente en facilidades como plataformas petroleras y embarcaciones. (Basson, 2018)

En la mayoría de los casos, la mejor manera de encarar con los repuestos es el siguiente:

- Usar la metodología de mantenimiento basado en el riesgo para desarrollar una estrategia de mantenimiento basada en las políticas existentes de procura de repuestos.
- Revisar los modos de fallos asociados con los repuestos claves en base a excepciones estableciendo que impacto (si es que existiera) un cambio en las políticas presentes de almacenamiento tendría en la estrategia de mantenimiento inicial y de ahí elegir la estrategia de mantenimiento y/o política de almacenamiento que tenga el mayor costo/beneficio
- **Disponibilidad de Habilidad y Logística**

La disponibilidad de habilidad in situ (o en el área) es importante para determina como las fallas van a ser gestionadas. También puede ser necesario contratar trabajos que requieran una mayor habilidad. Además, algunas reparaciones puede que tengan que hacerse fuera de la planta, lo cual aumentara el tiempo muerto e incrementara los costos de reparación. Los cambios en la fuerza laborar y los cambios en la demografía deben de considerarse cuando se

desarrolla el contexto operativo, el impacto de estos puede que se tenga que considerar en toda la vida del programa. (Basson, 2018)

#### **3.4.12.4 Paso 4: Identificar los Estados de Falla**

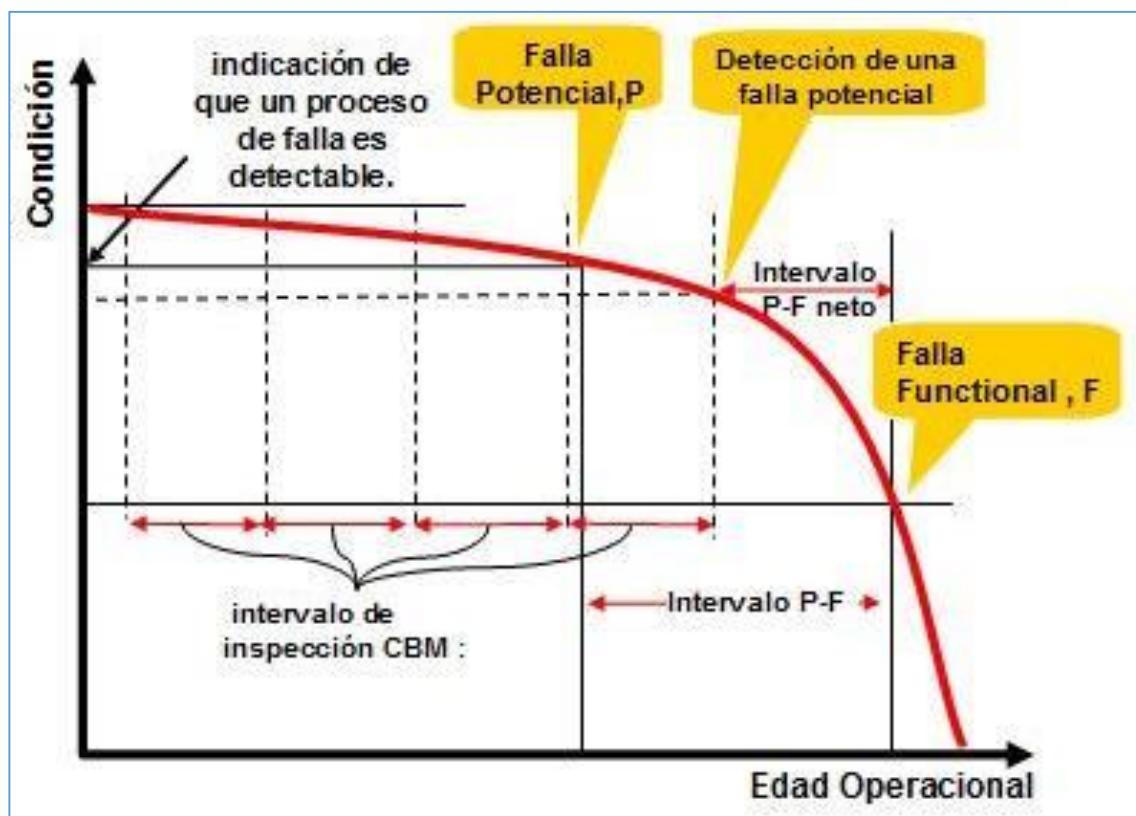
Seguidamente, en este paso, una vez definidas las funciones primarias y de ser necesarias las secundarias, se identificarán los estados de fallos de los activos, es decir, cuáles son los estados en los que el activo físico se le considerara en fallo o defectuoso. Esto se realizará realizando encuesta a los operarios, gerentes y personal que directa o indirectamente afecte el activo físico, para poder identificar los diferentes estados en el que el activo físico falle.

Un problema que tiene que ser considerado cuidadosamente cuando se define los fallos funcionales, es el usuario. A este día, la mayoría de programas de mantenimiento que se usan alrededor del mundo son compiladas por personal de mantenimiento trabajando por su cuenta. Este personal usualmente decide por ellos mismos el significado de falla. En la práctica, su visión de falla usualmente suele ser diferente que el de los usuarios, lo cual ocasiona a veces consecuencias desastrosas de efectividad de los programas de mantenimiento. (Basson, 2018)

Por ejemplo, la visión que tiene el personal de seguridad de planta, puede considerar una falla cuando algo comienza a estar fuera de estándar, como lo puede ser goteras de aceite. El personal de mantenimiento puede recién considerar una falla cuando la gotera de aceite dure 1 o 2 días. Mientras que el personal de operación de planta puede considerar que es una falla, solo cuando el equipo deje de funcionar en su totalidad.

Cuando situaciones así ocurre, el personal de mantenimiento registra que el activo no fue dado de baja para mantenimiento preventivo por culpa de operaciones y que el personal operativo no le da importancia y cree que es necesario acciones de mantenimiento preventivo. De igual manera, el gerente de mantenimiento no abrirá una orden de trabajo al personal de mantenimiento por una pequeña gotera de la máquina, la cual fue informado por personal de seguridad.

Esto se puede apreciar mejor en la siguiente figura.



**Figura 26: Diferentes Visiones Referentes a Fallas**

Fuente: (Norma ISO 14224,2015)

De hecho, las tres áreas ciertamente creen en actividades de prevención. El problema está en que no están de acuerdo en que significa que falle el equipo, y no tienen el mismo entendimiento de lo que buscan prevenir.

Las claves importantes para definir los modos de fallos son los siguientes:

- El estándar de rendimiento usado para definir las fallas funcionales, son los que definen el nivel de mantenimiento proactivo necesario para evitar esa falla.
- Tiempo y energía pueden ser ahorrados si los estándares de rendimientos son establecidos antes de que las fallas ocurran.
- Los estándares de rendimientos usados para definir la falla deben de ser establecidos por personal de mantenimiento y operaciones trabajando juntos con cualquier departamento que tenga sustento de opinar en cómo debe de comportarse el activo.

#### **3.4.12.5 Paso 5: Identificar los Modos de Falla**

Una vez identificados los estados de fallos de los activos físicos, se procederá al siguiente paso, en el cual identificaremos los modos de fallo de los activos físicos que harán que el activo físico presente fallos no deseados. Los modos de fallo son las causas que harán que el activo físico no pueda realizar las funciones deseadas por el usuario o dueño del activo físico. Identificando estos modos de fallo permitirán poder desarrollar acciones correctivas o preventivas para evitar que estas causas sean frecuentes, o mitigarlas en lo más mínimo.

Un modo de falla se define como cualquier evento que tenga la probabilidad de causar la falla en un activo. Pero como se describió en el marco teórico, es vago y simplista aplicar el término “falla” a un activo en general. Es más preciso distinguir entre falla funcional (Estado de fallo) y modo de fallo (como evento y circunstancia



que llevan a un evento que puedan ocasionar un estado de falla). Esta distinción lleva a la siguiente más precisa definición: (Basson, 2018)

**Un modo de fallo es un evento el cual causa un estado de falla y los mecanismos que llevan a cabo el estado de falla.**

La mejor manera de mostrar la conexión y la distinción entre estado de fallas y los eventos que ocasionan estos es el de listar primero los estados de falla, luego registrar los modos de falla que pueden llevar a este estado.

Una maquina puede fallar por una docena de razones. Un banco de equipos o sistemas en una línea de producción pueden fallar por cientos de diferentes razones. Para una planta completa, el número puede aumentar en los miles e incluso millones.

Muchos administradores y gerentes no le dan importancia a la identificación de estos modos de falla. La mayoría decide que este tipo de análisis es mucho trabajo e innecesario, abandonando la idea por completo. Al hacer esto, se omite el hecho de que en el día a día, el mantenimiento en realidad se gestiona en los niveles de modo de fallo. Por ejemplo:

- Las ordenes de trabajo, o solicitudes de trabajo se elaboran para cubrir un modo de fallo específico.
- La planeación del día a día del mantenimiento es la elaboración de planes para tratar con modos de fallos específicos.
- En la mayoría de tareas industriales, de mantenimiento y operaciones tienen reuniones todos los días, las reuniones usualmente consisten en su mayoría en

discusiones sobre lo que ha fallado, que ocasiono las fallas, que se está haciendo para repararlo y algunas veces que se puede hacer para evitar que ocurra de nuevo. En resumen, toda la reunión es sobre modos de fallos.

- A gran escala, el registro de historial técnico registra los modos de fallas individuales.

En la mayoría de los casos, estos modos de fallas son discutidos, registrados y tratados luego que han ocurrido, lo cual es la esencia del mantenimiento correctivo. En cambio, en la actualidad, la gestión proactiva, la cual significa tratar los eventos antes de que ocurran o al menos planear como se trataran antes que ocurra. Para realizar esto, tenemos que saber que eventos son los más probables que ocurran. Los eventos que llevan a la falla en este contexto son mecanismos de fallo. Entonces si queremos en verdad aplicar mantenimiento proactivo a cualquier activo físico, debemos tratar de identificar todos los modos de fallos (causas y mecanismos) que son razonablemente probables que afecten al activo físico. Idealmente, se deberían de identificar antes de que estos ocurran, o si no es posible, antes de que vuelvan a ocurrir. (Basson, 2018)

Una vez que cada modo de fallo ha sido identificado, se vuelve posible el considerar que pasa cuando estas fallas ocurren, luego se analizan las consecuencias y los riesgos asociados para posteriormente decidir qué se puede hacer, de ser posible, para anticipar, prevenir, detectar o corregir los eventos. (Basson, 2018)

### 3.4.12.6 Paso 6: Identificar los Efectos de Estas

Una vez identificados los estados y modos de fallas de los activos físicos, se procederá a este paso, en el cual identificaremos que efectos negativos producen estos fallos, y cuál es su severidad en el impacto en el proceso productivo según el contexto operativo del mismo. Estos efectos se documentarán en tablas para poder tener una referencia futura y poder tomar decisiones con información recopilada. Los efectos de fallo se definen como:

**Los efectos de falla describen que pasa cuando un modo de fallo ocurre.**

Tomar en cuenta que los efectos de falla no son lo mismo que las consecuencias de falla, Un efecto de falla responde la pregunta “¿qué pasa?” en donde una consecuencia de falla responde la pregunta “¿Cómo es que importa?”

Una descripción de los efectos de falla debería incluir toda la información necesaria para facilitar la evaluación de las consecuencias de la falla. Específicamente, cuando se describen los efectos de la falla, la respuesta s a las siguientes preguntas se deben de registrar: (Basson, 2018)

- ¿Cuándo es más probable de ocurrir el modo de fallo?
- ¿Qué tan seguido el modo de fallo ocurre si no se hace nada para prevenirlo?
- ¿Qué evidencia (si es que hubiera alguna) hay de que haya ocurrido la falla?
- ¿De qué manera (si es que hubiera alguna) presenta una amenaza a la seguridad o al ambiente?
- ¿De qué manera (si es que hubiera alguna) afecta la producción o las operaciones?

- ¿Qué daños físicos (si hubiera alguno) es causado por la falla?
- ¿Ocasiona daños secundarios?
- ¿Cuál es la pérdida económica (si es que hubiera alguno)?
- ¿Qué es lo que se debe de hacer para reparar la falla?

El objetivo de estas preguntas es el de establecer si son necesarios actividades de mantenimiento proactivo.

#### **3.4.12.7 Paso 7: Evaluar el Riesgo de los Activos Físicos**

En este paso, una vez identificados los estados, modos y efectos de los fallos de los activos físicos, se procederá a cuantificar el riesgo que estos fallos representan al proceso productivo. El riesgo se cuantificará de modo económico, y por el índice de frecuencia de ocurrir los diferentes modos de fallos de los activos físicos críticos. Los riesgos se documentarán al igual que la demás información para futuras comparaciones para poder realizar la toma de decisión usando la mayor información posible. (Basson, 2018)

Para poder identificar el riesgo, es necesario determinar los estados y modos de fallas que sean probables de interferir en las actividades de los activos físico. Una vez que los modos de fallos probables han sido identificados, el efecto y las consecuencias asociadas de cada modo de fallo son considerados. Una vez que la probabilidad y consecuencias hayan sido identificadas, estamos en la posición de determinar los riesgos físicos y operacional que cada modo de fallo presenta en la organización. (Basson, 2018)

Para poder establecer la severidad de los modos de fallo, necesitamos entender el efecto físico que este tendrá. Los riesgos se categorizan para poder determinar el esfuerzo (tiempo y dinero) que van a requerir para gestionar el riesgo asociado con el modo de fallo específico. Las fallas que poseen riesgos serios requerirán un enfoque comprensivo para poder asegurar que se podrá gestionar los riesgos a un nivel tolerable. (Basson, 2018)

Una de los aspectos más difíciles de la gestión de seguridad es el alcance en el cual los niveles de tolerabilidad están, siendo estos diferentes en cada individuo y en cada grupo de trabajo. Una gran cantidad de factores influyen en esta visión, siendo uno de los más importantes el nivel de control que un individuo piensa que tiene sobre alguna situación. (Basson, 2018)

Existen diferentes metodologías para evaluar el riesgo, la mayoría de estudios y estándares lo dividen en tres categorías

- **Análisis de Riesgo Subjetivo:** Este enfoque requiere que los evaluadores tomen decisiones subjetivas basados en conocimientos y experiencias. Mientras más serios sean los riesgos, menos incentivo tendremos de usar este método.
- **Análisis de riesgo cualitativo:** Este enfoque usa la probabilidad de la falla y la severidad de la consecuencia de falla. En este método la probabilidad y la severidad se determinarán a través del análisis de confiabilidad como el análisis de Monte Carlo. La desventaja de este método es que requiere de softwares para su validación.

- Análisis de riesgo cuantitativo: Este enfoque usa la probabilidad de el modo de falla y la severidad o consecuencia del modo de falla desarrollado en una matriz de riesgo para alocar el riesgo en diferentes categorías.

Para esta metodología se utilizará el análisis de riesgo cuantitativo.

#### **3.4.12.8 Paso 8: Establecer la Estrategia de Mantenimiento**

Una vez establecida toda la información y cuantificación de información, en este paso, se procederá a establecer las estrategias de gestión de mantenimiento basado en el riesgo. Dependiendo del nivel de riesgo y con la información elaborada sobre el contexto operativo y los modos de fallos, se designarán las diferentes técnicas de mantenimiento como el mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo o proactivo, según sea necesario y sea factible según el contexto económico y productivo de la asociación AETI.

Para poder desarrollar este paso, cada modo de fallo debe de ser evaluado para determinar la estrategia de gestión de riesgo con mejor costo beneficio que valga la pena de realizar y sea técnicamente posible. Se desarrollarán las siguientes preguntas para lograr este objetivo: (Basson, 2018)

- ¿Qué se debe de hacer para reducir los riesgos intolerables a un nivel tolerable?
- ¿Qué se puede hacer para reducir los riesgos tolerables en un modo de costos-beneficio?

Una de las maneras es el de usar estrategia de gestión de riesgo proactivas para reducir o eliminar los riesgos antes de que ocurran. Se ha visto que en orden de reducir o mitigar los riesgos, se tienen estas opciones: (Basson, 2018)

- Reducir la probabilidad que el evento suceda
- Reducir la severidad de las consecuencias del evento

Es posible el reducir la probabilidad que los eventos ocurran, previniendo que el activo llegue a un estado de fallo. Esto es posible si se analiza la integridad del diseño (eliminación de defectos) y a través del mantenimiento proactivo, Las estrategias de gestión de fallas proactivas utilizan lo que tradicionalmente se llamó mantenimiento preventivo, solo que en diferentes términos. (Basson, 2018)

#### **3.4.12.9 Paso 9: Documentar los Resultados**

Finalmente, en el último paso, documentaremos todos los hallazgos, en historiales de los equipos. Esta documentación permitirá evaluar el impacto que tiene la estrategia de mantenimiento basado en el riesgo en el tiempo de implementación, así como ajustes o cambios en la estrategia de mantenimiento dependiendo del contexto operativo y las necesidades de la empresa.

## **CAPITULO IV**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1 Introducción de la Metodología**

La metodología del mantenimiento basado en el riesgo, como se explicó en el capítulo III de esta investigación, es la evolución de los conceptos y métodos del mantenimiento basado en la confiabilidad, lo cual permite realizar un análisis tomando en consideración las consecuencias de fallas y los riesgos que estos tienen con respecto al negocio que se planea ayudar.

En este capítulo aplicaremos las metodologías explicadas a la Asociación AETI para poder evaluar su situación actual, ver cuáles son las debilidades y fallas que presenta su actual forma de trabajar y mantener a sus activos, así como las mejoras que la metodología propone en su contexto operacional, contrastando los resultados obtenidos con la situación inicial para poder garantizar una mejora significativa.

#### **4.2 Aplicación de la Metodología**

Como se explicó y mostro en el anterior capitulo, el mantenimiento basado en el riesgo, al igual que el mantenimiento basado en la confiabilidad sigue 8 preguntas



para su desarrollo, las cuales se presentaron en capítulo anterior

### 4.3 Paso 1: Definir el Contexto Operativo

Los datos de referencia de la Asociación AETI se presentaron en el capítulo II, los cuales ayudan al momento de identificar el flujo de actividades ideales que espera dicha empresa. A su vez, tomando la los niveles de estructura de la Figura 35, trabajaremos con 3 niveles, los cuales serán planta, sección y equipos. Cruzando ambas referencias, podemos obtener el siguiente cuadro de los activos necesarios por área.

**Cuadro 4: Listado de Activos de la Asociación AETI. Planta Ilo - Moquegua**

PLANTA Nivel 4	SECCIÓN Nivel 5	EQUIPO Nivel 6
Planta N°1 Moquegua, Ilo	Área N° 1: Corte	Cortadora eléctrica de Tela 1
		Cortadora eléctrica de Tela 2
	Área N° 2: Costura	Máquina de Costura Recta de Tela 1
		Máquina de Costura Recta de Tela 2
		Máquina de Costura Recta de Tela 3
		Máquina de Costura Recta de Tela 4
		Remalladora de Tela de Tela 1
		Remalladora de Tela 2
		Remalladora de Tela 3
		Recubridora de Tela 1
		Recubridora de Tela 2
		Ojaladora de Tela 1
		Botonera de Tela 1
		Tejedora de Cuello 1
		Pretinadora de Tela 1
	Elastiguera de Tela 1	
	Cerradora de Pantalones 1	
	Área N° 3: Bordado	Bordadora de Tela 1
		Bordadora de Tela 2
		Bordadora de Tela 3
Bordadora de Tela 4		
Bordadora de Tela 5		

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3.1. Codificación de Activos Físicos

Para poder facilitar la identificación de cada activo, y debido a la falta del mismo en la empresa, se los codificara según la norma ISO 14224. Se seguirá el siguiente patrón para la codificación.



**Figura 27: Estructura de Codificación de los Activos**

Fuente: (Norma ISO 14224,2015)

Siguiendo este patrón, comenzaremos con las siglas de los activos para su rápida identificación de estos en las hojas de datos.

**Cuadro 5: Listado de Activos de la Asociación AETI. Planta Ilo - Moquegua**

SIGLAS	ACTIVO FÍSICO
COE	Cortadora Eléctrica de Tela
COR	Máquina de Costura Recta de Tela
REM	Remalladora de Tela de Tela
BOT	Botonera de Tela
CER	Cerradora de Pantalones
BOR	Bordadora de Tela
REC	Recubridora de Tela de Tela
OJA	Ojaladora de Tela
PRE	Pretinadora de Tela
ELA	Elastiguera de Tela
TEJ	Tejedora de Cuellos

Fuente: Elaboración Propia

Usando la tabla 4 y la tabla 3, obtendremos la correlación de códigos de los activos físicos. Esta codificación queda reflejada en la siguiente tabla.

**Tabla 3: Codificación de los Activos por Numero, Sección y Planta**

DESCRIPCIÓN	PLANTA	SECCIÓN	TIPO	N°
Cortadora eléctrica de Tela	1	1	COE	1
Cortadora eléctrica de Tela	1	1	COE	2
Máquina de Costura Recta de Tela	1	2	COR	1
Máquina de Costura Recta de Tela	1	2	COR	2
Máquina de Costura Recta de Tela	1	2	COR	3
Máquina de Costura Recta de Tela	1	2	COR	4
Remalladora de Tela	1	2	REM	1
Remalladora de Tela	1	2	REM	2
Remalladora de Tela	1	2	REM	3
Recubridora de Tela	1	2	REC	1
Recubridora de Tela	1	2	REC	2
Ojaladora de Tela	1	2	OJA	1
Botonera de Tela	1	2	BOT	1
Tejedora de Cuello	1	2	TEJ	1
Pretinadora de Tela	1	2	PRE	1
Elastiquera de Tela	1	2	ELA	1
Cerradora de Pantalones	1	2	CER	1
Bordadora de Tela	1	3	BOR	1
Bordadora de Tela	1	3	BOR	2
Bordadora de Tela	1	3	BOR	3
Bordadora de Tela	1	3	BOR	4
Bordadora de Tela	1	3	BOR	5

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se consolidará la codificación tomando la anterior tabla, llevando al siguiente cuadro final resumen de los códigos de los activos en la asociación textil AETI, los cuales nos ayudaran más adelante para la elaboración de las fichas técnicas de las mismas y seguir con el desarrollo de la metodología del mantenimiento basado en el riesgo.

**Cuadro 6: Resumen de la Codificación de los Activos**

PLANTA Nivel 4	SECCIÓN Nivel 5	EQUIPO Nivel 6	CÓDIGO
Planta N°1 Asociación AETI Moquegua, Ilo	Área N° 1: Área de Corte	Cortadora eléctrica de Tela 1	11COE01
		Cortadora eléctrica de Tela 2	11COE02
	Área N° 2: Área de Costura	Máquina de Costura Recta de Tela 1	12COR01
		Máquina de Costura Recta de Tela 2	12COR02
		Máquina de Costura Recta de Tela 3	12COR03
		Máquina de Costura Recta de Tela 4	12COR04
		Remalladora de Tela 1	12REM01
		Remalladora de Tela 2	12REM02
		Remalladora de Tela 3	12REM03
		Recubridora de Tela 1	12REC01
		Recubridora de Tela 2	12REC02
		Ojaladora de Tela 1	12OJA01
		Botonera de Tela 1	12BOT01
		Tejedora de Cuello 1	12TEJ01
		Pretinadora de Tela 1	12PRE01
		Elastiguera de Tela1	12ELA01
		Cerradora de Pantalones1	12CER01
	Área N° 3: Área de Bordado	Bordadora de Tela1	13BOR01
		Bordadora de Tela 2	13BOR02
		Bordadora de Tela 3	13BOR03
Bordadora de Tela 4		13BOR04	
Bordadora de Tela 5		13BOR05	

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.2. Criticidad de los Activos Físicos

Con los activos codificados y definidos, elaboraremos un análisis de criticidad de los activos. Este análisis de criticidad nos permite poder jerarquizar por importancia.

Al no haberse realizado con un registro de la historia de los equipos en la Asociación AETI. Los datos serán tomados por encuesta.

Para el cálculo de la criticidad usaremos la siguiente formula:

$$\text{Criticidad} = (\text{Frecuencia})(\text{Consecuencia})$$

$$\text{Consecuencia} = (IO)(F) + CM + SAH$$

Donde:

IO = Impacto Operacional

SAH = Impacto de Seguridad

Ambiental e Higiene

F = Flexibilidad

CM = Costo de Mantenimiento

La encuesta del activo se realizará utilizando la siguiente cuantificación

**Tabla 4: Criterios de Criticidad y Cuantificación**

<b>CRITERIOS DE CRITICIDAD</b>		<b>CUANTIFICACIÓN</b>
<b>FRECUENCIA DE FALLAS/AÑO</b>		
Mayor a 4		4
2 a 4		3
1 a 2		2
Menos de 1		1
<b>IMPACTO OPERACIONAL PERDIDA DE PRODUCCIÓN</b>		
Mayor de 3 Horas		10
2 a 3 Horas		6
1 a 2 Horas		4
0.5 a 1 Hora		2
Menor de 0.5 Horas		1
<b>FLEXIBILIDAD OPERACIONAL</b>		
No Hay Repuesto		4
Repuestos Disponibles no Inmediato		2
Repuestos Disponibles de Inmediato		1
<b>COSTOS DE MANTENIMIENTO</b>		
Mayor o Igual a 5000 S/.		2
Menor a 5000 S/.		1
<b>IMPACTO EN SEGURIDAD AMBIENTAL E HIGIENE</b>		
Afecta la Seguridad Humana Tanto Externa o Interna		8
Provoca Lesiones y/o Afecta al Medio Ambiente		6
Afecta las Instalaciones Causando Daños		4
Provoca Daños Menores al Personal		2
Provoca un Impacto Ambiental Menor		1
No provoca Ningún Daño		0

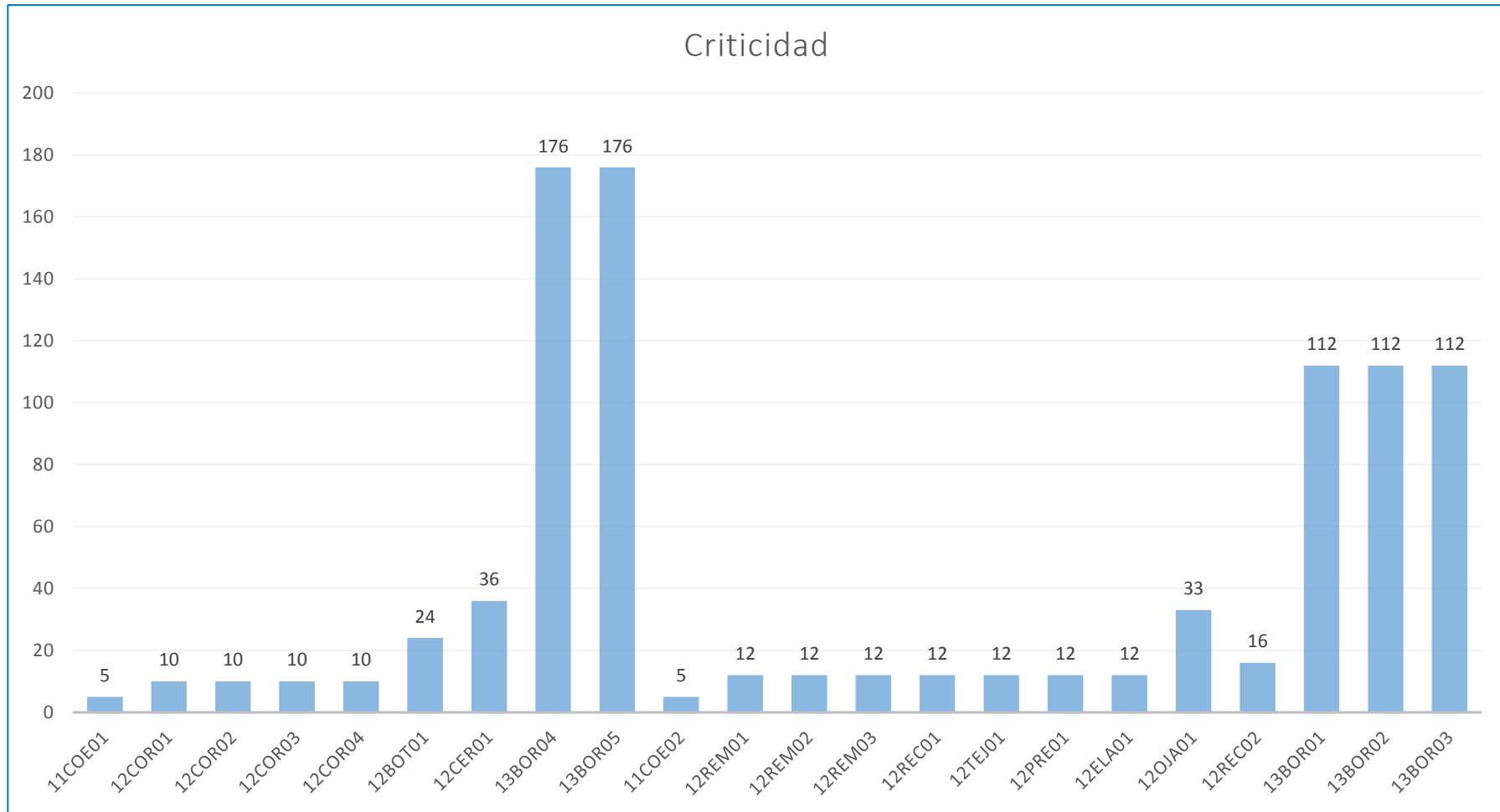
Fuente: Elaboración Propia

El desarrollo de esta encuesta se muestra en la siguiente tabla

**Tabla 5: Cálculo de Criticidad de la Maquinaria de la Asociación AETL.**

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	FREC	IMPACTO	FLEX	COSTO	SEGURIDAD	CONSECUENCIA	CRIT
11COE01	Cortadora eléctrica de Tela	1	2	1	1	2	5	5
12COR01	Cortadora eléctrica de Tela	2	2	1	1	2	5	10
12COR02	Máquina de Costura Recta de Tela	2	2	1	1	2	5	10
12COR03	Máquina de Costura Recta de Tela	2	2	1	1	2	5	10
12COR04	Máquina de Costura Recta de Tela	2	2	1	1	2	5	10
12BOT01	Máquina de Costura Recta de Tela	2	4	2	2	2	12	24
12CER01	Remalladora de Tela	3	4	2	2	2	12	36
13BOR04	Remalladora de Tela	4	10	4	2	2	44	176
13BOR05	Remalladora de Tela	4	10	4	2	2	44	176
11COE02	Recubridora de Tela	1	2	1	1	2	5	5
12REM01	Recubridora de Tela	2	3	1	1	2	6	12
12REM02	Ojaladora de Tela	2	3	1	1	2	6	12
12REM03	Botonera de Tela	2	3	1	1	2	6	12
12REC01	Tejedora de Cuello	2	3	1	1	2	6	12
12TEJ01	Pretinadora de Tela	2	3	1	1	2	6	12
12PRE01	Elastiquera de Tel	2	3	1	1	2	6	12
12ELA01	Cerradora de Pantalones	2	3	1	1	2	6	12
12OJA01	Bordadora de Tela	3	4	2	1	2	11	33
12REC02	Bordadora de Tela	2	2	2	2	2	8	16
13BOR01	Bordadora de Tela	4	6	4	2	2	28	112
13BOR02	Bordadora de Tela	4	6	4	2	2	28	112
13BOR03	Bordadora de Tela	4	6	4	2	2	28	112

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 28: Resumen de Críticidad de Activos Físicos Asociación AETI**

Fuente: Elaboración Propia

La criticidad cuantificada se compara con la matriz de la norma de Norzok Z-008, la cual se muestra en la siguiente tabla

**Tabla 6: Matriz de Criticidad Norma NORZOK Z-008 2001**

F R E C U E N C I A	4	SC	SC	C	C	C
	3	SC	SC	SC	C	C
	2	NC	NC	SC	SC	C
	1	NC	NC	NC	SC	C
			10	20	30	40
		C O N S E C U E N C I A S				

**Leyenda:**

C Crítico

SC Semi - Crítico

NC No Crítico

Valor Máximo: 200

Fuente: Elaboración Propia

De los resultados obtenidos, resulta la siguiente tabla resumen

**Tabla 7: Resumen de Análisis de Criticidad de los Activos Físicos**

CÓDIGO	EQUIPO	CRITICIDAD	NIVEL
11COE01	Cortadora Eléctrica de Tela	5	NC
11COE02	Cortadora Eléctrica de Tela	5	NC
12COR01	Máquina de Costura Recta de Tela	10	NC
12COR02	Máquina de Costura Recta de Tela	10	NC
12COR03	Máquina de Costura Recta de Tela	10	NC
12COR04	Máquina de Costura Recta de Tela	10	NC
12REM01	Remalladora de Tela	12	NC
12REM02	Remalladora de Tela	12	NC
12REM03	Remalladora de Tela	12	NC
12REC01	Recubridora de Tela	12	NC
12REC02	Recubridora de Tela	16	NC
12BOT01	Botonera de Tela	24	SC
12CER01	Cerradora de Pantalones	36	SC
12OJA01	Ojaladora de Tela	33	SC
12TEJ01	Tejedora de Cuello	33	SC
12PRE01	Pretinadora de Tela	33	SC
12ELA01	Elastiquera de Tela	33	SC
13BOR01	Bordadora de Tela	112	C
13BOR02	Bordadora de Tela	112	C
13BOR03	Bordadora de Tela	112	C
13BOR04	Bordadora de Tela	176	C
13BOR05	Bordadora de Tela	176	C

Fuente: Elaboración Propia



### 4.3.3. Indicadores de los Activos Físicos Críticos

Una vez obtenida la criticidad de los equipos, se realizará el análisis de disponibilidad y confiabilidad de las máquinas más críticas, las cuales son las bordadoras. Se usarán las siguientes ecuaciones para el cálculo de estos indicadores: (Cruz Ramos, 2017)

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

Donde:

R (t) = Confiabilidad

e = Constante neperiana = 2.7182

$\lambda$  = Tasa de fallas

t = Tiempo

La disponibilidad de los equipos se calculará siguiendo la siguiente ecuación

$$DISPONIBILIDAD = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR}$$

Donde:

$$TMEF = \text{Tiempo medio entre fallas} = \frac{\text{Tiempo entre fallas}}{\# \text{ de fallas}}$$

$$TMPR = \text{Tiempo medio para reparar} = \frac{\text{Horas perdidas por falla}}{\# \text{ de fallas}}$$

La toma de datos, así como los resultados se presentan en las siguientes tablas:

**Tabla 8: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR01 2018**

Mes	# de Fallas/Mes	Horas de falla/ mes	TMEF (Hrs)	TPR (Hrs)	DISPONIBILIDAD (%)	CONFIABILIDAD (%)
Enero	15	85	10.33	5.67	64.58	79.27
Febrero	17	60	10.59	3.53	75.00	79.72
Marzo	14	80	11.43	5.71	66.67	81.06
Abril	16	75	10.31	4.69	68.75	79.24
Mayo	10	100	14.00	10.00	58.33	84.25
Junio	13	80	12.31	6.15	66.67	82.28
Julio	16	90	9.38	5.63	62.50	77.41
Agosto	12	65	14.58	5.42	72.92	84.83
Septiembre	17	75	9.71	4.41	68.75	78.09
Octubre	15	80	10.67	5.33	66.67	79.85
Noviembre	13	60	13.85	4.62	75.00	84.09
Diciembre	16	85	9.69	5.31	64.58	78.06
<b>Total</b>	<b>174</b>	<b>935</b>		<b>Promedio</b>	<b>67.53</b>	<b>80.68</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 9: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR02 2018**

Mes	# de Fallas/Mes	Horas de falla/ mes	TMEF (Hrs)	TPR (Hrs)	DISPONIBILIDAD (%)	CONFIABILIDAD (%)
Enero	14	80	11.43	5.71	66.67	81.06
Febrero	16	63	11.06	3.94	73.75	80.50
Marzo	13	84	12.00	6.46	65.00	81.87
Abril	15	72	11.20	4.80	70.00	80.71
Mayo	9	105	15.00	11.67	56.25	85.21
Junio	14	80	11.43	5.71	66.67	81.06
Julio	15	95	9.67	6.33	60.42	78.02
Agosto	14	70	12.14	5.00	70.83	82.07
Septiembre	15	90	10.00	6.00	62.50	78.66
Octubre	13	85	11.92	6.54	64.58	81.77
Noviembre	16	70	10.63	4.38	70.83	79.78
Diciembre	18	83	8.72	4.61	65.42	75.95
<b>Total</b>	<b>172</b>	<b>977</b>		<b>Promedio</b>	<b>66.08</b>	<b>80.55</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 10: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR03 2018**

Mes	# de Fallas/Mes	Horas de falla/ mes	TMEF (Hrs)	TPR (Hrs)	DISPONIBILIDAD (%)	CONFIABILIDAD (%)
Enero	18	90	8.33	5.00	62.50	74.98
Febrero	13	75	12.69	5.77	68.75	82.77
Marzo	16	85	9.69	5.31	64.58	78.06
Abril	17	80	9.41	4.71	66.67	77.49
Mayo	13	115	9.62	8.85	52.08	77.91
Junio	12	80	13.33	6.67	66.67	83.53
Julio	17	95	8.53	5.59	60.42	75.47
Agosto	15	75	11.00	5.00	68.75	80.40
Septiembre	17	85	9.12	5.00	64.58	76.86
Octubre	13	70	13.08	5.38	70.83	83.23
Noviembre	13	65	13.46	5.00	72.92	83.67
Diciembre	14	80	11.43	5.71	66.67	81.06
<b>Total</b>	<b>178</b>	<b>995</b>		<b>Promedio</b>	<b>65.45</b>	<b>79.62</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 11: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR04 2018**

Mes	# de Fallas/Mes	Horas de falla/ mes	TMEF (Hrs)	TPR (Hrs)	DISPONIBILIDAD (%)	CONFIABILIDAD (%)
Enero	13	90	11.54	6.92	62.50	81.22
Febrero	20	105	6.75	5.25	56.25	70.08
Marzo	16	95	9.06	5.94	60.42	76.73
Abril	15	85	10.33	5.67	64.58	79.27
Mayo	12	60	15.00	5.00	75.00	85.21
Junio	13	65	13.46	5.00	72.92	83.67
Julio	18	95	8.06	5.28	60.42	74.24
Agosto	15	90	10.00	6.00	62.50	78.66
Septiembre	14	80	11.43	5.71	66.67	81.06
Octubre	12	105	11.25	8.75	56.25	80.79
Noviembre	13	70	13.08	5.38	70.83	83.23
Diciembre	20	90	7.50	4.50	62.50	72.62
<b>Total</b>	<b>181</b>	<b>1030</b>		<b>Promedio</b>	<b>64.24</b>	<b>78.90</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 12: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR05 2018**


Mes	# de Fallas/Mes	Horas de falla/ mes	TMEF (Hrs)	TPR (Hrs)	DISPONIBILIDAD (%)	CONFIABILIDAD (%)
Enero	12	80	13.33	6.67	66.67	83.53
Febrero	18	95	8.06	5.28	60.42	74.24
Marzo	16	80	10.00	5.00	66.67	78.66
Abril	15	75	11.00	5.00	68.75	80.40
Mayo	13	70	13.08	5.38	70.83	83.23
Junio	11	65	15.91	5.91	72.92	86.00
Julio	17	90	8.82	5.29	62.50	76.19
Agosto	15	65	11.67	4.33	72.92	81.41
Septiembre	20	115	6.25	5.75	52.08	68.11
Octubre	17	90	8.82	5.29	62.50	76.19
Noviembre	16	85	9.69	5.31	64.58	78.06
Diciembre	15	80	10.67	5.33	66.67	79.85
<b>Total</b>	<b>185</b>	<b>990</b>		<b>Promedio</b>	<b>65.63</b>	<b>78.82</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4 Paso 2: Establecer Funciones de los Activos Físicos


Una vez elaborado el contexto operativo de la asociación AETI, el paso siguiente es determinar las funciones primarias y secundarias de los activos, los cuales se documentarán en las fichas técnicas de cada activo, los cuales se presentan a continuación.

**Cuadro 7: Ficha Técnica de Maquina Bordadora CNC 13BOR01**

FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA							
Realizado Por:	Medina Villegas, Arnulfo			Fecha:	09/10/2019		
Datos generales del equipo							
Máquina - Equipo	MAQ. BORDADORA		Ubicación	TALLER ILO			
Modelo	BES-940		Sección	COSTURA			
Marca	HAOMEI		Código	13BOR01			
Características Generales con mesa de Trabajo							
Peso	900 Kg	Altura	1.6 mts	Ancho	1.5 mts	Largo	2.5 mts
Características Generales sin mesa de Trabajo							
Peso	700 Kg	Altura	1.6 mts	Ancho	1 mts	Largo	2.5 mts
Características Técnicas				Función Primaria			
Voltaje de Entrada	200 - 240 V	380/440 V		Realizar la operación de bordado computarizado con los 4 cabezales para prendas planas como polos, mamelucos, chalecos, etc. a 500 RPM			
Amperaje	15.2 A						
Potencia	1600 watts						
Motor Principal	Trifásico						
Motor de Bandeja	Motor de paso			Función Secundaria			
Velocidad Máxima de aguja		1000 rpm		Operar de forma segura y sin dañar la materia prima			
Foto del equipo							
							

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 8: Ficha Técnica de Maquina Bordadora CNC 13BOR02**

FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA							
Realizado Por:	Medina Villegas, Arnulfo			Fecha:	09/10/2019		
Datos generales del equipo							
Máquina - Equipo	MAQ. BORDADORA		Ubicación	TALLER ILO			
Modelo	TFMX-IIC-1504-450		Sección	COSTURA			
Marca	TAJIMA		Código	13BOR02			
Características Generales con mesa de Trabajo							
Peso	900 Kg	Altura	1.6 mts	Ancho	1.5 mts	Largo	2.5 mts
Características Generales sin mesa de Trabajo							
Peso	700 Kg	Altura	1.6 mts	Ancho	1 mts	Largo	2.5 mts
Características Técnicas				Función Primaria			
Voltaje de Entrada	200 - 240 V	380/440 V		Realizar la operación de bordado computarizado con los 4 cabezales con 15 agujas para prendas planas como polos, mamelucos, etc. a 500 RPM			
Amperaje	15.2 A						
Potencia	1600 watts			Función Secundaria			
Motor Principal	Trifásico			Operar de forma segura y sin dañar la materia prima			
Motor de Bandeja	Motor de paso						
Velocidad Máxima de aguja		1000 rpm					
Foto del equipo							
							

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 9:Ficha Técnica de Maquina Bordadora CNC 13BOR03**

FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA							
Realizado Por:	Medina Villegas, Arnulfo			Fecha:	09/10/2019		
Datos generales del equipo							
Máquina - Equipo	MAQ. BORDADORA			Ubicación	TALLER ILO		
Modelo	DSC904-4			Sección	COSTURA		
Marca	DISEN			Código	13BOR03		
Características Generales con mesa de Trabajo							
Peso	900 Kg	Altura	1.6 mts	Ancho	1.5 mts	Largo	2.6 mts
Características Generales sin mesa de Trabajo							
Peso	700 Kg	Altura	1.6 mts	Ancho	1.3 mts	Largo	1.7 mts
Características Técnicas				Función Primaria			
Voltaje de Entrada	200 - 240 V	380/440 V		Realizar la operación de bordado computarizado con los 4 cabezales para prendas planas como polos, mamelucos, chalecos, etc. a 500 RPM			
Amperaje	15.2 A						
Potencia	1600 watts			Función Secundaria			
Motor Principal	Trifásico			Operar de forma segura y sin dañar la materia prima			
Velocidad Máxima de Aguja	1000 rpm						
Foto del equipo							
							

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 10: Ficha Técnica de Máquina Bordadora CNC 13BOR04**

FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA							
Realizado Por:		Medina Villegas, Arnulfo			Fecha:		09/10/2019
Datos generales del equipo							
Máquina - Equipo		MAQ. BORDADORA		Ubicación		TALLER ILO	
Modelo		TFMX-IIC-1508-450		Sección		COSTURA	
Marca		TAJIMA		Código		13BOR04	
Características Generales con mesa de Trabajo							
Peso	900 Kg	Altura	1.6 mts	Ancho	1.5 mts	Largo	5 mts
Características Generales sin mesa de Trabajo							
Peso	700 Kg	Altura	1.6 mts	Ancho	1 mts	Largo	5 mts
Características Técnicas				Función Primaria			
Voltaje de Entrada	200 - 240 V	380/440 V		Realizar la operación de bordado computarizado con los 8 cabezales para prendas planas como polos, mamelucos, chalecos, etc. a 500 RPM			
Amperaje	15.2 A						
Potencia	1600 watts						
Motor Principal	Trifásico						
Motor de Bandeja	Motor de paso						
Velocidad Máxima de aguja		1000 rpm		Función Secundaria			
				Operar de forma segura y sin dañar la materia prima			
Foto del equipo							
							

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 11:Ficha Técnica de Maquina Bordadora CNC 13BOR05**

FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA							
Realizado Por:		Medina Villegas, Arnulfo			Fecha:		09/10/2019
Datos generales del equipo							
Máquina - Equipo		MAQ. BORDADORA		Ubicación		TALLER ILO	
Modelo		-		Sección		COSTURA	
Marca		DAMEI		Código		13BOR05	
Características Generales con mesa de Trabajo							
Peso	900 Kg	Altura	1.6 mts	Ancho	1.5 mts	Largo	5 mts
Características Generales sin mesa de Trabajo							
Peso	700 Kg	Altura	1.6 mts	Ancho	1 mts	Largo	5 mts
Características Técnicas				Función Primaria			
Voltaje de Entrada	200 - 240 V	380/440 V		Realizar la operación de bordado computarizado con los 8 cabezales para prendas planas como polos, mamelucos, chalecos, etc. a 500 RPM			
Amperaje	15.2 A						
Potencia	1600 watts			Función Secundaria			
Motor Principal	Trifásico			Operar de forma segura y sin dañar la materia prima			
Motor de Bandeja	Motor de paso						
Velocidad Máxima de aguja		1000 rpm					
Foto del equipo							
							

Fuente: Elaboración Propia



#### **4.5 Paso 3: Determinar los Sistemas de Activos Físicos**

Una vez identificado los activos físicos críticos, se procederá a la descomposición de dichos activos en sus componentes, siendo estas la parte 7, 8 y 9 según la norma ISO 14224, siendo los activos críticos las maquinas bordadoras CNC de 4 cabezales y 8 cabezales.

- Bordadora CNC de 04 cabezales, los cuales corresponden a las máquinas 13BOR02, 13BOR03 y 13BOR04.
- Bordadora CNC de 08 cabezales, los cuales corresponden a las máquinas 13BOR05 y 13BOR06

La cantidad de activos físicos críticos y sus subsistemas son los siguientes:

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>03 BORDADORAS DE 4 CABEZALES</b></li><li>• 01 BANCADA</li><li>• 04 GANCHOS ROTATIVOS</li><li>• 04 BRAZOS DE PUNTADA</li><li>• 04 CABEZALES DE AGUJAS</li><li>• 01 CAMBIO DE COLOR DE HILO</li><li>• 01 SISTEMA DE TRANSMISIÓN</li><li>• 01 SISTEMA DE LEVAS</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>02 BORDADORAS DE 8 CABEZALES</b></li><li>• 01 BANCADA</li><li>• 08 GANCHOS ROTATIVOS</li><li>• 08 BRAZOS DE PUNTADA</li><li>• 08 CABEZALES DE AGUJAS</li><li>• 01 CAMBIO DE COLOR DE HILO</li><li>• 01 SISTEMA DE TRANSMISIÓN</li><li>• 01 SISTEMA DE LEVAS</li></ul> |
|--|--|

#### **4.6 Paso 4: Identificación de los Estados De Fallo**

Se tomarán las funciones descritas en los activos físicos críticos, siendo estas las primarias y secundarias, y de requerir más específico se lo hará en este punto.

Este análisis se realizará por activo físico, y por sistema. Para una bordadora de 4 cabezales y para 8 cabezales.

**Cuadro 12: Estados de Falla de Bordadora CNC**

FUNCIÓN DE ACTIVO	SISTEMA	FUNCIONES SISTEMA	ESTADOS DE FALLA
Realizar la operación bordado a 500 rpm con 04 cabezales	BANCADA Y MESA	1 Soportar los mecanismos y elementos que conforman la bordadora para poder realizar el bordado a 500 rpm con 4 cabezales	A Incapaz de soportar los mecanismos y elementos
			B Maquina Inestable
	CAJA DE TRANSMISIÓN	2 Realizar la transmisión del motor eléctrico al eje principal de movimiento de la bordadora CNC para que pueda trabajar a 500 RPM	A No se puede realizar la transmisión desde el motor eléctrico al eje principal
			B Incapaz de realizar el movimiento del motor para producir 500 rpm
			C La transmisión no es constante
	GANCHO ROTATIVO	3 Realizar el corte de hilo de a 500 RPM	A Incapaz de realizar el corte de hilo
	CAMBIO DE COLOR DE HILO	4 Realizar el cambio automático de hilo en la maquina bordadora CNC de 4 cabezales automáticamente a 500 rpm	A Incapaz de realizar el cambio automático de hilo
			B Realiza el cambio de hilo, pero no en la secuencia correcta
			C Realiza el cambio de hilo, pero no de todos los cabezales
	MECANISMO DE AGUJA	5 Transmitir el movimiento del sistema de levas a la aguja del cabezal de la a 500 RPM bordadora CNC	A Incapaz de transmitir el movimiento del eje principal al cabezal de la bordadora
			B La transmisión no es constante
	SISTEMA DE LEVAS DE BRAZO DE AGUJA	6 Transmitir el movimiento del eje principal al mecanismo de aguja a 500 RPM	A Incapaz de transmitir el movimiento del eje principal al mecanismo de aguja
			B La transmisión no es constante en los tiempos de trabajo
	SISTEMA DE BARRA DE AGUJAS	7 Realizar el proceso de bordado a 500 RPM	A Incapaz de transmitir el movimiento del eje principal al mecanismo de aguja
		B La transmisión no es constante	

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.7 Paso 5: Identificación de los Modos de Fallas

Una vez establecidos y codificados los efectos de fallas, se procederá a la identificación de los modos de falla de estos efectos en las bordadoras CNC de 04 y 08 cabezales, para los cuales se procederá su desarrollo en las siguientes tablas.

Por cada estado de falla de cada sistema del activo físico, describiremos sus modos de falla, los cuales serán su tipo de modo de falla, entre desgaste, diseño y error humano, y su mecanismo de falla, siendo esta falla del componente o razón de que ocurra la causa de falla.

**Cuadro 13: Modo de Fallas del Sistema de Mesa y Bancada**

ESTADO DE FALLA	TIPO DE FALLA	MODO DE FALLA
Incapaz de soportar los mecanismos y elementos	Desgaste	Rotura de bancada
		Rotura de la mesa de trabajo
	Diseño	Material mal seleccionado para su diseño
	Error Humano	Mal montaje de la mesa y bancada
Maquina Inestable	Desgaste	Fractura del elástico antivibración
		Fractura de Bancada
		Rotura de Mesa de Trabajo
	Diseño	Material mal seleccionado para su diseño
		Mal dimensionamiento de elementos y mecanismos del activo físico
	Error Humano	Mal montaje de la bancada
Suciedad acumulada, Suciedad Acumulada de la bancada y mesa		

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 14: Modo de Fallas del Sistema de Caja de Transmisión**

ESTADO DE FALLA	TIPO DE FALLA	MODO DE FALLA
No se puede realizar la transmisión desde el motor eléctrico al eje principal	Desgaste	Rotura del eje de transmisión
		Rotura de Faja Sincronizadora
		Rotura de Rodamientos
		Rotura de Poleas Sincronizadoras
	Diseño	Material no adecuado
		Dimensiones Inadecuadas de los elementos
	Error Humano	Suciedad Acumulada
		Falta de lubricación
		Exceso de Lubricación
		Montaje Inadecuado de los Componentes
Incapaz de realizar el movimiento del motor para producir 500 rpm	Desgaste	Rotores Desgastado
		Estator Desgastado
		Fusibles desgastados
	Diseño	Motor no adecuado para la potencia requerida
	Error humano	Falta de cambio de fusibles
		Conectar a una alimentación no adecuado
La transmisión no es constante	Desgaste	Rotura de Rodamientos
		Rotura de Eje de transmisión
		Fractura de Poleas Sincronizadoras
		Fractura de Faja de Transmisión
	Diseño	Material no adecuado de Faja de Sincronización
		Dimensión no adecuada de faja de sincronización
	Error Humano	Suciedad Acumulada por Suciedad Acumulada
		Falta de Lubricación
		Exceso de Lubricación

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 15: Modo de Fallas del Sistema de Gancho Rotativo**

ESTADO DE FALLA	TIPO DE FALLA	MODO DE FALLA
Incapaz de realizar el corte de hilo	Desgaste	Rotura de Eje de Gancho
		Rotura de Rodamientos
		Pandeo del Eje
		Gancho en mal estado
	Diseño	Material Inadecuado
		Dimensiones Inadecuadas
	Error Humano	Suciedad Acumulada
		Falta de Lubricación
		Exceso de Lubricación
		Montaje Inadecuado de los Componentes

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 16: Modo de Fallas del Sistema de Cambio de Color de Hilo**

ESTADO DE FALLA	TIPO DE FALLA	MODO DE FALLA
Incapaz de realizar el cambio automático de hilo	Desgaste	Rotura de Eje de Cambio de Color de Hilo
		Fractura de Rodamiento
		Rotura de Engranés
		Rotores Desgastados
	Diseño	Estator Desgastado
		Dimensiones Inadecuadas
	Error Humano	Material Inadecuado
		Montaje Inadecuado
Realiza el cambio de hilo, pero no en la secuencia correcta	Alimentación de una Fuente No Adecuada	
	Desgaste	Fractura de las Guías
	Diseño	Dimensiones Inadecuadas
	Error Humano	Suciedad Acumulada
		Falta de Lubricación
Exceso de Lubricación		
Realiza el cambio de hilo, pero no de todos los cabezales	Desgaste	Pandeo de las guías
	Diseño	Dimensiones Inadecuadas
	Error Humano	Suciedad Acumulada
		Falta de Lubricación
		Exceso de Lubricación

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 17: Modo de Fallas del Sistema de Mecanismo de Aguja**

ESTADO DE FALLA	TIPO DE FALLA	MODO DE FALLA
Incapaz de transmitir el movimiento del eje principal al cabezal de la bordadora	Desgaste	Rotura de Eje
		Rotura de Rodamientos
		Rotura de Engranés
	Diseño	Dimensiones Inadecuadas
		Material Inadecuado
	Error Humano	Montaje Inadecuado
La transmisión no es constante	Desgaste	Rotura de Eje
	Diseño	Dimensiones Inadecuadas
	Error Humano	Suciedad Acumulada
		Falta de Lubricación
		Exceso de Lubricación

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 18: Modo de Fallas del Sistema de Levas de Brazo de Aguja**

<b>ESTADO DE FALLA</b>	<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>MODO DE FALLA</b>
Incapaz de transmitir el movimiento del eje principal al mecanismo de aguja	Desgaste	Rotura de Eje
		Rotura de Rodamientos
		Fractura de Levas
	Diseño	Dimensiones Inadecuadas
		Material Inadecuado
	Error Humano	Montaje Inadecuado
La transmisión no es constante en los tiempos de trabajo	Desgaste	Pandeo de Eje
	Diseño	Dimensiones Inadecuadas
	Error Humano	Suciedad Acumulada
		Falta de Lubricación
		Exceso de Lubricación

**Fuente:** Elaboración Propia

**Cuadro 19: Modo de Fallas del Sistema de Barra de Agujas**

<b>ESTADO DE FALLA</b>	<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>MODO DE FALLA</b>
Incapaz de transmitir el movimiento del eje principal al mecanismo de aguja	Desgaste	Rotura de Eje de Barra de aguja
		Rotura de Rodamientos
		Fractura de Levas
	Diseño	Dimensiones Inadecuadas
		Material Inadecuado
	Error Humano	Montaje Inadecuado
La transmisión no es constante	Desgaste	Pandeo de Eje
	Diseño	Dimensiones Inadecuadas
	Error Humano	Suciedad Acumulada
		Falta de Lubricación

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.8 Paso 6: Identificación de los Efectos de Fallas

Una vez identificados los modos de fallas de los sistemas de los activos físicos críticos de la Asociación AETI, identificaremos los efectos de estos y como estos interfieren con la producción y operatividad de estos.

**Cuadro 20: Efectos de Falla del Sistema de Bancada y Mesa**

<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFEECTO DE FALLA</b>
Rotura de bancada	Reducción de las RPM del equipo
Rotura de la mesa de trabajo	Deterioro más rápido de los elementos cubiertos por la mesa de trabajo
Mal diseño de los elementos	Deterioro de los elementos debido a las altas vibraciones
	No proporciona la integridad necesaria para trabajar a 500 Rpm
Mal dimensionamiento de elementos	Parada total de actividades del equipo
Mal montaje de la bancada	Parada Total de actividades del equipo
Suciedad acumulada, Suciedad Acumulada de la bancada y mesa	Obstrucción de áreas de inspección, daño en el material de producción

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 21: Efectos de Falla del Sistema de Transmisión**

<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFEECTO DE FALLA</b>
Rotura del eje	Parada total del activo
Rotura de Faja Sincronizadora	Parada total del activo
Dimensión no adecuada de faja de sincronización	La faja no permite transmitir los RPM nominales
Elementos mal dimensionados	Parada total del activo
Suciedad Acumulada	Obstrucciones en el mecanismo por suciedad
Falta de lubricación	Deformación y esfuerzos de los componentes
Exceso de Lubricación	Daño del material de producción
Rotor o Estator desgastados	Irregularidades en los Rpm del motor
Fusibles desgastados	Equipo no puede realizar actividad
Motor mal seleccionado	Motor no entrega la potencia requerida
Falta de cambio de fusibles	Equipo no puede realizar actividad
Conectar a un voltaje no adecuado	Equipo no puede realizar actividad
Deterioro de Rodamientos	Los RPM del equipo son irregulares y no permite trabajar a su revolución nominal
Deterioro de Faja de Transmisión	La faja no transmite los RPM nominales
Faja mal seleccionada	La faja no trasmite los RPM nominales
Suciedad Acumulada por Suciedad Acumulada	Obstrucción del movimiento de la faja debido a acumulación de polvo y otras partículas
Falta de Lubricación	Deformación y esfuerzos de los componentes
Exceso de Lubricación	Daño del material de producción

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 22: Efectos de Falla del Sistema de Gancho Rotativo**

<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA</b>
Rotura de Eje	Parada total del activo
Rotura de Rodamientos	Parada total del activo
Rotura de bujes	Parada total del activo
Material Inadecuado	No permite la transmisión constante de RPM nominal
Dimensiones Inadecuadas	No permite la transmisión constante de RPM nominal
Montaje inadecuado	Parada Total de actividades del equipo
Pandeo del Eje	Los RPM del equipo son irregulares
Gancho en mal estado	No permite realizar la función del cabezal correctamente, roturas de hilos
Dimensiones Inadecuadas	Los elementos instalados no cumplen con las dimensiones necesarias para que realicen sus funciones
Suciedad Acumulada	Obstrucción del movimiento
Falta de Lubricación	Deformación y esfuerzos de los componentes
Exceso de Lubricación	Daño del material de producción

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 23: Efectos de Falla del Sistema de Cambio de Color de Hilo**

<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA</b>
Rotura de Eje	Parada total del activo
Fractura de Rodamiento	Parada total del activo
Rotura de Engranés	Parada total del activo
Material Inadecuado	No permite la transmisión constante de RPM nominal
Dimensiones Inadecuadas	No permite la transmisión constante de RPM nominal
Montaje Inadecuado	Parada Total de actividades del equipo
Rotor y Estator dañados	Irregularidades en los Rpm del motor
Dimensiones Inadecuadas	Los elementos instalados no cumplen con las dimensiones necesarias para que realicen sus funciones
Conexión a una fuente no adecuada	Equipo no puede realizar actividad
Pandeo del eje principal	Los RPM del equipo son irregulares
Dimensiones Inadecuadas	Los elementos instalados no cumplen con las dimensiones necesarias para que realicen sus funciones
Suciedad Acumulada	Obstrucción del movimiento de el gancho debido a acumulación de polvo y otras partículas
Falta de Lubricación	Deformación y esfuerzos de los componentes
Exceso de Lubricación	Daño del material de producción
Pandeo de las guías	Los RPM del equipo son irregulares
Dimensiones Inadecuadas	Los elementos instalados no cumplen con las dimensiones necesarias para que realicen sus funciones
Suciedad Acumulada	Obstrucción del movimiento
Falta de Lubricación	Deformación y esfuerzos de los componentes
Exceso de Lubricación	Daño del material de producción

Fuente: Elaboración Propia



**Cuadro 24: Efectos de Falla del Sistema de Mecanismo de Aguja**

<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFEECTO DE FALLA</b>
Rotura de Eje	Parada total del cabezal
Rotura de Rodamientos	Parada total del cabezal
Rotura de Engranés	Parada total del cabezal
Dimensiones Inadecuadas	Los elementos instalados no cumplen con las dimensiones necesarias para que realicen sus funciones de cabezal
Montaje Inadecuado	No permite la transmisión constante de RPM nomina hacia el cabezal
	Parada Total de actividades del equipo
Pandeo de las guías	Los RPM del equipo son irregulares y no permite trabajar a su revolución nominal
Dimensiones Inadecuadas	Los elementos instalados no cumplen con las dimensiones necesarias para que realicen sus funciones
Suciedad Acumulada	Obstrucción del movimiento de el gancho debido a acumulación de polvo y otras partículas
Falta de Lubricación	Deformación y esfuerzos de los componentes
Exceso de Lubricación	Daño del material de producción

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 25: Efectos de Falla del Sistema de Levas de Brazo de Aguja**

<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFEECTO DE FALLA</b>
Rotura de Eje	Parada total del cabezal
Rotura de Rodamientos	Parada total del cabezal
Rotura de Engranés	Parada total del cabezal
Dimensiones Inadecuadas	Los elementos instalados no cumplen con las dimensiones necesarias para que realicen sus funciones de cabezal
Material Inadecuado	No permite la transmisión constante de RPM nomina hacia el cabezal
Montaje Inadecuado	Parada Total de actividades del equipo
Pandeo de Eje	Los RPM del equipo son irregulares y no permite trabajar a su revolución nominal
Dimensiones Inadecuadas	Los elementos instalados no cumplen con las dimensiones necesarias para que realicen sus funciones de cabezal
Suciedad Acumulada	Obstrucción del movimiento de el gancho debido a acumulación de polvo y otras partículas
Falta de Lubricación	Deformación y esfuerzos de los componentes

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 26: Efectos de Falla del Sistema de Barra de Aguja**

<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFEECTO DE FALLA</b>
Rotura de Eje	Parada total del cabezal
Rotura de Rodamientos	Parada total del cabezal
Rotura de Engranajes	Parada total del cabezal
Dimensiones Inadecuadas	Los elementos instalados no cumplen con las dimensiones necesarias para que realicen sus funciones de cabezal
Material Inadecuado	No permite la transmisión constante de RPM nominal hacia el cabezal
Montaje Inadecuado	Parada Total de actividades del equipo
Pandeo de Eje	Los RPM del equipo son irregulares y no permite trabajar a su revolución nominal
Dimensiones Inadecuadas	Los elementos instalados no cumplen con las dimensiones necesarias para que realicen sus funciones de cabezal
Suciedad Acumulada	Obstrucción del movimiento de el gancho debido a acumulación de polvo y otras partículas
Falta de Lubricación	Deformación y esfuerzos de los componentes

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.9 Paso 7: Evaluar el Riesgo de los Activos Físicos**

El análisis de modo de falla y efecto FMEA busca la priorización de los modos de falla de un sistema o activo con una meta final específica de asignar los activos accesibles y restringidos a los peligros más genuinos. En general, la prioridad es determinar a través del número de parámetro de riesgo RPN, el cual se logra al multiplicar los siguientes indicadores:

- Consecuencia (C): Evalúa la significación del efecto que riesgo cuando ocurra algún riesgo potencial. La puntuación de la consecuencia es evaluada según el efecto del impacto causado por el modo de fallo.
- Probabilidad (P): Estima la frecuencia que el riesgo potencial pueda ocurrir para alguna situación o sistema. La puntuación de probabilidad se evalúa según la probabilidad que el impacto ocurra debido al modo de fallo.

- Detección (D): es la probabilidad que la falla sea detectada antes de que el impacto de dicha falla en el sistema o procesos sea detectado. El puntaje se evalúa según la capacidad de detección de las consecuencias de los modos de fallos.
- Numero de Parámetro de Riesgo (RPN): Es el resultado de los tres indicadores utilizados cuando se evalúa el riesgo en la identificación de modos de falla:

$$RPN = \text{Consecuencia } (C) \times \text{Probabilidad } (P) \times \text{Detección } (D)$$

Los tres factores de riesgo son evaluados usando una escala de 10 puntos. Los modos de fallos con un valor alto de RPN son asumidos como los más peligrosos, los cuales requieren una intervención urgente para reducir los valores de RPN.

Los niveles de riesgo se distribuirán según el siguiente cuadro

**Tabla 13: Criterio de Consecuencia**

Nº DE CONSECUENCIA	DESCRIPCIÓN DE LA CONSECUENCIA	ESCALA DE RIESGO
1	Sin Consecuencia	1
2	Consecuencia bastante menor	2
3	Consecuencia menor	3
4	Consecuencia bastante bajo	4
5	Consecuencia Bajo	5
6	Consecuencia moderada	6
7	Consecuencia alto	7
8	Consecuencia Bastante Alta	8
9	Con alerta de peligro	9
10	Sin alerta de peligro	10

**Fuente:** (Balaraju, Gobinda Raj, & Murthy, 2020)

**Tabla 14: Criterio de Probabilidad**

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	FALLA	ESCALA DE RIESGO
Raramente ocurre	1E-06	1
Muy baja probabilidad que ocurra	1E-05	2
Baja probabilidad que ocurra	0.0001	3
Probabilidad moderada: 1 en 2000	0.0005	4
Probabilidad moderada: 1 en 400	0.0025	5
Probabilidad moderada: 1 en 80	0.00125	6
Alta probabilidad: 1 en 20	0.05	7
Alta probabilidad: 1 en 8	0.125	8
Muy alta probabilidad: 1 en 3	0.25	9
Muy alta probabilidad: 1 en 2	0.5	10

Fuente: (Balaraju, Gobinda Raj, & Murthy, 2020)

**Tabla 15: Criterio de Detección**

PROBABILIDAD DE DETECCIÓN	ESCALA DE DETECCIÓN	PUNTAJE DE DETECCIÓN
Casi seguro	1	1
Muy alto	0.5	2
Alto	0.25	3
Moderadamente Alto	0.125	4
Moderado	0.05	5
Bajo	0.0125	6
Muy Bajo	0.0025	7
Remotamente	0.0005	8
Muy remotamente	0.0001	9
Absolutamente incierto	0	10

Fuente: (Balaraju, Gobinda Raj, & Murthy, 2020)

Con esta tabla desarrollaremos la siguiente matriz de riesgo la cual se presentará en la siguiente tabla:

**Tabla 16: Evaluación de Riesgo del Sistema de Bancada y Mesa**

MODO DE FALLA	DESCRIPCIÓN DEL EFECTO	CAUSAS POTENCIALES	INDICADORES DE RIESGO			
			C	P	D	RPN
Rotura de bancada	Reducción de las RPM del equipo	Desgaste del Material, Sobre esfuerzos, vibración	6	2	3	36
Rotura de la mesa de trabajo	Deterioro más rápido de los elementos cubiertos por la mesa de trabajo	Operación errónea del activo, sobre esfuerzos, vibraciones	6	3	3	54
Material no adecuado	Deterioro más rápido de los elementos	selección de material de estructura errónea.	5	3	4	60
Material no adecuado	No proporciona la integridad necesaria para trabajar a 500 Rpm	selección de material de estructura errónea.	5	3	4	60
Dimensiones Inadecuadas de los elementos	Parada total de actividades del equipo	Diseño y toma de mediciones de los elementos erróneos	8	2	2	32
Montaje inadecuado	Parada Total de actividades del equipo	Falta de conocimiento del proceso de montaje	8	2	3	48
Suciedad Acumulada	Obstrucción de áreas de inspección, daño en el material de producción	Falta de Limpieza	6	7	2	84

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 17: Evaluación de Riesgo del Sistema de Transmisión**

MODO DE FALLA	DESCRIPCIÓN DEL EFECTO	CAUSAS POTENCIALES	INDICADORES DE RIESGO			
			C	P	D	RPN
Rotura del eje	Parada total del activo	Sobre esfuerzo en el eje de transmisión, desgaste del eje de transmisión	8	4	6	192
Rotura de Faja Sincronizadora	Parada total del activo	Sobre esfuerzo en la faja sincronizadora, desgaste de la faja sincronizadora	8	5	4	160
Material no adecuado	Deterioro más rápido de los elementos	Diseño y selección de material de estructura errónea.	7	5	7	245
Dimensiones Inadecuadas de los elementos	Parada total del activo	Diseño y toma de mediciones de los elementos erróneos	8	5	7	280
Falta de lubricación	Esfuerzos de los componentes	Falta de conocimiento de la aplicación de lubricación	7	7	8	392
Exceso de Lubricación	Daño del material de producción	Falta de conocimiento de la aplicación de lubricación	5	7	8	280
Rotor o Estator Desgastados	Irregularidades en los Rpm del motor	Sobre esfuerzos del motor, desgaste en carbones	6	4	6	144
Fusibles desgastados	Equipo no puede realizar actividad	Corriente eléctrica elevada	6	4	2	48
Esfuerzo de Motor	Motor no entrega la potencia requerida	Mala selección del motor previo al montaje	7	3	3	63
Falta de cambio de fusibles	Equipo no puede realizar actividad	Mantenimiento realizado erróneamente	6	3	2	36
Alimentación no adecuada	Equipo no puede realizar actividad	Falta de conocimiento del tipo de voltaje y amperaje requerido	6	3	1	18
Desgaste de Rodamientos	Los RPM del equipo son irregulares	Rodamientos dañados o desgastados	4	4	3	48
Desgaste de Faja de Transmisión	La faja no permite transmitir los RPM nominales	Cristalización de la faja, deformación	4	4	3	48
Suciedad Acumulada	Obstrucción del movimiento	Falta de Limpieza	6	7	2	84

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 18: Evaluación de Riesgo del Sistema de Gancho**

MODO DE FALLO	DESCRIPCIÓN DEL EFECTO	CAUSAS POTENCIALES	INDICADORES DE RIESGO			
			C	P	D	RPN
Rotura de Eje	Parada total del activo	Sobre esfuerzos, desgaste del material	6	5	5	150
Rotura de Rodamientos	Parada total del activo	Sobre esfuerzos, desgaste del material	6	5	6	180
Rotura de bujes	Parada total del activo	Sobre esfuerzos, desgaste del material	6	4	7	168
Material Inadecuado	No permite la transmisión constante de RPM nominal	Selección errónea de la faja de transmisión	5	4	5	100
Montaje inadecuado	Parada Total de actividades del equipo	Falta de conocimiento del proceso de montaje	6	6	7	252
Pandeo del Eje	Los RPM del equipo son irregulares y no permite trabajar a su revolución nominal	Sobre esfuerzos en el eje	4	4	3	48
Gancho en mal estado	No permite realizar la función del cabezal correctamente, roturas de hilos	Desgaste del gancho, mala calibración	4	5	5	100
Dimensiones Inadecuadas de los elementos	No permite la transmisión constante de RPM nominal	Toma de dimensiones erróneas	5	3	5	75
	Los elementos instalados no cumplen con las dimensiones necesarias para que realicen sus funciones	Mala selección y toma de datos de los elementos a adquirir.	4	7	5	140
Suciedad Acumulada	Obstrucción del movimiento de el gancho	Falta de conocimiento de las actividades de limpieza del activo	6	7	2	84
Falta de Lubricación	Deformación y esfuerzos de los componentes	Falta de conocimiento de la aplicación de lubricación al sistema	7	7	8	392
Exceso de Lubricación	Daño del material de producción	Falta de conocimiento de la aplicación de lubricación al sistema	5	7	8	280

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 19: Evaluación de Riesgo del Sistema de Cambio de Color de Hilo**

MODO DE FALLA	DESCRIPCIÓN DEL EFECTO	CAUSAS POTENCIALES	INDICADORES DE RIESGO			
			C	P	D	RPN
Rotura de Eje	Parada total del activo	Desgaste del elemento, sobre esfuerzos	8	4	7	224
Rotura de Rodamientos	Parada total del activo	Desgaste del elemento, sobre esfuerzos	8	4	8	256
Rotura de Engranajes	Parada total del activo	Desgaste del elemento, sobre esfuerzos	8	4	8	256
Material Inadecuado	No permite la transmisión constante de RPM nominal	Selección errónea de la faja de transmisión	8	4	5	160
Dimensiones Inadecuadas	No permite la transmisión constante de RPM nominal	Toma de dimensiones erróneas	8	3	5	120
Montaje Inadecuado	Parada Total de actividades del equipo	Falta de conocimiento del proceso de montaje	6	6	7	252
Rotor y Estator dañados	Irregularidades en los Rpm del motor	Sobre esfuerzos del motor, desgaste en carbones	6	4	6	144
Alimentación no adecuada	Equipo no puede realizar actividad	Falta de conocimiento del tipo de voltaje y amperaje requerido	6	3	1	18
Pandeo del Eje	Los RPM del equipo son irregulares	Sobre esfuerzos en el eje	4	4	3	48
Pandeo de las guías	Los RPM del equipo son irregulares	Sobre esfuerzos en las guías	4	4	3	48
Suciedad Acumulada	Obstrucción del movimiento	Falta de Limpieza	6	7	2	84
Falta de Lubricación	Deformación y esfuerzos de los componentes	Falta de conocimiento de la aplicación de lubricación	7	7	8	392
Exceso de Lubricación	Daño del material de producción	Falta de conocimiento de la aplicación de lubricación	5	7	8	280

Fuente: Elaboración Propia



**Tabla 20: Evaluación de Riesgo del Sistema de Mecanismo de Aguja**

MODO DE FALLA	DESCRIPCIÓN DEL EFECTO	CAUSAS POTENCIALES	INDICADORES DE RIESGO			
			C	P	D	RPN
Rotura de Eje	Parada total del cabezal	Desgaste del elemento, sobre esfuerzos	4	4	7	112
Rotura de Rodamientos	Parada total del cabezal	Desgaste del elemento, sobre esfuerzos	4	4	8	112
Rotura de Engranajes	Parada total del cabezal	Desgaste del elemento, sobre esfuerzos	4	4	8	112
Dimensiones Inadecuadas	Los elementos instalados no cumplen con las dimensiones necesarias para que realicen sus funciones de cabezal	Mala selección y toma de datos de los elementos a adquirir.	4	7	5	140
Material Inadecuado	No permite la transmisión constante de RPM nomina hacia el cabezal	Selección errónea de los elementos del cabezal	4	4	5	80
Montaje Inadecuado	Parada Total de actividades del equipo	Falta de conocimiento del proceso de montaje	6	6	7	252
Pandeo de las guías	Los RPM del equipo son irregulares	Sobre esfuerzos en las guías	4	4	3	48
Suciedad Acumulada	Obstrucción del movimiento de el gancho	Falta de conocimiento de las actividades de limpieza del activo	6	7	2	84
Falta de Lubricación	Deformación y esfuerzos de los componentes	Falta de conocimiento de la aplicación de lubricación	7	7	8	392
Exceso de Lubricación	Daño del material de producción	Falta de conocimiento de la aplicación de lubricación al sistema	5	7	8	280

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 21: Evaluación de Riesgo del Sistema de Levas de Brazo de Aguja**

MODO DE FALLA	DESCRIPCIÓN DEL EFECTO	CAUSAS POTENCIALES	INDICADORES DE RIESGO			
			C	P	D	RPN
Rotura de Eje	Parada total del cabezal	Desgaste del elemento, sobre esfuerzos	4	4	7	112
Rotura de Rodamientos	Parada total del cabezal	Desgaste del elemento, sobre esfuerzos	4	4	8	112
Rotura de Engranés	Parada total del cabezal	Desgaste del elemento, sobre esfuerzos	4	4	8	112
Material Inadecuado	No permite la transmisión constante de RPM nomina hacia el cabezal	Selección errónea de los elementos del cabezal	4	4	5	80
Montaje Inadecuado	Parada Total de actividades del equipo	Falta de conocimiento del proceso de montaje	6	6	7	252
Pandeo de Eje	Los RPM del equipo son irregulares y no permite trabajar a su revolución nominal	Sobre esfuerzos en las guías	4	4	3	48
Dimensiones Inadecuadas	Los elementos instalados no cumplen con las dimensiones necesarias para que realicen sus funciones de cabezal	Mala selección y toma de datos de los elementos a adquirir.	4	7	5	140
Suciedad Acumulada	Obstrucción del movimiento de el gancho debido a acumulación de polvo y otras partículas	Falta de conocimiento de las actividades de limpieza del activo	6	7	2	84
Falta de Lubricación	Deformación y esfuerzos de los componentes	Falta de conocimiento de la aplicación de lubricación al sistema	7	7	8	392

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 22: Evaluación de Riesgo del Sistema de Barra de Aguja**

MODO DE FALLA	DESCRIPCIÓN DEL EFECTO	CAUSAS POTENCIALES	INDICADORES DE RIESGO			
			C	P	D	RPN
Rotura de Eje	Parada total del cabezal	Desgaste del elemento, sobre esfuerzos	4	4	7	112
Rotura de Rodamientos	Parada total del cabezal	Desgaste del elemento, sobre esfuerzos	4	4	8	112
Rotura de Engranajes	Parada total del cabezal	Desgaste del elemento, sobre esfuerzos	4	4	8	112
Material Inadecuado	No permite la transmisión constante de RPM nomina hacia el cabezal	Selección errónea de los elementos del cabezal	4	4	5	80
Montaje Inadecuado	Parada Total de actividades del equipo	Falta de conocimiento del proceso de montaje	6	6	7	252
Pandeo de Eje	Los RPM del equipo son irregulares y no permite trabajar a su revolución nominal	Sobre esfuerzos en las guías	4	4	3	48
Dimensiones Inadecuadas	Los elementos instalados no cumplen con las dimensiones necesarias para que realicen sus funciones de cabezal	Mala selección y toma de datos de los elementos a adquirir.	4	7	5	140
Suciedad Acumulada	Obstrucción del movimiento de el gancho debido a acumulación de polvo y otras partículas	Falta de conocimiento de las actividades de limpieza del activo	6	7	2	84
Falta de Lubricación	Deformación y esfuerzos de los componentes	Falta de conocimiento de la aplicación de lubricación al sistema	7	7	8	392

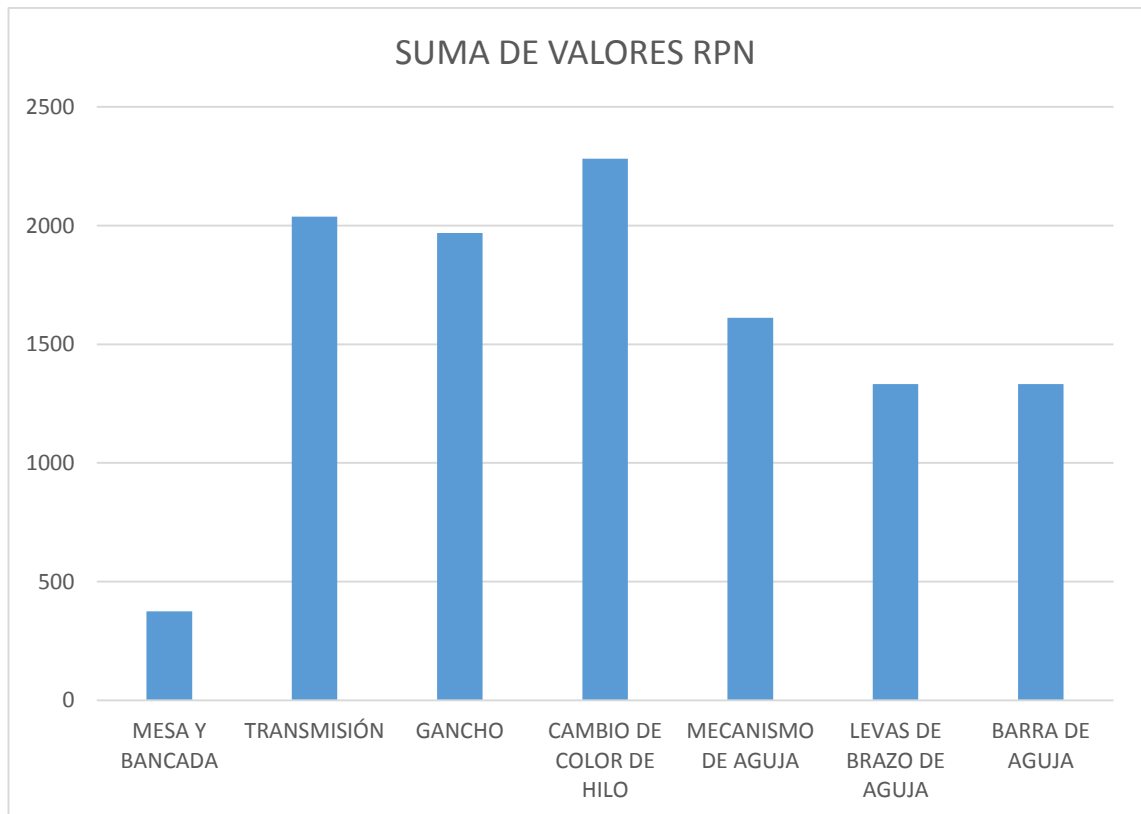
Fuente: Elaboración Propia

De las evaluaciones realizadas, se resumen en el siguiente cuadro, donde sacamos la suma acumulada, el promedio y el valor máximo del análisis de los RPN

**Tabla 23: Hoja de Resumen de Evaluación de Riesgo**

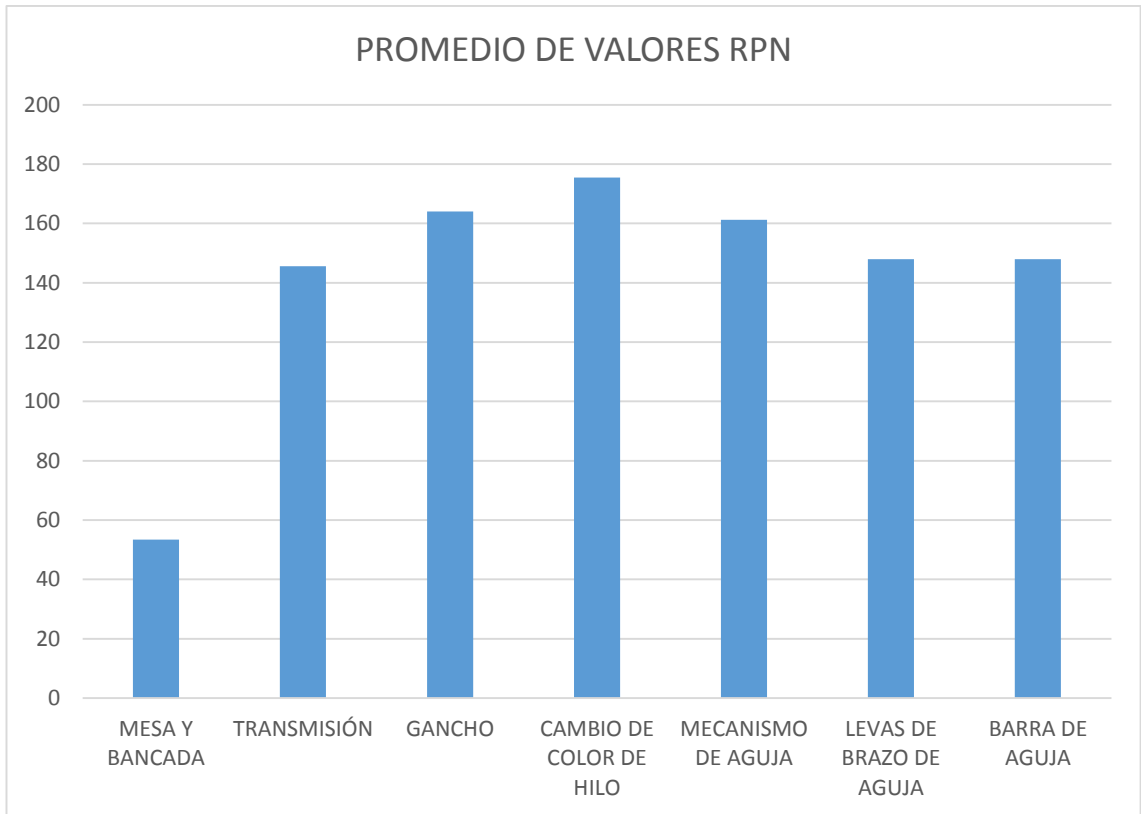
SISTEMA	SUMA	PROMEDIO	MÁXIMO
BANCADA Y MESA	374	53.43	84
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	2038	145.57	392
GANCHO ROTATIVO	1969	164.08	392
CAMBIO DE COLOR DE HILO	2282	175.54	392
MECANISMO DE AGUJAS	1612	161.20	392
SISTEMA DE LEVAS	1332	148	392
CABEZALES DE AGUJA	1332	148	392

Fuente: Elaboración Propia



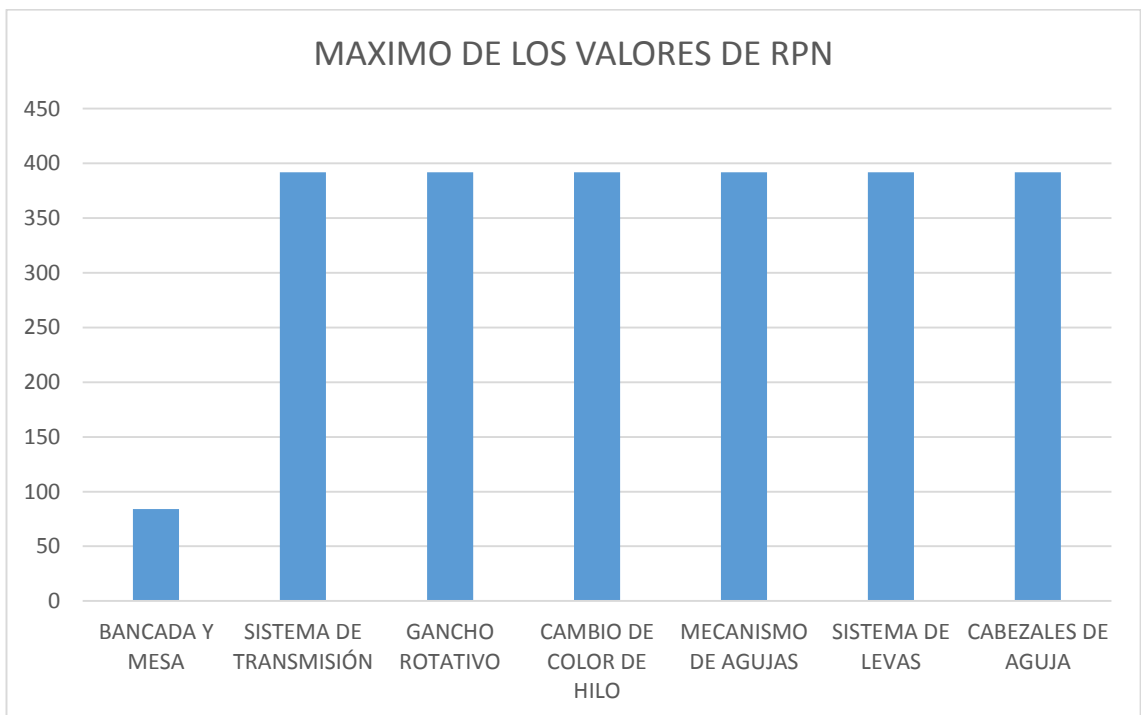
**Figura 29: Suma de los Valores de RPN de Cada Sistema**

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 30: Promedio de los Valores de RPN de Cada Sistema**

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 31: Máximo de los Valores de RPN de Cada Sistema**

Fuente: Elaboración Propia

De la evaluación realizada, podemos apreciar que los sistemas de prioridad respecto al riesgo son el sistema de cambio de color de hilo y el sistema de transmisión, dado que la mayoría de modos de fallos de este sistema tienden a parar el activo de funcionar en su totalidad y su detectabilidad es muy baja para el operador.

A estos dos sistemas se le aplicara actividades de mantenimiento del tipo proactivo para reducir el riesgo. Los demás sistemas siendo los cabezales de aguja, sistema de levas, mecanismos de agujas y gancho rotativo, se le aplicara actividades de mantenimiento preventivo.

El sistema de brazo de puntada y bancada y mesa, al tener los puntajes más bajos, se les aplicara actividades de mantenimiento correctivo en su mayoría para reducir el riesgo.

#### 4.10 Paso 8: Establecer la Estrategia de Mantenimiento

Una vez identificado el nivel de prioridad de riesgo de cada modo de falla, procederemos a establecer la estrategia de mantenimiento que este más acorde a lo analizado, los cuales se presentan en los siguientes cuadros.

**Tabla 24: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Mesa y Bancada**

MODO DE FALLA	TAREA	FRECUENCIA (DÍAS)	EJECUTOR	TIPO
Rotura de bancada	Solicitar reparación cuando presente grietas	180	Operario	Correctivo
Rotura de la mesa de trabajo	Solicitar reparación cuando presente grietas	180	Operario	Correctivo
Material no adecuado	Codificar de los componentes	365	Supervisor	Proactivo
Dimensiones Inadecuadas	Codificar de los componentes	365	Supervisor	Proactivo
Montaje inadecuado	Capacitación del personal para evitar fallas por montaje	365	Supervisor	Proactivo
Suciedad Acumulada	Realizar limpieza luego de cada operación	1	Operario	Autónomo

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 25: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Transmisión**

<b>MODO DE FALLA</b>	<b>TAREA</b>	<b>FRECUENCIA (DÍAS)</b>	<b>EJECUTOR</b>	<b>TIPO</b>
Rotura del eje	Inspección del eje y realizar cambio cuando presente grietas	60	Mantenimiento	Preventivo
Rotura de Faja Sincronizadora	Inspección de la faja y solicitar reparación cuando presente grietas	60	Mantenimiento	Preventivo
Material no adecuado	Codificar de los componentes	365	Supervisor	Proactivo
Dimensiones Inadecuadas	Codificar de los componentes	365	Supervisor	Proactivo
Suciedad Acumulada	Realizar limpiezas paródicas	15	Mantenimiento	Preventivo
Falta de lubricación	Realizar check list de los equipos	15	Mantenimiento	Preventivo
Exceso de Lubricación	Capacitación del personal de operación para evitar fallas por exceso de lubricación	180	Mantenimiento	Proactivo
Rotor o Estator desgastados	Inspección del motor principal	30	Mantenimiento	Proactivo
Fusibles desgastados	Adquirir fusibles para mantener stock de almacén	30	Supervisor	Proactivo
Motor no diseñado para la potencia requerida	Codificación del motor y realizar las inspecciones previas a la adquisición de los repuestos	365	Supervisor	Proactivo
Falta de cambio de fusibles	Capacitación del personal de operación para evitar fallas por falta de cambio de fusibles	180	Mantenimiento	Proactivo
Conectar a un voltaje o amperaje no adecuado	Mantener las fuentes de energía correctamente y señalarlas debidamente	180	Mantenimiento	Proactivo
Deterioro de Rodamientos	Inspección de los rodamientos, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	60	Mantenimiento	Preventivo
Deterioro de Faja de Transmisión	Inspección de la faja sincronizadora y realizar el cambio al presentar grietas superficiales	60	Mantenimiento	Preventivo

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 26: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Gancho Rotativo**

<b>MODO DE FALLA</b>	<b>TAREA</b>	<b>FRECUENCIA (DÍAS)</b>	<b>EJECUTOR</b>	<b>TIPO</b>
Rotura de Eje	Inspección de los ejes, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	60	Mantenimiento	Preventivo
Rotura de Rodamientos	Inspección de los rodamientos, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	60	Mantenimiento	Preventivo
Rotura de bujes	Inspección de los Bujes, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	60	Mantenimiento	Preventivo
Material Inadecuado	Codificar el tipo de eje y realizar las inspecciones previas a la adquisición de los repuestos	180	Supervisor	Proactivo
Montaje inadecuado	Capacitación del personal de operación y mantenimiento para evitar fallas por montaje	180	Supervisor	Proactivo
Pandeo del Eje	Inspección de los ejes, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	60	Mantenimiento	Preventivo
Gancho en mal estado	Inspección de las cuchillas y realizar el cambio cuando pierdan filo	30	Mantenimiento	Preventivo
Dimensiones Inadecuadas de los elementos	Codificar el tipo de Eje y realizar las inspecciones previas a la adquisición de los repuestos	365	Supervisor	Proactivo
Suciedad Acumulada	Realizar limpiezas periódicas	15	Mantenimiento	Preventivo
Falta de Lubricación	Llevar a cabo los check list de los equipos por los operadores y los técnicos de mantenimiento	15	Mantenimiento	Preventivo
Exceso de Lubricación	Capacitación del personal de operación para evitar fallas por exceso de lubricación	180	Mantenimiento	Proactivo

**Fuente:** Elaboración Propia



**Tabla 27: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Cambio de Color**

<b>MODO DE FALLA</b>	<b>TAREA</b>	<b>FRECUENCIA (DÍAS)</b>	<b>EJECUTOR</b>	<b>TIPO</b>
Rotura de Eje	Inspección de los ejes, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	30	Mantenimiento	Preventivo
Rotura de Rodamientos	Inspección de los rodamientos, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	30	Mantenimiento	Preventivo
Rotura de Engranés	Inspección de los engranes, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	60	Mantenimiento	Preventivo
Material Inadecuado	Codificar el tipo de eje y realizar las inspecciones previas a la adquisición de los repuestos	180	Supervisor	Proactivo
Dimensiones Inadecuadas	Codificar el tipo de Eje y realizar las inspecciones previas a la adquisición de los repuestos	365	Supervisor	Proactivo
Montaje Inadecuado	Capacitación del personal de operación y mantenimiento para evitar fallas por montaje	180	Supervisor	Proactivo
Rotor y Estator dañados	Inspección del motor principal	30	Mantenimiento	Proactivo
Conexión a una fuente no adecuada	Mantener las fuentes de energía correctamente y señalarlas debidamente	180	Mantenimiento	Proactivo
Pandeo del Eje	Inspección de los ejes, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	30	Mantenimiento	Preventivo
Suciedad Acumulada	Realizar limpiezas periódicas	15	Mantenimiento	Preventivo
Falta de Lubricación	Llevar a cabo los check list de los equipos por los operadores y los técnicos de mantenimiento	15	Mantenimiento	Preventivo
Exceso de Lubricación	Capacitación del personal de operación para evitar fallas por exceso de lubricación	180	Mantenimiento	Proactivo
Pandeo de las guías	Inspección de las guías, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	30	Mantenimiento	Preventivo

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 28: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Soporte de Brazo**

<b>MODO DE FALLA</b>	<b>TAREA</b>	<b>FRECUENCIA (DÍAS)</b>	<b>EJECUTOR</b>	<b>TIPO</b>
Rotura de Soporte Brazo	Inspección de los soportes de brazo, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	30	Mantenimiento	Preventivo
Rotura de la Guía Brazo	Inspección la guía de los brazos, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	30	Mantenimiento	Preventivo
Material Inadecuado	Codificar el tipo de soporte y realizar las inspecciones previas a la adquisición de los repuestos	180	Supervisor	Proactivo
Dimensiones Inadecuadas	Codificar el tipo de componentes y realizar las inspecciones previas a la adquisición de los repuestos	365	Supervisor	Proactivo
Montaje Inadecuado	Capacitación del personal de operación y mantenimiento para evitar fallas por montaje	180	Supervisor	Proactivo
Suciedad acumulada	Realizar limpiezas periódicas	15	Mantenimiento	Preventivo

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 29: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Mecanismo de Aguja**

<b>MODO DE FALLA</b>	<b>TAREA</b>	<b>FRECUENCIA (DÍAS)</b>	<b>EJECUTOR</b>	<b>TIPO</b>
Rotura de Eje	Inspección de los ejes, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	30	Mantenimiento	Preventivo
Rotura de Rodamientos	Inspección de los rodamientos, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	30	Mantenimiento	Preventivo
Rotura de Engranajes	Inspección de los engranes, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	60	Mantenimiento	Preventivo
Dimensiones Inadecuadas	Codificar el tipo de Eje y realizar las inspecciones previas a la adquisición de los repuestos	365	Supervisor	Proactivo
Material Inadecuado	Codificar el tipo de eje y realizar las inspecciones previas a la adquisición de los repuestos	180	Supervisor	Proactivo
Montaje Inadecuado	Capacitación del personal de operación y mantenimiento para evitar fallas por montaje	180	Supervisor	Proactivo
Pandeo de las guías	Inspección de las guías, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	30	Mantenimiento	Preventivo
Suciedad Acumulada	Realizar limpiezas periódicas	15	Mantenimiento	Preventivo
Falta de Lubricación	Llevar a cabo los check list de los equipos por los operadores y los técnicos de mantenimiento	15	Mantenimiento	Preventivo
Exceso de Lubricación	Capacitación del personal de operación para evitar fallas por exceso de lubricación	180	Mantenimiento	Proactivo

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 30: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Levas de Brazo**

<b>MODO DE FALLA</b>	<b>TAREA</b>	<b>FRECUENCIA (DÍAS)</b>	<b>EJECUTOR</b>	<b>TIPO</b>
Rotura de Eje	Inspección de los ejes, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	30	Mantenimiento	Preventivo
Rotura de Rodamientos	Inspección de los rodamientos, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	30	Mantenimiento	Preventivo
Rotura de Engranés	Inspección de los engranes, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	60	Mantenimiento	Preventivo
Dimensiones Inadecuadas	Codificar el tipo de Eje y realizar las inspecciones previas a la adquisición de los repuestos	365	Supervisor	Proactivo
Material Inadecuado	Codificar el tipo de eje y realizar las inspecciones previas a la adquisición de los repuestos	180	Supervisor	Proactivo
Montaje Inadecuado	Capacitación del personal de operación y mantenimiento para evitar fallas por montaje	180	Supervisor	Proactivo
Pandeo de Eje	Inspección del eje, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	30	Mantenimiento	Preventivo
Suciedad Acumulada	Realizar limpiezas periódicas	15	Mantenimiento	Preventivo
Falta de Lubricación	Llevar a cabo los check list de los equipos por los operadores y los técnicos de mantenimiento	15	Mantenimiento	Preventivo

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 31: Estrategia de Mantenimiento a el Sistema de Barra de Aguja**

<b>MODO DE FALLA</b>	<b>TAREA</b>	<b>FRECUENCIA (DÍAS)</b>	<b>EJECUTOR</b>	<b>TIPO</b>
Rotura de Eje	Inspección de los ejes, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	30	Mantenimiento	Preventivo
Rotura de Rodamientos	Inspección de los rodamientos, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	30	Mantenimiento	Preventivo
Rotura de Engranés	Inspección de los engranes, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	60	Mantenimiento	Preventivo
Dimensiones Inadecuadas	Codificar el tipo de Eje y realizar las inspecciones previas a la adquisición de los repuestos	365	Supervisor	Proactivo
Material Inadecuado	Codificar el tipo de eje y realizar las inspecciones previas a la adquisición de los repuestos	180	Supervisor	Proactivo
Montaje Inadecuado	Capacitación del personal de operación y mantenimiento para evitar fallas por montaje	180	Supervisor	Proactivo
Pandeo de Eje	Inspección del eje, y realizar el cambio cuando presente deformaciones	30	Mantenimiento	Preventivo
Dimensiones Inadecuadas	Codificar el tipo de componentes y realizar las inspecciones previas a la adquisición de los repuestos	365	Supervisor	Proactivo
Suciedad Acumulada	Realizar limpiezas periódicas	15	Mantenimiento	Preventivo
Falta de Lubricación	Llevar a cabo los check list de los equipos por los operadores y los técnicos de mantenimiento	15	Mantenimiento	Preventivo

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.11 Paso 9: Presentación de los Resultados

La implementación del plan de mantenimiento logró los siguientes resultados en las 05 máquinas bordadoras críticas según el historial de los equipos. Los indicadores de confiabilidad y disponibilidad calculados son los siguientes.

**Tabla 32: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR01 2019**

Mes	# de Fallas/Mes	Horas de falla/ mes	TMEF (Hrs)	TPR (Hrs)	DISPONIBILIDAD (%)	CONFIABILIDAD (%)
Enero	14	50	13.57	3.57	79.17	83.79
Febrero	13	45	15.00	3.46	81.25	85.21
Marzo	8	25	26.88	3.13	89.58	91.46
Abril	11	35	18.64	3.18	85.42	87.92
Mayo	12	40	16.67	3.33	83.33	86.59
<b>Total</b>	<b>58</b>	<b>195</b>		<b>Promedio</b>	<b>83.75</b>	<b>86.99</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 33: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR02 2019**

Mes	# de Fallas/Mes	Horas de falla/ mes	TMEF (Hrs)	TPR (Hrs)	DISPONIBILIDAD (%)	CONFIABILIDAD (%)
Enero	15	55	12.33	3.67	77.08	82.32
Febrero	13	40	15.38	3.08	83.33	85.56
Marzo	14	50	13.57	3.57	79.17	83.79
Abril	11	30	19.09	2.73	87.50	88.19
Mayo	12	40	16.67	3.33	83.33	86.59
<b>Total</b>	<b>65</b>	<b>215</b>		<b>Promedio</b>	<b>82.08</b>	<b>85.29</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 34: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR03 2019**

Mes	# de Fallas/Mes	Horas de falla/ mes	TMEF (Hrs)	TPR (Hrs)	DISPONIBILIDAD (%)	CONFIABILIDAD (%)
Enero	13	35	15.77	2.69	85.42	85.88
Febrero	10	25	21.50	2.50	89.58	89.44
Marzo	12	30	17.50	2.50	87.50	87.18
Abril	15	40	13.33	2.67	83.33	83.53
Mayo	8	20	27.50	2.50	91.67	91.64
<b>Total</b>	<b>58</b>	<b>150</b>		<b>Promedio</b>	<b>87.50</b>	<b>87.54</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 35 Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR04 2019**

Mes	# de Fallas/Mes	Horas de falla/ mes	TMEF (Hrs)	TPR (Hrs)	DISPONIBILIDAD (%)	CONFIABILIDAD (%)
Enero	15	45	13.00	3.00	81.25	83.14
Febrero	12	35	17.08	2.92	85.42	86.89
Marzo	10	30	21.00	3.00	87.50	89.20
Abril	11	30	19.09	2.73	87.50	88.19
Mayo	7	25	30.71	3.57	89.58	92.48
<b>Total</b>	<b>55</b>	<b>165</b>		<b>Promedio</b>	<b>86.25</b>	<b>87.98</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 36: Disponibilidad y Confiabilidad del Activo Físico 13BOR05 2019**

Mes	# de Fallas/Mes	Horas de falla/ mes	TMEF (Hrs)	TPR (Hrs)	DISPONIBILIDAD (%)	CONFIABILIDAD (%)
Enero	16	50	11.88	3.13	79.17	81.70
Febrero	12	30	17.50	2.50	87.50	87.18
Marzo	8	20	27.50	2.50	91.67	91.64
Abril	10	25	21.50	2.50	89.58	89.44
Mayo	9	20	24.44	2.22	91.67	90.65
<b>Total</b>	55	145		<b>Promedio</b>	87.92	88.12

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 37: Comparación de Disponibilidad y Confiabilidad 2018 y 2019**

	2018		2019	
	DISPONIBILIDAD (%) PROMEDIO	CONFIABILIDAD (%) PROMEDIO	DISPONIBILIDAD (%) PROMEDIO	CONFIABILIDAD (%) PROMEDIO
<b>13BOR01</b>	<b>67.53</b>	<b>80.68</b>	<b>83.75</b>	<b>86.99</b>
<b>13BOR02</b>	<b>66.08</b>	<b>80.55</b>	<b>82.08</b>	<b>85.29</b>
<b>13BOR03</b>	<b>65.45</b>	<b>79.62</b>	<b>87.50</b>	<b>87.54</b>
<b>13BOR04</b>	<b>64.24</b>	<b>78.90</b>	<b>86.25</b>	<b>87.98</b>
<b>13BOR05</b>	<b>65.63</b>	<b>78.82</b>	<b>87.92</b>	<b>88.12</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.12 Validación de la Hipótesis General

De los resultados obtenidos en la tabla 37, al aplicar la estrategia de mantenimiento basado en el riesgo, se tuvo un incremento promedio del 19.71% de disponibilidad y del 7.47% de confiabilidad en las bordadoras de tela, las cuales se consideraron las más críticas.

Con estos resultados, podemos validar la hipótesis general debido a que la estrategia si influye de una manera directa y significativa a los indicadores de mantenimiento de los activos físicos.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

1. Se logro diseñar la estrategia de mantenimiento basado en el riesgo para la Asociación AETI., lo cual permitió reducir los tiempos de paradas no programadas, así como los indicadores de mantenimiento.
  
2. El diagnóstico de la empresa se logró realizar, lo cual permitió definir las funciones de los activos según su contexto operativo, así como las necesidades de la empresa en su contexto de mercado.
  
3. Efectuamos la metodología de mantenimiento basado en el riesgo, analizando la criticidad para cada uno de los activos de la empresa, lo cual permitió definir los activos de baja criticidad, activos de media criticidad y activos de alta criticidad y para establecer sus programas de mantenimiento.
  
4. Los indicadores de confiabilidad y disponibilidad de la máquina bordadora calculados para los activos críticos resultaron ser de 78.82% y 65.24% los



5. mínimos respectivamente, lo cual reveló un bajo índice de disponibilidad y confiabilidad antes de implementar el programa de mantenimiento.
6. Se logro aplicar correctamente la metodología del mantenimiento basado en riesgo a la asociación, siguiendo la teoría descrita en el capítulo III. Esto permitió tener un patrón de estrategia y poder guiar mejor el desarrollo de esta.
7. Los resultados obtenidos se evaluaron, los cuales mostraron un incremento significativo promedio del 19.71% de disponibilidad y del 7.47% de confiabilidad en las bordadoras de tela, las cuales se consideraron las más críticas. Comparándolos con lo analizado inicialmente sustentando la Hipótesis general y validando la aplicación realizada.

## **5.2 Recomendaciones**

1. Realizar periódicamente una retroalimentación de los resultados obtenidos para corregir los errores o inconvenientes que se presentan en los objetivos y metas planteadas, de tal modo que la implementación sea un éxito y no solo un proyecto que se plantee como una alternativa de solución., porque las consecuencias son de gran envergadura como es el costo, tiempo, etc.
2. Capacitar periódica del personal de empresa no solo en las estrategias de gestión de mantenimiento basado en el riesgo, como también en otras estrategias que permitan que el personal este motivado en las nuevas estrategias de gestión y administración.

3. Crear y potenciar el área de mantenimiento, dándole la importancia correspondiente con sus respectivos documentos, presupuesto anual, manual de funciones, manual de procedimientos y su jerarquía planteada en el organigrama propuesto.

## BIBLIOGRAFÍA

- Apeland, S., & Aven, T. (2000). *Risk based maintenance optimization: foundational issues*. Reliability Engineering & System Safety.
- Arunraj, N., & Maiti, J. (2007). *Risk-based maintenance—Techniques and applications*. Journal of Hazardous Materials.
- Balaraju, J., Gobinda Raj, M., & Murthy, C. (2020). *Predicción y Evaluación de Fallas en la Maquinaria de Volquetes de Transporte Usando Analisis de Modo de Fallas FMEA*. Singapore: P. V. Varde et al.
- Barringer, P. (2003). *A life Cycle Cost Summary*. Perth: Maintenance Engineering Society of Australia.
- Basson, M. (2018). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad basada en el Riesgo*. Connecticut: Industrial Press.
- Bougumil, R. J. (1982). Limitations of Probabilistics Assessment. *IEEE Technology and Society Magazine*, 24-28.
- Campbell, D. T. (1988). *Methodology and Epostemology for Social Science: Selected Papers*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Cruz Ramos, L. C. (2017). *Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo Basado en la Confiabilidad Para Mejorar la Disponibilidad Y Confiabilidad en Máquinas Circulares en la Empresa Textiles WG. SAC - Lima*. Lima: Universidad Cesar Vallejo-Trujillo.

- Cullen, J., Binns, J., Lonsdale, M., Abassi, R., & Garaniya, V. (2017). *Programación de Mantenimiento Basado en el Riesgo con Aplicación para Naves y Buques Navales*. ELSEVIER.
- Duffuaa, S. O., Raouf, A., & Campbell, J. D. (2002). *Sistemas de Mantenimiento, Planeación y Control*. México, DF.: LIMUSA, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores.
- Dunn, S. (2003). *The Fourth Generation of Maintenance*. Assetivity Pty Ltd.
- Duran, J. (2000). ¿Qué es confiabilidad operacional? *Revista Club Mantenimiento*.
- Evan, W. M., & Manion, M. (2002). *El accidente en la refinería de longford*.
- Eygelaar, J., Lötter, D. P., & van Vuuren, J. H. (2017). *Programación de Mantenimiento a Generados de Potencia Basado en el Riesgo de Falla*. ELSEVIER.
- Ezequiel, A. (1995). *Técnicas de Investigación Social*. Buenos Aires: LUMEN.
- Garbatov, Y., Sisci, F., & Ventura, M. (2018). *Modelo Basado en el Riesgo para el Diseño de Naves y Estructuras Tomando en Cuenta el Planeamiento de Mantenimiento*. ELSEVIER.
- García Garrido, S. (2019). *Renovetec*. Obtenido de <http://mantenimiento.renovetec.com/organizacionygestion/118-indicadores-de-mantenimiento>
- García Gonzáles-Quijuano, J. (2004). *Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo*. Madrid.
- Hamidreza, S., Hafezalkotob, A., & Martínez, L. (2019). *Desarrollo de una Metodología R TOPSIS para el Planeamiento de Mantenimiento Preventivo Basado en el Riesgo. Caso de Estudio Compañía Laminadora*.

ELSEVIER.

Harris, T. A. (1984). *Roller Bearing Analysis*. John Wiley and Sons.

Hernández, F. B. (2014). *Metodología de la Investigacion*. Mexico: McGraw-Hill.

Hide, M. (2013). *Fourth Generation Maintenance*. Strategic Maintenance Ltd.

IEES-SNI. (2016). *Reporte Sectorial Noviembre 2016*. Lima.

ISO-31000. (2009). *Gestion de Riesgo*. International Organization of Standardization.

ISO-55000. (2014). *Gestión de Activos Aspectos Generales, Principios y Terminologías*. International Organization of Standardization.

Li, X., Chen, G., & Chang, Y. (2019). *Análisis de Seguridad de Operaciones Basado en el Riesgo Durante Actividades de Mantenimiento de Líneas de Tuberías Submarinas*. ELSEVIER.

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. Lillington: Edwards Brothers.

Nielsen, J., & Dalsgaard, J. (2011). *On risk-based operation and maintenance of offshore wind turbine components*. Reliability Engineering & System Safety.

NORSOK STANDARD Z-008. (2001). *Analisis de Criticidad de Mantenimiento Rev. 2*. Oslo: El centro noruego de Tecnología.

Palencia, O. G. (2017). *Reliability Web*. Obtenido de Reliability Web: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/la-cultura-de-la-confiabilidad-operacional>

Palmaren, A., & Lundberg, G. (1947). *Dynamic Capacity of Roller Bearings*. Acra Polytech.

PASS-55. (2008). *Especificaciones Publicas Disponibles 55: Gestion de Activos*.

Londres: British Standards.

Ravish Preshant, Y. M. (2017). *Risk-Based Maintenance for Electricity Network Organizations*. Rotterdam: Springer.

SKF. (2019). *SKF*. Obtenido de <https://www.skf.com/pe/services/asset-management-services/asset-efficiency-optimisation/strategize/maintenance-strategy-review/risk-based-maintenance/index.html>

Smith, D. J. (2017). *Confiabilidad, Mantenibilidad y Riesgo Metodos Practicos de Ingenieria*. Cambridge: Butterworth-Heinemann.

VMCE. (2018). *Reporte Mensual de Comercio*. Lima: Ministerio de Comercio Exterio y Turismo.

VMCE. (2018). *Reporte Mensual de Comercio*. Lima: Ministerio de Comercio Exterio y Turismo.

Wu, L., Shahidehpour, M., & Li, T. (2008). *GENCO's Risk-Based Maintenance Outage Scheduling*. IEEE Transactions on Power Systems.

Yao-te, T., Kuo-Qin, Y., Shu-Ching, W., & Wen-Pin, L. (2019). *Demand Decision Analysis Strategy Development for Gas Turbine Engine Based on the MTBF*. Taiwan: Journal of Computers.