



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Matemáticas

Escuela Profesional de Investigación Operativa

**Análisis de confiabilidad orientado a optimizar la  
gestión del mantenimiento en la línea de producción de  
geomembranas en la empresa industrial de plásticos  
Eco System S.A.C.**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación  
Operativa

**AUTOR**

Anwar Julio YARIN ACHACHAGUA

**ASESOR**

Dra. Esther BERGER VIDAL

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Yarin, A. (2021). *Análisis de confiabilidad orientado a optimizar la gestión del mantenimiento en la línea de producción de geomembranas en la empresa industrial de plásticos Eco System S.A.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Profesional de Investigación Operativa]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Anwar Julio Yarin Achachagua
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41133522
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0003-2369-129X">https://orcid.org/0000-0003-2369-129X</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Esther Berger Vidal
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08766040
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0001-5282-6793">https://orcid.org/0000-0001-5282-6793</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Carmela Catalina Velásquez Pino
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09078631
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Miky Gerónimo Ortiz Ramírez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	25796803
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	A.3.3.5. Aplicación de herramientas de IO a la producción de bienes y servicios

Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Coordenadas geográficas Latitud: -12.058333 Longitud: -77.083333
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Enero 2016 - Enero 2017
URL de disciplinas OCDE	Matemáticas aplicadas <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02</a>



# UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América

DECANATO

Foja. 11

## Anexo 6

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA

En la Ciudad Universitaria, Facultad de Ciencias Matemáticas, siendo las ...11..... horas del día 10 de diciembre del año 2021, se reunieron los docentes designados como miembros del Jurado:

Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino

Presidente

Mg. Miky Gerónimo Ortiz Ramírez

Miembro

Dra. Esther Berger Vidal

Miembro Asesor

Para la sustentación de la Tesis intitulada “Análisis de confiabilidad orientado a optimizar la gestión del mantenimiento en la línea de producción de geomembranas en la Empresa Industrial de Plásticos ECO SYSTEM S.A.C.”, presentada por el Bachiller Anwar Julio Yarin Achachagua, para obtener el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Luego de la exposición de la Tesis, el Presidente invitó al expositor a dar respuesta a las preguntas formuladas.

Realizada la evaluación correspondiente por los miembros del jurado, el expositor mereció la aprobación, con un calificativo promedio de Dieciocho (18).

A continuación, los miembros del jurado, dan manifiesto que el participante Bachiller Anwar Julio Yarin Achachagua, en virtud de haber aprobado la sustentación de su tesis, será propuesto para que se le otorgue el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Siendo las 12 horas, se levantó la Sesión, firmando para constancia la presente Acta en tres (3) copias originales o archivo PDF.

Presidente

Miembro

Miembro Asesor



## FICHA CATALOGRÁFICA

**YARIN ACHACHAGUA, ANWAR JULIO**

Análisis de Confiabilidad orientado a optimizar la Gestión del Mantenimiento en la línea de producción de geomembranas en la empresa industrial de plásticos Eco System S.A.C. (Lima), 2019

xii. 69 p., 29.7 cm., (UNMSM, Licenciado en Investigación Operativa, 2019).

Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas. Investigación Operativa. i. UNMSM/FCM ii. Título (Serie).

## **DEDICATORIA**

A mis padres Julio y Noemí por su exigencia y amor que me ha permitido desarrollarme profesionalmente.

A mi esposa Beatriz, por ser la escultora de mi carácter y por luchar conmigo en cada momento.

A mi hijo Julio Amir, por su valentía, eres un luchador, un guerrero de la luz.

A mi hijita, que es la bendición que Dios todopoderoso ha puesto en mis manos para guiar por el camino del bien.



## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco de manera especial a mi asesora Esther Berger, por su exigencia continúa y su búsqueda incansable de la excelencia en su trabajo.

Agradezco también a toda la plana docente de la Escuela Profesional de Investigación Operativa, quienes coadyuvaron en mi formación académica.

## RESUMEN

# **Análisis de confiabilidad orientado a optimizar la gestión del mantenimiento en la línea de producción de geomembranas en la empresa industrial de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.**

Yarin Achachagua, Anwar Julio

Noviembre 2020

**Asesora:** Esther Berger Vidal

**Título obtenido:** Licenciado en Investigación Operativa

En el trabajo de investigación se propone utilizar el análisis de confiabilidad del funcionamiento de máquinas productoras de geomembranas, en la empresa ECO SYSTEM S.A.C.; con la finalidad de optimizar la gestión del mantenimiento predictivo y preventivo de tales máquinas, de modo tal que se reduzcan o eliminen las fallas potenciales que podrían ocurrir durante el proceso de producción, evitando de ese modo las interrupciones en los procesos, los tiempos de espera por mantenimientos correctivos y las demoras en las entregas de los pedidos de producción.

Tomando en consideración la información histórica disponible en la empresa sobre el funcionamiento, fallas en el funcionamiento, frecuencia de fallas, causas de las fallas, se utilizan modelos de confiabilidad para estimar las probabilidades de falla y realizar el análisis de confiabilidad para tomar decisiones sobre la frecuencia del mantenimiento preventivo y predictivo sobre las máquinas, que conlleven a la optimización de la gestión del mantenimiento.

En efecto, la presente investigación brinda herramientas considerables en la gestión de mantenimiento en una línea de producción de geomembranas, asimismo

se llega a la conclusión de que la implementación de herramientas de confiabilidad en la gestión del mantenimiento logra una mejora continua de sus operaciones.

Palabras clave: Gestión del mantenimiento, análisis de confiabilidad

# **SUMMARY**

## **Reliability analysis aimed at optimizing maintenance management in the geomembrane production line at the industrial company of plastics eco system s.a.c.**

**Yarin Achachagua, Anwar Julio**

**November 2020**

**Advisor:** Esther Berger Vidal

**Degree obtained:** Bachelor of Operations Research

In the research work it is proposed to use the reliability analysis of the operation of machines producing geomembranes, in the company ECO SYSTEM S.A.C; in order to optimize the management of predictive and preventive maintenance of such machines, in such a way as to reduce or eliminate potential failures that could occur during the production process, thus avoiding interruptions in processes, waiting times for corrective maintenance and delays in deliveries of production orders.

With the historical information in the company on the operation, malfunctions, frequency of failures, causes of failures, reliability models are used to estimate the probability of failure and perform reliability analysis to make decisions on the frequency of maintenance preventive and predictive on machines, leading to the optimization of maintenance management.

Indeed, this research provides important tools in maintenance management in a geomembrane production line and from the research carried out it is concluded that the reliability tools applied to maintenance management contribute to the continuous improvement of its operations.

**Keywords:** Maintenance management, reliability analysis

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

FICHA CATALOGRÁFICA .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN .....	v
INTRODUCCIÓN .....	xiii
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACION .....	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.1 Descripción del proceso productivo.....	3
1.1.2 Situación actual de la Gestión del Mantenimiento.....	6
1.2 Formulación del problema.....	17
1.2.1 Problema general .....	17
1.2.2 Problemas específicos.....	18
1.3 Objetivos del estudio.....	18
1.3.1 Objetivo general .....	18
1.3.2 Objetivos específicos.....	18
1.4 Formulación de hipótesis .....	18
1.4.1 Hipótesis general.....	18
1.4.2 Hipótesis específicas .....	19
1.5 Importancia de la investigación .....	19
1.5.1 Importancia teórica .....	19
1.5.2 Importancia práctica .....	19
1.6 Justificación del estudio .....	19
1.7 Limitaciones de la investigación.....	20
1.8 Matriz de consistencia.....	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	22

2.1.	Antecedentes del problema.....	22
2.1.1.	Antecedentes a nivel nacional.....	22
2.1.2.	Antecedentes a nivel internacional.....	24
2.2.	Bases teóricas.....	29
2.2.1.	Conceptualización del mantenimiento.....	29
2.2.2.	Eficiencia general de los equipos.....	30
2.2.3.	Análisis de Causa-Raíz.....	30
2.2.4.	Indicadores de mantenimiento.....	31
2.2.5.	Objetivos del mantenimiento.....	33
2.2.6.	Tipos de mantenimiento.....	33
2.2.7.	Modelos de confiabilidad.....	36
2.2.8.	Estudios de confiabilidad.....	39
2.3.	Marco conceptual.....	45
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		48
3.1.	Tipo de investigación.....	48
3.2.	<b>Diseño de la investigación.....</b>	48
3.3.	<b>Unidad de análisis.....</b>	48
3.4.	<b>Población de estudio.....</b>	49
3.5.	<b>Definición operacional de variables.....</b>	49
3.6.	<b>Procesamiento y análisis de datos.....</b>	50
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....		51
4.1.	Justificación del análisis Weibull.....	51
4.2.	Análisis de Weibull.....	52
4.3.	Costos de la propuesta.....	67
4.4.	Validación de hipótesis.....	69
4.4.1.	Hipótesis general.....	69
4.4.2.	Hipótesis específicas.....	70

CAPÍTULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	71
5.1 Conclusiones .....	71
5.2 Recomendaciones .....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Defectos en los rollos de geomembrana HDPE registradas en el año 2016</i>	
Tabla 2. <i>Frecuencia de los tipos de defectos</i> .....	9
Tabla 3. <i>Problemas de producción 2016</i> .....	10
Tabla 4. <i>Costos de Mantenimiento</i> .....	11
Tabla 5. <i>Recolección de Datos en el año 2016</i> .....	14
Tabla 6. <i>Cálculos de Factores de OEE e Indicador OEE en el año 2016</i> .....	15
Tabla 7. <i>Matriz de consistencia</i> .....	20
Tabla 8. <i>Horas Mantenimiento Correctivo – año 2016</i> .....	52
Tabla 9. <i>Cálculos MTBF y MTTR</i> .....	54
Tabla 11. <i>Programación en excel</i> .....	55
Tabla 12. <i>Cálculo de análisis Weibull</i> .....	56
Tabla 13. <i>Análisis de Weibull</i> .....	59
Tabla 14. <i>Confiability de equipos</i> .....	61
Tabla 15. <i>Datos para mejora</i> .....	62
Tabla 16. <i>Cálculos de Mejora</i> .....	65
Tabla 17. <i>OEE Mejora</i> .....	66
Tabla 18. <i>Cronograma de Mantenimientos preventivos y predictivos</i> .....	67
Tabla 19. <i>Inversión por incremento de Mantenimientos</i> .....	68
Tabla 20. <i>Beneficios en producción</i> .....	69



# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Instalación de geomembranas</i> .....	3
Figura 2. <i>Fabricación de geomembrana</i> .....	4
<b>Figura 3.</b> <i>Diagrama de operaciones del proceso</i> .....	5
Figura 4. <i>Proceso de fabricación de geomembranas</i> .....	6
Figura 5. <i>Historial del problema</i> .....	8
Figura 6. <i>Priorización del problema</i> .....	9
Figura 7. <i>Costos de mantenimiento preventivo y correctivo en el año 2016</i> .....	12
Figura 8. <i>Diagrama de Pareto de las paradas no programadas por máquinas (horas) del año 2016</i> .....	13
Figura 9. <i>Árbol de Causa-Efecto</i> .....	17
Figura 10. <i>Relación entre la función confiabilidad y función probabilidad de falla</i> ...	37
Figura 11. <i>Curva de bañera</i> .....	38
Figura 12. <i>Distribución exponencial estándar</i> .....	40
Figura 13. <i>Función confiabilidad de la ley Normal de falla</i> .....	43
Figura 14. <i>Probabilidad de falla para diferentes valores del parametro de forma</i> .....	44
Figura 15. <i>Estimación de la distribución de probabilidad de falla</i> .....	52
Figura 16. <i>Ecuación Weibull</i> .....	55
Figura 17. <i>Función regresión en Excel</i> .....	58

# INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación está orientado a la optimización de la Gestión de Mantenimiento de la línea de producción de geomembranas mediante un análisis de confiabilidad.

En el primer capítulo se presenta el planteamiento del problema general para la línea de producción de geomembranas, la formulación de los objetivos e hipótesis, asimismo se presenta la importancia y justificación de la investigación.

En el segundo capítulo, se explican los conceptos y definiciones básicas que se utilizan para este modelo.

En el tercer capítulo, se explica la metodología a emplear en el trabajo de investigación.

En el cuarto capítulo, se presenta el diseño de la investigación y se analiza cómo optimizar la gestión de mantenimiento mediante el análisis de confiabilidad, este capítulo brinda los instrumentos necesarios a la empresa para que sea más eficiente en el proceso productivo.

En el quinto capítulo, se desarrolla el análisis e interpretación de los resultados productos de la investigación.

Finalmente, en el sexto capítulo, se presentan las conclusiones y recomendaciones, asimismo la bibliografía y los anexos respectivos.

## **CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACION**

### **1.1. Descripción del problema**

La empresa en estudio tiene 20 años de experiencia en la fabricación de productos plásticos. Sus clientes a nivel internacional son atendidos por plantas de producción ubicadas en el Perú y Chile, que en suma cuentan con 550 colaboradores; sus productos son destinados a distintos países como Argentina, Uruguay, Bolivia, Ecuador, Chile, Paraguay, Perú, México, Chile, Australia, Sudáfrica, Estados Unidos y la Unión Europea.

Los principales productos que fabrica son las geomembranas, mallas raschel, tuberías de drenaje y tuberías de HDPE lisas, entre otros. El proyecto de investigación trata respecto a la planta industrial de Lima ubicada en el distrito de Lurín, específicamente el proyecto se centra en la línea de fabricación de geomembranas de alta y baja densidad.

En esta planta la empresa cuenta con 80 trabajadores entre la parte administrativa y operativa. El departamento de producción está conformado por ingenieros y técnicos con experiencia en el rubro de plásticos. Entre sus principales fortalezas como equipo se tiene la flexibilidad y creatividad para solucionar problemas que puedan satisfacer las necesidades de los clientes.

La empresa tiene un sistema de gestión de producción conservador que en el tiempo ha ido mostrando falencias tanto en el sistema de gestión, operación, como en el de control de calidad de las líneas de producción. Los procesos e instalaciones de la línea de fabricación no cuentan con procedimientos ni condiciones estandarizados, además dispone de un personal (que si bien cuenta) con (la) experiencia en la compañía pero que carece de cierto criterio técnico y buenas prácticas para realizar sus labores de mejor manera.

Las geomembranas ante HDPE (Polietileno de alta densidad por sus siglas en inglés) y LLDPE (Polietileno baja densidad lineal por sus siglas en inglés) son mantas de polietileno diseñadas específicamente como medios flexibles de contención e impermeabilización para proteger los bienes o sistemas ante las condiciones externas o internas originados por la naturaleza o el hombre. Estos productos son fabricados con materia prima e insumos de alta calidad los cuales cumplen con ciertas certificaciones que son corroboradas por controles de calidad, su formulación con aditivos les permite ser resistentes ante las exigencias mecánicas donde estén instaladas y ante las exigencias químicas como ácidos, alcoholes, aceites, hidrocarburos, entre otras. Estas mantas pueden unirse en diversas piezas de geomembranas usando calor para de esta manera formar membranas de gran extensión.

Su aplicación general en la industria es ser elementos de estanqueidad en la contención de fluidos como instalaciones de relaves mineros, canales, embalses, reservorios, etc. también son ampliamente usados en la fabricación de estructuras tensionadas como hangares y depósitos de gran extensión. La presentación del producto se da en rollos de 7 metros de ancho por 210 metros de largo (también según el pedido del cliente) y 2 mm de espesor, siendo la densidad del material de 940 kg/m<sup>3</sup>.

## **Figura 1.**

### *Instalación de geomembranas*



*Nota.* La empresa.

#### **1.1.1 Descripción del proceso productivo**

El proceso de fabricación comienza con el pesado de los insumos conformados por pellets de polipropileno de alta densidad HDPE, pigmentos y pellets provenientes de reproceso), estos, son absorbidos por una bomba de vacío, que los dosifica en la mezcladora con la proporción adecuada de materiales. Después, la mezcla entra a la extrusora, en donde es derretido y a la vez transportado por un tornillo sin fin. El material toma forma circular en el cabezal de la máquina donde mediante la velocidad y flujo de aire alcanza el espesor requerido según especificaciones técnicas.

## Figura 2.

### *Fabricación de geomembrana*

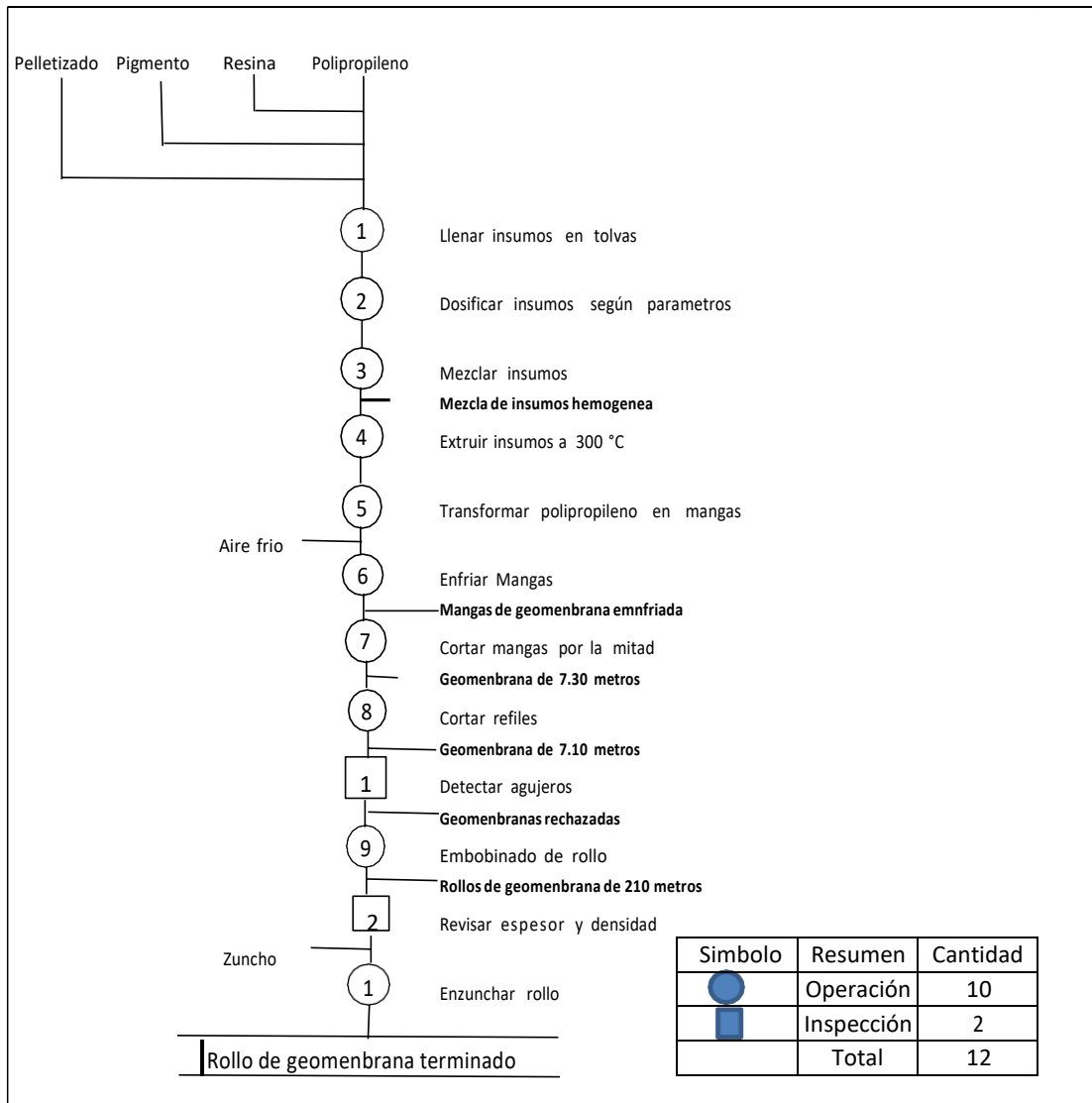


*Nota.* La Empresa

La forma circular que adopta el material es denominada “Globo”. El globo es transportado mediante rodillos a una altura de 30 metros para que se pueda enfriar tomando la forma de una manga. Luego de esto, dentro del mismo recorrido del proceso, en un sector llamado nip primario, el globo es cortado por una cuchilla a la mitad mediante calor. Entonces, la manta se transporta hasta el nip secundario, en donde se regulan las cuchillas para cortar los cantos a la medida de 7 metros. En el nip secundario también se encuentra el peltester que es un dispositivo encargado de detectar los agujeros que puedan presentar los rollos.

**Figura 3.**

*Diagrama de operaciones del proceso*

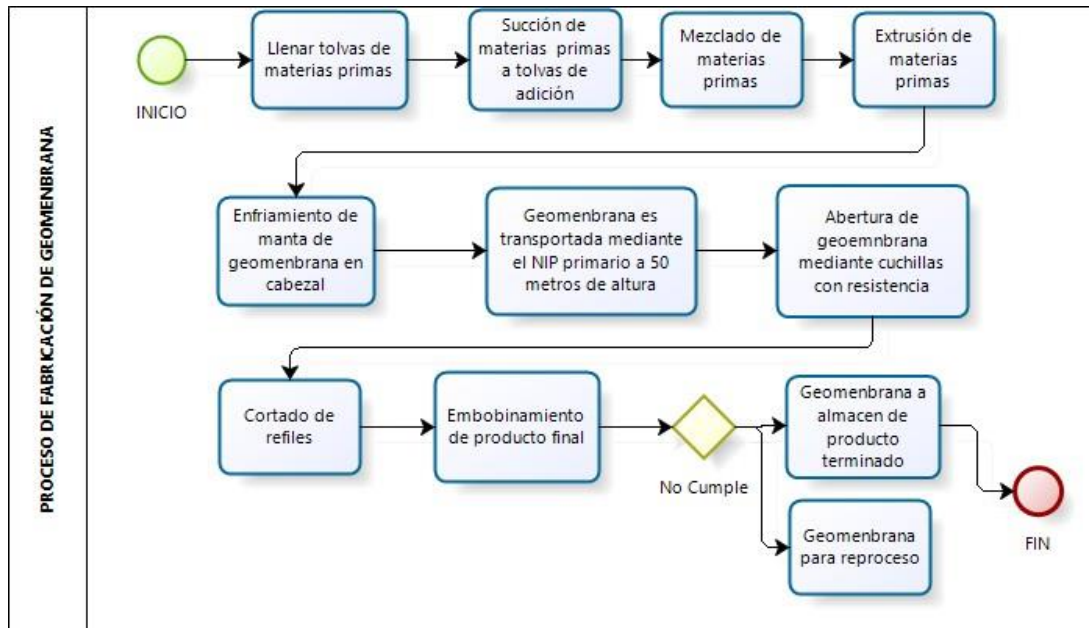


Nota. El Autor.

En la figura 3, se muestra el diagrama de operaciones del proceso de fabricación de geomembranas, en él podemos observar todas las operaciones que intervienen en la elaboración del producto, dentro de este proceso los operarios son partícipes de 4 operaciones. La primera es el llenado de tolvas de materia prima, la segunda es el cambio de filtro, la tercera es la regulación de los parámetros de la máquina y la cuarta es el retiro de los rollos de geomembrana de la embobinadora, es decir la entrega del PT (proyecto terminado).

**Figura 4.**

*Proceso de fabricación de geomembranas*



Nota. El Autor.

En la figura 4. se muestra el diagrama de proceso de fabricación de geomembranas, el primer paso es el llenado de las tolvas de alimentación en donde interviene un operario encargado de llenar las tolvas con los diferentes materiales e insumos que deben intervenir en la mezcla. Él adiconamiento se realiza mediante bombas de succión al vacío y mezcladas en paletas.

### **1.1.2 Situación actual de la Gestión del Mantenimiento**

En este proyecto de investigación se ha realizado un análisis interno de la línea de producción de geomembranas y se ha identificado que el volumen mensual de productos fabricados no llega a cumplir con los parámetros y metas establecidas por el departamento de producción. La línea de producción de geomembranas tiene una capacidad de fabricación de 11 rollos por turno (rollos de 7.1mx210m) y trabaja 2 turnos diarios, al día la línea debe cumplir con una cuota de 22 rollos y al mes con 660 rollos de geomembranas.



En el proceso de producción, cuando los rollos de geomembrana no llegan a la especificación requerida o presentan defectos, estos son reutilizados, es decir pasan al área de corte, posteriormente al molido y por último al proceso de pelletizado donde el material es transformado nuevamente a pellets para ser reingresados en el proceso de producción de rollos de geomembranas.

La tabla 1 de defectos en los rollos de geomembrana HDPE registradas en el año 2016, comprende el número de desperfectos encontrados en distintos rollos de geomembrana HDPE en función en el tipo de desperfecto, estos distintos tipos de desperfectos pueden localizarse dentro de un mismo rollo de geomembrana HDPE. La tabla 1 describe la incidencia de imperfecciones que se localiza en los rollos de geomembrana HDPE con lo que se puede identificar el proceso de producción que presenta errores; con todo lo antes mencionado, la tabla 1 muestra que los principales defectos registrados son la diferencia en los espesores para lo que se considera como defectos aquellos que no se encuentren en el intervalo de 0,75 y 3,0 mm; y densidades que no cumplen con la especificación considerando como defectos a aquellos con densidad menor a 0,94 g/ml.

**Tabla 1.**

*Defectos en los rollos de geomembrana HDPE registradas en el año 2016*

<b>TIPOS DE DEFECTOS</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
Densidad baja													
focalizada	16	12	14	4	21	13	19	10	15	8	9	13	154
Espesor bajo el limite	7	7	7	3	7	8	11	9	7	8	7	8	89
Espesor sobre el limite	8	6	5	1	8	8	8	8	7	7	5	11	82
Rasgaduras	3	4	2	0	4	6	8	7	4	6	3	8	55
Agujeros	5	1	3	1	4	2	4	5	2	4	3	3	37
Roturas	3	0	2	1	3	1	3	3	3	0	2	4	25
Cortes laterales													
descentrados	1	0	2	0	3	2	1	2	2	1	0	1	15
<b>TOTAL</b>	<b>43</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>10</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>54</b>	<b>44</b>	<b>40</b>	<b>34</b>	<b>29</b>	<b>48</b>	<b>457</b>

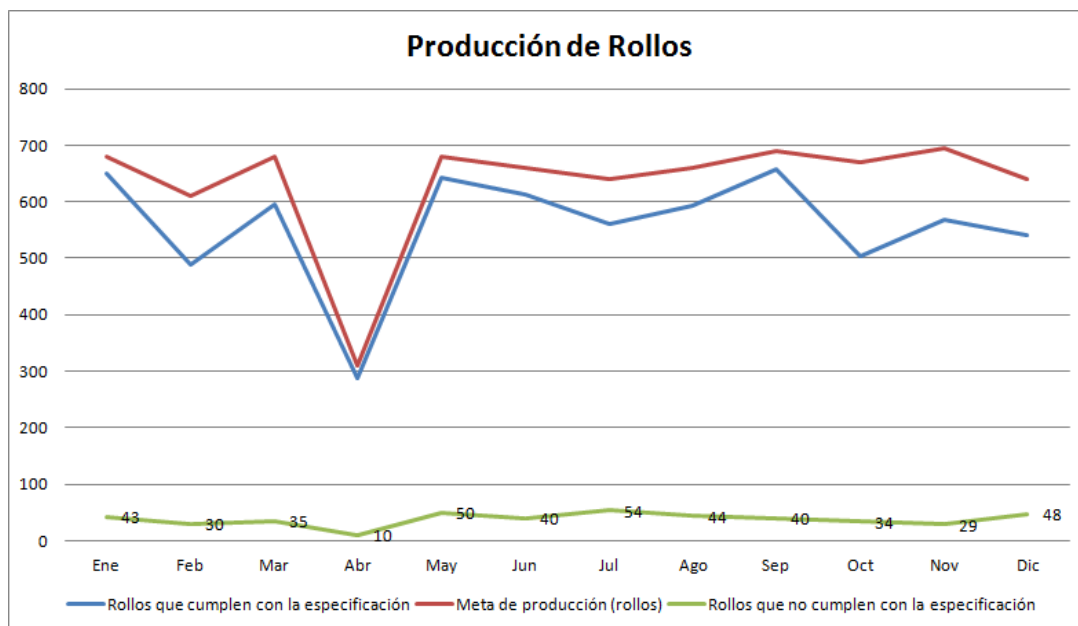
*Nota.* La empresa

La empresa debería tener una producción promedio de 600 rollos, pero esto no se llega a cumplir porque existen pérdidas de tiempo y diferentes defectos en el producto ocasionados por que no existen procedimientos de trabajo definidos. Estas incorrectas prácticas también originan el incremento de reproceso en el área de pelletizado

En la figura 5, se puede observar una cantidad de rollos de geomembrana que es re-ingresada en el proceso y estos generan que no se llegue a las metas de producción de rollos establecidas por el área de producción.

**Figura 5.**

*Historial del problema*



*Nota.* El autor

En el registro histórico de la producción de rollos de geomembrana HDPE, no se ha alcanzado las metas de producción establecidas. Se revisaron los registros de producción y se analizaron las causas por las cuales se generan estas fallas, ver tabla 2.

**Tabla 2.**

*Frecuencia de los tipos de defectos*

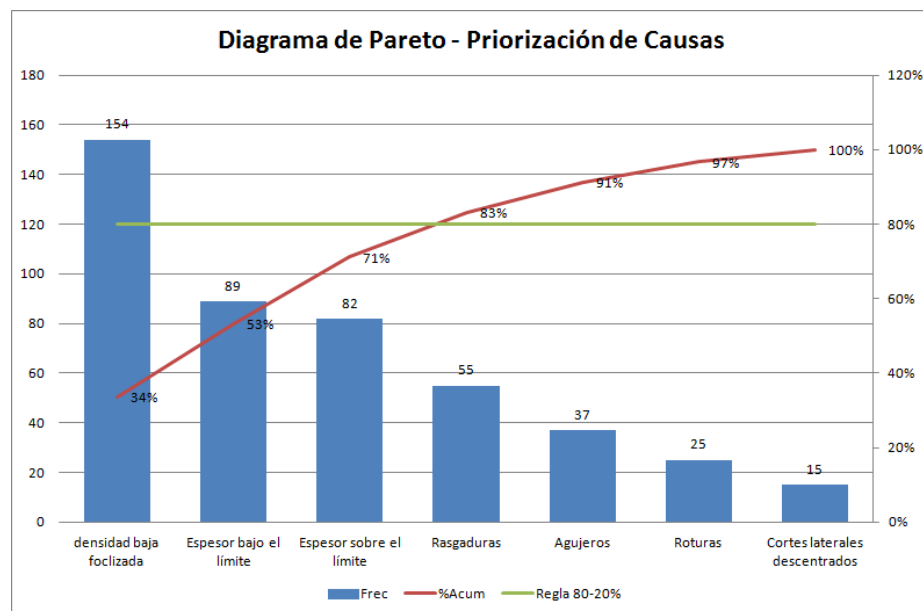
TIPOS DE DEFECTOS	Frec	%	%Acum
Densidad baja focalizada	154	33.70%	33.70%
Espesor bajo el limite	89	19.47%	53.17%
Espesor sobre el limite	82	17.94%	71.12%
Rasgaduras	55	12.04%	83.15%
Agujeros	37	8.10%	91.25%
Roturas	25	5.47%	97.72%
Cortes laterales descentrados	15	3.28%	100.00%
<b>TOTAL</b>	<b>457</b>	<b>100.00%</b>	

*Nota.* La Empresa11

Se puede concluir que las principales causas de las paradas para mantenimiento correctivo son la densidad baja focalizada, espesor bajo el límite, y espesor sobre el límite ya que es menor o igual a 80% representando la Regla de Pareto, ver Figura 6.

**Figura 6.**

*Priorización del problema*



*Nota.* El Autor.

El 80% de las fallas que originan el rechazo de los rollos se debe a la baja densidad, rasgaduras, roturas, agujeros, cortes laterales descentrados, espesor bajo

el límite requerido, y espesor sobre el límite requerido que se originan en el cabezal de la extrusora. En la figura 6, se observa las diferentes causas que originan incremento de desperdicio y demora en los tiempos de entrega. Estos inconvenientes hacen incrementar los gastos de producción y disminuyen la disponibilidad de las máquinas para la fabricación de geomembrana.

**Tabla 3.**

*Problemas de producción 2016*

<b>PROBLEMAS EN PRODUCCIÓN 2016</b>			
<b>FALLA</b>	<b>CAUSA</b>	<b>CAUSA</b>	<b>ÁREA</b>
<b>Densidad baja</b>	Mala regulación de los parámetros	Operador no cumplió procedimientos	Producción
	Flujo de aire caliente fuera de rango	Problemas con Motor Exaut	Mantenimiento
	Mal acondicionamiento de insumos	Problemas con la máquina adicionadora	Mantenimiento
<b>Espesor bajo el límite</b>	Flujo de aire caliente fuera de rango	Problemas con motor contra cool	Mantenimiento
	Flujo de aire frío inadecuado	Fallas en Chillers	Mantenimiento
	Mala regulación de los parámetros	Operador no cumplió procedimientos	Producción
<b>Espesor sobre el límite</b>	Flujo de aire frío inadecuado	Cámara de frío con problemas	Mantenimiento
	Mala regulación de los parámetros	Operador no cumplió procedimientos	Producción
<b>Rasgaduras</b>	Cabezal sucio	Operador no cumplió procedimientos	Producción
	Labios carbonizados	Operador no cumplió procedimientos	Producción
<b>Agujeros</b>	Cabezal sucio	Operador no cumplió procedimientos	Producción
<b>Roturas</b>	Velocidad de rodillos incorrectos	Fallas en nip primario y secundario	Mantenimiento
<b>Cortes laterales descentrados</b>	Mala regulación de cuchillas	Operador no cumplió procedimientos	Producción
	Cuchillas desgastadas	Requerimiento de cambio	Mantenimiento

*Nota.* El Autor.

Es importante mencionar que la falla está referido al defecto material del producto terminado y son las causas de los defectos, mientras que el error humano produce dichas fallas en las máquinas, así como los defectos en los artículos.

Las fallas que originan que el producto final salga con observaciones y sea rechazado por control de calidad, tienen su origen en los procesos de mantenimiento. En el año 2016 se presentaron diferentes ocurrencias y paradas inesperadas en las máquinas y equipos de producción, esto ocasionó retrasos y productos fuera de especificaciones.

**Tabla 4.**

*Costos de Mantenimiento*

<b>MANTENIMIENTO</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Mantenimiento preventivo	S/52,682.00	S/51,378.00	S/51,897.00
Mantenimiento correctivo	S/48,563.00	S/50,741.00	S/56,164.00
<b>TOTAL</b>	<b>S/101,245.00</b>	<b>S/102,119.00</b>	<b>S/108,061.00</b>

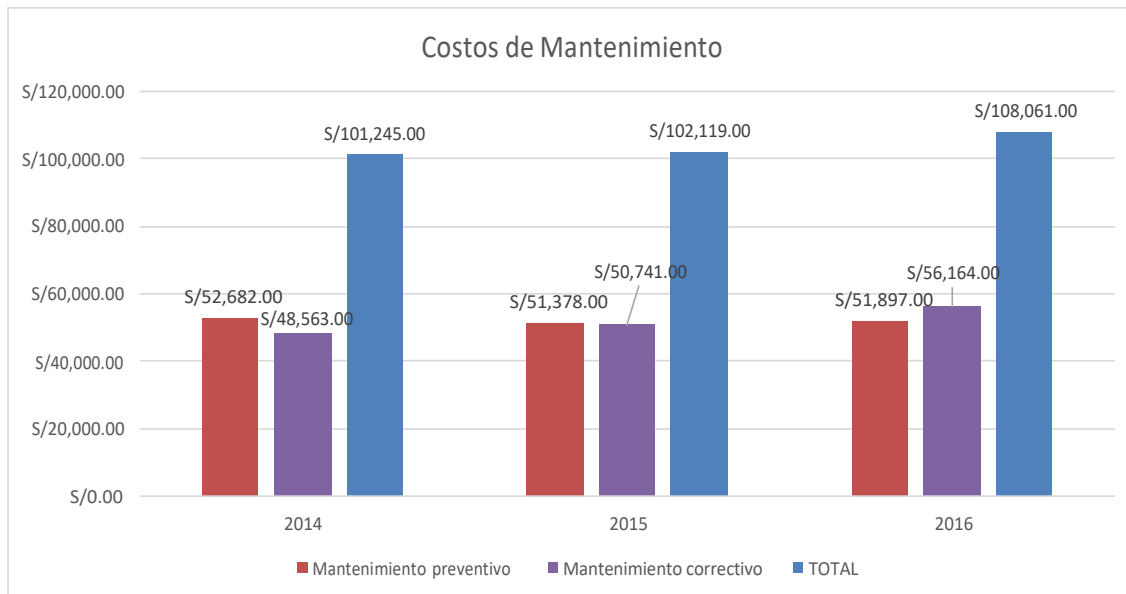
*Nota.* El Autor.

En la tabla 4 de costos de mantenimiento se muestra un incremento anual significativo en el área de mantenimiento correctivo y en la suma del total, en el año más crítico de los costos de mantenimiento en total se puede observar un incremento de S/5,942 del periodo entre los años 2015 al 2016, los cuales incluyen mantenimientos preventivos y correctivos.

El registro de horas en laboradas del año 2016 de la empresa industrial de plásticos eco system S.A.C. afirma que la empresa presento que el total de horas perdidas fue de 227.8 horas por problemas de mantenimiento en el año 2016, estas horas de paradas no planificadas ocasionaron que se retrase la entrega de 108 rollos de geomembrana teniendo como efecto la pérdida de \$ 432,000 dólares.

**Figura 7.**

*Costos de mantenimiento preventivo y correctivo en el año 2016*

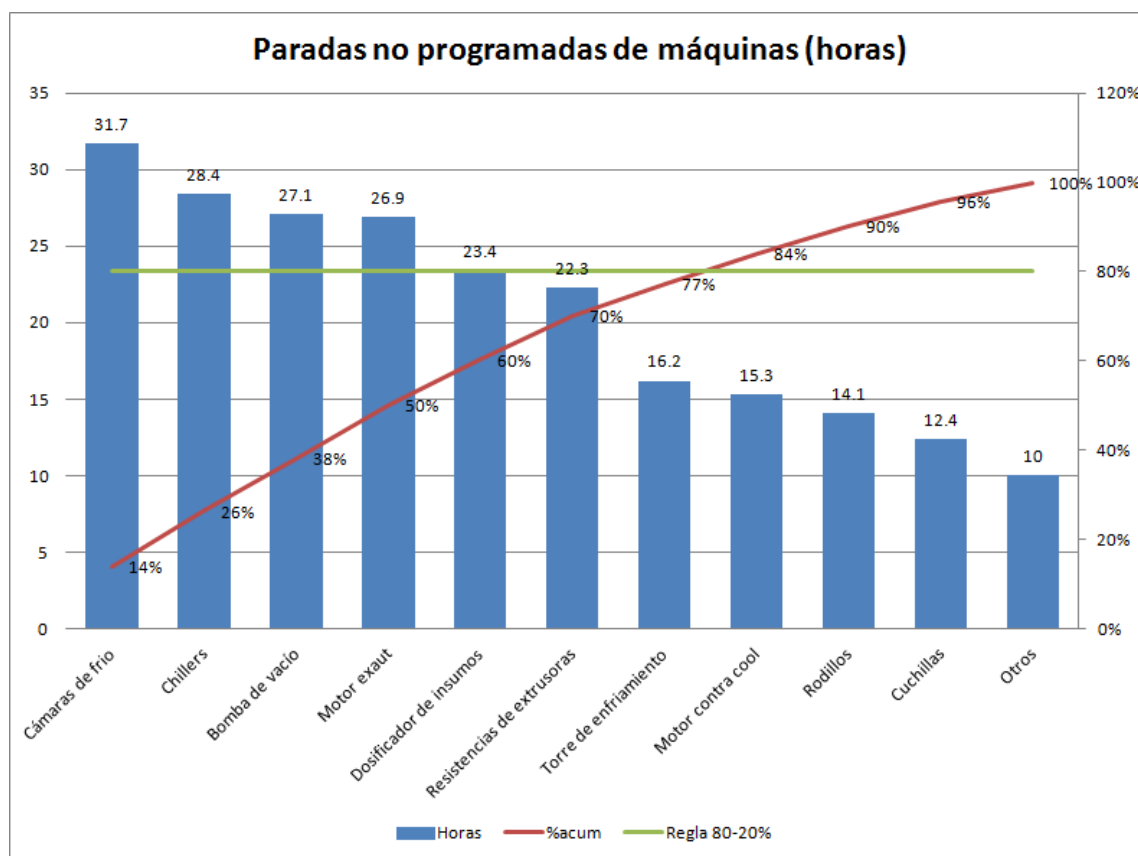


*Nota.* El autor

En cuanto a los resultados de costos de mantenimiento preventivo y correctivo, como hemos visto en la figura 7, en el año 2016 hubo un incremento considerable de S/. 5942 ocasionando paradas no programadas en el proceso y, por ende, reclamos por fechas de entrega. Para poder detectar la priorización de los equipos que ocasionaron mayor cantidad de horas de paradas no programadas, que generaron los problemas de calidad del producto final y el incremento de mermas, se realizó un estudio del total de las horas perdidas por problemas de mantenimiento correctivo, con esta información se construyó un diagrama de Pareto que se presenta en la figura 8.

**Figura 8.**

*Diagrama de Pareto de las paradas no programadas por máquinas (horas) del año 2016*



Nota. El Autor.

Las paradas no programadas para un mantenimiento correctivo en el año 2016 fueron ocasionadas por los equipos de cámaras de frío con tiempo de parada de 31.7 horas que representa el 13.91% del total de las horas perdidas y chillers que presento un tiempo de parada de 28.4 horas que representa un 10.27% de tiempo de parada, por lo tanto, al disminuir esos números de horas, se disminuirían los costos de mantenimiento correctivo y mantenimiento total.

Para determinar la Eficiencia Global de los Equipos, el cuál es definido y mencionado por sus siglas en ingles OEE (Overall Equipment Effectiveness), de la línea de producción de geomembranas se ha compilado los datos requeridos en la tabla 5 para poder calcular los factores de OEE e indicador OEE.

**Tabla 5.***Recolección de Datos en el año 2016*

Mes 2016	DIAS LABORA BLES	HORAS TEORIC O- OPERAT IVO	CICLO TEORIC O- OPERAT IVO HORAS	UNIDADE S PRODUCCI DAS POR MES	CORRECTI VOS ATENDIDO S	CORREC TIVO HORAS	ROLL OS CON DEFEC TO	TOTAL PARA DAS
Enero	21	168	0.1646	693	4	23.40	43	23.40
Febrero	19	152	0.1646	520	6	18.50	30	18.50
Marzo	20	160	0.1646	630	6	17.30	35	17.30
Abril	20	160	0.1646	297	1	2.10	10	2.10
Mayo	22	176	0.1646	693	8	25.60	50	25.60
Junio	21	168	0.1646	654	7	20.10	40	20.10
Julio	18	144	0.1646	615	7	27.00	54	27.00
Agosto	22	176	0.1646	636	9	14.40	44	14.40
Septie mbre	21	168	0.1646	697	7	22.30	40	22.30
Octubre	20	160	0.1646	538	8	21.50	34	21.50
Noviem bre	21	168	0.1646	597	5	16.40	29	16.40
Diciemb re	18	144	0.1646	590	6	19.20	48	19.20
<b>TOTAL</b>	<b>243</b>	<b>1944</b>		<b>7160</b>	<b>74</b>	<b>227.80</b>	<b>457</b>	<b>227.80</b>

Fuente: El Autor.

De acuerdo a la tabla 5, se realizó la recolección de los datos de enero a diciembre del 2016 habiéndose empleado en total 227.8 horas para un mantenimiento correctivo que ocasionaron paradas no programadas en el proceso de producción, obteniéndose 457 rollos con defecto durante el año. Según las horas teórico-operativo se obtuvo el ciclo teórico operativo; es decir, el tiempo por año del proceso de producción sin considerar los mantenimientos.

Los datos calculados se utilizarán para obtener los factores y el indicador de OEE, mostrados en la Tabla 6.



**Tabla 6.**

*Cálculos de Factores de OEE e Indicador OEE en el año 2016*

Fecha	Tiempo programado (horas)	Tiempo de paradas (horas)	Time Ciclo Teórico (horas)	Total de unidades producidas	Tiempo operativo	Cant. De defectos	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	OEE	TPR
2016				<b>Estándar</b>	<b>World Class</b>		<b>90%</b>	<b>95%</b>	<b>99%</b>	<b>85%</b>	
Ene	168	23.4	0.16455 0533	693	144.6	43	86.07%	78.86%	93.8 0%	63.6 7%	63.6 7%
Feb	152	18.5	0.16455 0533	520	133.5	30	87.83%	64.09%	94.2 3%	53.0 5%	53.0 5%
Mar	160	17.3	0.16455 0533	630	142.7	35	89.19%	72.65%	94.4 4%	61.1 9%	61.1 9%
Abr	160	2.1	0.16455 0533	297	157.9	10	98.69%	30.95%	96.6 3%	29.5 2%	29.5 2%
May	176	25.5	0.16455 0533	693	150.5	50	85.45%	75.82%	92.7 8%	60.1 2%	60.1 2%
Jun	168	20.1	0.16455 0533	654	147.9	40	88.04%	72.76%	93.8 8%	60.1 4%	60.1 4%
Jul	144	27	0.16455 0533	615	117	54	81.25%	86.49%	91.2 2%	64.1 1%	64.1 1%
Ago	176	14.4	0.16455 0533	636	161.6	44	91.82%	64.76%	93.0 8%	55.3 5%	55.3 5%
Set	168	22.3	0.16455 0533	697	145.7	40	86.73%	78.72%	94.2 6%	64.3 5%	64.3 5%
Oct	160	21.5	0.16455 0533	538	138.5	34	86.56%	63.92%	93.6 8%	51.8 3%	51.8 3%
Nov	168	16.4	0.16455 0533	597	151.6	29	90.24%	64.80%	95.1 8%	55.6 3%	55.6 3%
Dic	144	19.2	0.16455 0533	590	124.8	48	86.67%	77.79%	91.8 6%	61.9 3%	61.9 3%
<b>TOTAL</b>	<b>1944</b>	<b>227.7</b>		<b>7160</b>	<b>1716.3</b>	<b>457</b>	<b>88.21%</b>	<b>69.30%</b>	<b>93.7</b>	<b>56.7</b>	<b>56.7</b>
<b>LES</b>	<b>1944</b>	<b>7</b>		<b>7160</b>	<b>3</b>	<b>457</b>	<b>88.21%</b>	<b>69.30%</b>	<b>5%</b>	<b>4%</b>	<b>4%</b>

Nota. El Autor.

El cálculo de la OEE nos determina una comparación entre el número de piezas que se podrían producir cuando la producción marchara perfectamente, y las unidades sin defectos que se han producido.

Para el cálculo de la OEE, se tomará tres factores:

$$OEE = Disponibilidad * Eficiencia * Calidad$$

La disponibilidad nos dará información respecto al tiempo que el equipo se encuentre en operación, descontando tiempos de inactividad, se calcula de la siguiente forma:

$$Disponibilidad = \frac{\text{Tiempo programado de producción} - \text{tiempo no programado}}{\text{Tiempo programado de producción}}$$

La eficiencia operacional nos dará información respecto al nivel de funcionamiento de acuerdo con los tiempos de paro, se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Eficiencia operacional} = \frac{\text{Tiempo del ciclo teórico} * \text{producción}}{\text{Tiempo del ciclo real}}$$

La calidad nos da información respecto a la cantidad producida que cumplan con los requisitos mínimos de calidad, se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Calidad} = \frac{(\text{Unidades producidas} - \text{Producción con defectos})}{\text{Unidades producidas}}$$

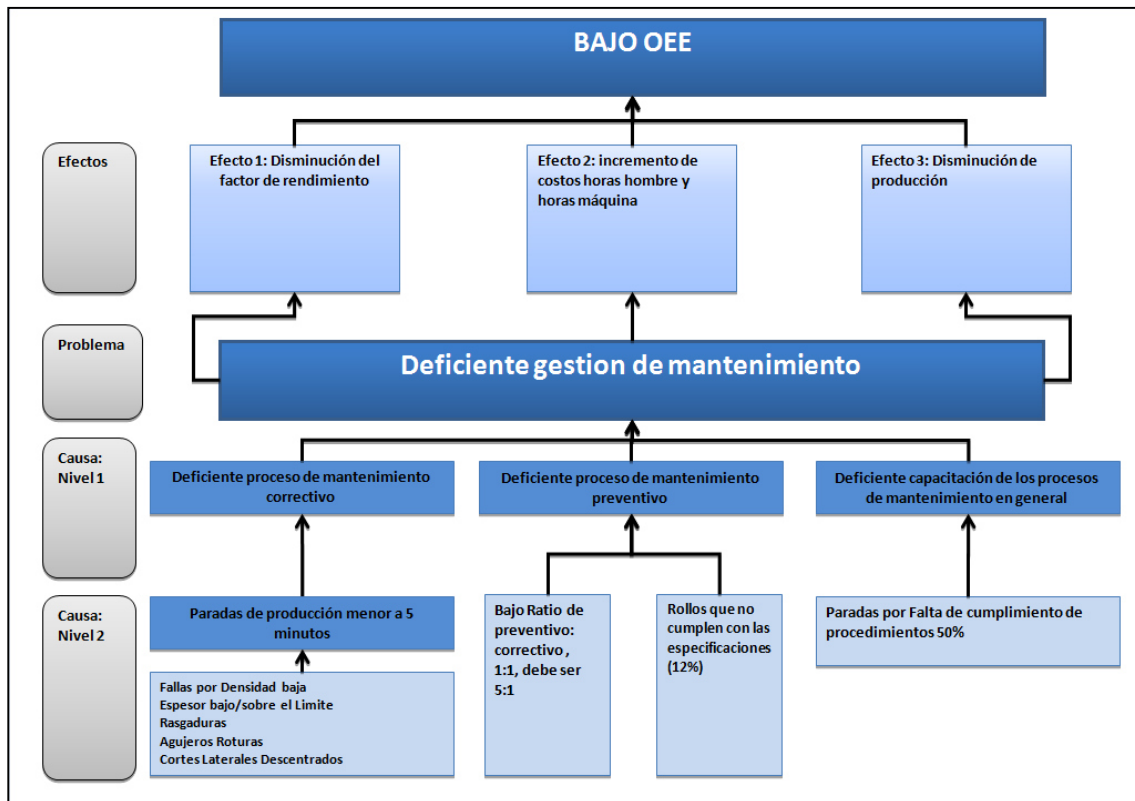
Por lo que la OEE es resultado de los factores disponibilidad, eficiencia operacional y calidad. Como se muestra en la tabla anterior, el promedio del factor de disponibilidad de 88.21% es menor que el estándar de 90%, el rendimiento de 69.30% es menor a 95%, la calidad de 93.75% es menor que 99% y el indicador OEE de 56.74% es menor que 85%.

Por lo tanto, al reducir el tiempo de paradas no programadas para proveer el servicio de mantenimiento correctivo, es decir aumentando el mantenimiento preventivo, aumentará el tiempo operativo y por ende el total de unidades producidas, esto afectará directamente al factor de disponibilidad y de eficiencia.

Como resultado, se ha elaborado un árbol de Causa-Efecto para identificar las causas principales que ocasionan el aumento de paradas por mantenimiento correctivo no programado, además se observará la relación entre un efecto y todas las posibles causas que lo ocasiona.

**Figura 9.**

*Árbol de Causa-Efecto*



*Nota.* Elaboración Propia

Por lo expuesto, este trabajo de investigación intenta caracterizar probabilísticamente las fallas en las máquinas de una empresa de la industria de plásticos, para analizar su confiabilidad y establecer acciones que permitan mejorar la gestión del mantenimiento.

## 1.2 Formulación del problema

### 1.2.1 Problema general

¿El análisis de confiabilidad aplicada al área de Mantenimiento de las máquinas productoras de geomembranas en la industria plástica ECO SYSTEM SAC contribuye a la optimización de su gestión?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿En cuánto se puede reducir el tiempo de parada de las máquinas productoras de geomembranas en la industria de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.?
- ¿En cuánto se puede aumentar la disponibilidad de las máquinas productoras de geomembranas en la empresa industrial ECO SYSTEM S.A.C.?
- ¿En cuánto se puede aumentar el porcentaje de geomembranas sin defectos elaboradas en la empresa industrial ECO SYSTEM S.A.C.?

## **1.3 Objetivos del estudio**

### **1.3.1 Objetivo general**

Aplicar el análisis de confiabilidad para evaluar los procesos con el fin de optimizar la gestión de procesos aplicados en el área de mantenimiento de la industria plástica ECO SYSTEM SAC

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Analizar los procesos de mantenimiento con el fin de disminuir las horas perdidas por parada de máquinas productoras de geomembranas en la empresa industrial de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.
- Analizar los procesos de mantenimiento con el fin de aumentar la disponibilidad de la maquinaria productoras de geomembranas en la empresa industrial de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.
- Analizar los procesos de mantenimiento con el fin de aumentar el porcentaje de geomembranas sin defectos elaboradas en la empresa industrial de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.

## **1.4 Formulación de hipótesis**

### **1.4.1 Hipótesis general**

Realizando un análisis de confiabilidad, se optimizará la gestión del mantenimiento en las máquinas productoras de geomembranas en la industria de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.

### **1.4.2 Hipótesis específicas**

- Realizando un análisis de confiabilidad en la gestión del mantenimiento en las máquinas productoras de geomembranas, se reducirá el tiempo de parada de máquina en la industria de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.
- Realizando un análisis de confiabilidad en la gestión del mantenimiento en las máquinas productoras de geomembranas, aumentará la disponibilidad de las máquinas productoras en la industria de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.
- Realizando un análisis de confiabilidad en la gestión del mantenimiento en las máquinas productoras de geomembranas, se aumentará el porcentaje de geomembranas sin defectos elaboradas en la empresa industrial ECO SYSTEM S.A.C.

## **1.5 Importancia de la investigación**

### **1.5.1 Importancia teórica**

La importancia radica en:

- Aplicar la teoría de confiabilidad a través del estudio de las características aleatorias del fenómeno de falla.

### **1.5.2 Importancia práctica**

La importancia radica en:

- Medir la confiabilidad para estimar las características del plan de mantenimiento.
- Mejorar la gestión de mantenimiento con el objetivo de minimizar su costo.

## **1.6 Justificación del estudio**

La presente investigación, desarrollado sobre una empresa de transporte de carga, analiza las fallas mediante un modelo de distribución de probabilidad de fallas tomando en consideración las actividades operativas. El punto de partida es un análisis inicial de la criticidad de los sistemas que forman parte del normal funcionamiento de los vehículos de carga.

Como consecuencia del estudio, se espera mejorar la confiabilidad y eliminar las paradas imprevistas por reparación reduciendo los gastos involucrados, así como los recursos invertidos en los trabajos de mantenimiento.

Además, es importante mencionar que entre los beneficiarios se encuentra en primer lugar la empresa, ya que de comprobarse la hipótesis de investigación se reduciría los tiempos de parada de la máquina, así como también un aumento de la disponibilidad y un incremento de producción sin defectos para la producción de geomembranas. Asimismo, resultaría beneficioso para los trabajadores ya que las máquinas productoras de geomembranas trabajarían de forma continua, lo que implica un aumento de la producción. Por último, resultaría beneficioso para el usuario final, pues se tendría un menor índice de geomembranas defectuosas.

## 1.7 Limitaciones de la investigación

No se presentaron limitación en el desarrollo de la investigación.

## 1.8 Matriz de consistencia

A continuación, se muestra la matriz de consistencia:

**Tabla 7.**

*Matriz de consistencia*

<b>Problema</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>
Problema general: ¿El análisis de confiabilidad aplicada al área de Mantenimiento de las máquinas productoras de geomembranas en la industria plástica ECO SYSTEM SAC contribuye a la optimización de su gestión?	Objetivo general: Aplicar el análisis de confiabilidad para evaluar los procesos con el fin de optimizar la gestión de procesos aplicados en el área de mantenimiento de la industria plástica SYSTEM SAC	Hipótesis general: Realizando un análisis de confiabilidad, se optimizará la gestión del mantenimiento en las máquinas productoras de geomembranas en la industria de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.	Variable independiente: Tiempo programado de mantenimiento.

<b>Problemas específicos:</b>	<b>Objetivos específicos:</b>	<b>Hipótesis específicas:</b>	<b>Variables dependientes:</b>
¿En cuánto se puede reducir el tiempo de parada de las máquinas productoras de geomembranas en la industria de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.?	Analizar los procesos de mantenimiento con el fin de disminuir las horas perdidas por parada de máquinas productoras de geomembranas en la empresa industrial de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.	Realizando un análisis confiabilidad en la gestión del mantenimiento en las máquinas productoras de geomembranas, se reducirá el tiempo de parada de máquina en la industria de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.	· OEE (eficiencia global de los equipos)
¿En cuánto se puede aumentar la disponibilidad de las máquinas productoras de geomembranas en la empresa industrial ECO SYSTEM S.A.C.?	Analizar los procesos de mantenimiento con el fin de aumentar la disponibilidad de la maquinaria productoras de geomembranas en la empresa industrial de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.	Realizando un análisis confiabilidad en la gestión del mantenimiento en las máquinas productoras de geomembranas, se aumentará la disponibilidad de las máquinas productoras de geomembranas en la industria de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.	· Tiempo de parada de maquina
¿En cuánto se puede aumentar el porcentaje de geomembranas sin defectos elaboradas en la empresa industrial ECO SYSTEM S.A.C.?	• Analizar los procesos de mantenimiento con el fin de aumentar el porcentaje de geomembranas sin defectos elaboradas en la empresa industrial de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.	Realizando un análisis confiabilidad en la gestión del mantenimiento en las máquinas productoras de geomembranas, se aumentará el porcentaje de geomembranas sin defectos elaboradas en la empresa industrial ECO SYSTEM S.A.C.	· Cantidad de producto defectuosos

*Nota.* El Autor

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **2.1. Antecedentes del problema**

Frente a la competencia global actual y las crecientes demandas de las partes interesadas, existe una demanda comercial básica para mejorar el rendimiento de fabricación.

El desempeño y la competitividad de las empresas manufactureras dependen de la confiabilidad y productividad de sus instalaciones de producción. Esta necesidad de mejorar el rendimiento del sistema de producción ha llevado a la función de mantenimiento al centro de atención.

#### **2.1.1. Antecedentes a nivel nacional**

Autor : Palomares Quintanilla, Elvis David

Año : 2015

Título : “Implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) al sistema de Izaje mineral, de la compañía minera Milpo, unidad El Porvenir”

Publicación : Tesis de Maestría en Gerencia e Ingeniería de Mantenimiento

Institución : Universidad Nacional de Ingeniería

#### **Resumen**

Este trabajo se orientó a resolver el problema sobre ¿Qué se debe de aplicar para mejorar el plan de mantenimiento que se realiza en la empresa en la cual se llevó a cabo la investigación? La investigación fue del tipo cuantitativa, en la cual se recolectó los datos, evaluó y se elaboró un plan aplicando la metodología del RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad). Además de emplearse un análisis de



riesgo aplicando la metodología de análisis de modo de falla, efectos y criticidad (FMECA o AMFEC) con el fin de reconocer cuáles modos de falla representan un mayor riesgo para luego elegir el tipo de mantenimiento que sea necesario: preventivo, predictivo o correctivo.

## **Conclusiones**

El autor, a partir del trabajo realizado llegó a las siguientes conclusiones:

- En base a la metodología del RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) se mejoró el tiempo del intervalo entre mantenimientos programados.
- Aplicando la metodología del RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) y tras un lapso de un año se verificó que los costos de mantenimiento disminuyeron.
- Para mejorar y aplicar rápidamente la metodología del RCM, es necesario incentivar ideas de mejora continua con todo el personal.

Autor : Da Costa Burga, Martín

Año : 2010

Título : “Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, a Motores a gas de dos tiempos, en pozos de alta producción.”

Publicación : Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico

Institución : Pontificia Universidad Católica del Perú

## **Resumen**

En este trabajo se aplicó el Análisis de modo, fallas, causa y efecto (AMEF) para la identificación de los problemas que dificultan obtener el máximo funcionamiento de motores a gas de dos tiempos.

Al definirse los modos y las causas de fallas se estableció la criticidad de cada una, además del impacto en las metas de mantenimiento y producción. En el desarrollo de la investigación se determinó estrategias de mantenimiento para eliminar las causas de fallas encontradas.

- Optimizar el mantenimiento preventivo.

- Implementar el mantenimiento predictivo.
- Implementar inspecciones por parte de los operadores.
- Identificación de repuestos críticos.

## **Conclusiones**

El autor llegó a las siguientes conclusiones:

- Al aplicarse la metodología del RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) se estableció eliminar las fallas inaceptables, como prioridad.
- Se estableció como necesaria la adquisición de repuestos en cantidades y tiempos óptimos de los componentes críticos, realizando un estudio de los stocks mínimos y máximos considerando su criticidad y tiempo de reposición.
- Se estableció necesario el análisis de presupuestos de mantenimiento en función de las características de planes obtenidos.

### **2.1.2. Antecedentes a nivel internacional**

Autor : Tsarouhas, Panagiotis

Año : 2018

Título : “Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM) para la línea de producción de envases de vino”

Institución: Revista Internacional de Gestión de Calidad y Confiabilidad

#### **Resumen:**

El estudio proporciona resultados para un análisis completo de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM) utilizando conjuntos de datos de un sistema de producción en una línea de envasado de vino. A través del estudio de caso, el autor demuestra cómo el análisis RAM es muy útil para decidir los intervalos de mantenimiento y para planificar y organizar la estrategia de mantenimiento adecuada.

El autor realizó un análisis de RAM para cada máquina utilizando datos de fallas. Los parámetros de algunas distribuciones de probabilidad comunes, como las distribuciones Weibull, exponencial, lognormal y normal, se han estimado mediante el paquete de software Minitab. Se ha realizado una investigación para determinar cuál de estas distribuciones proporciona el mejor ajuste para caracterizar el patrón de falla a nivel de máquina y línea. La confiabilidad y la capacidad de mantenimiento tanto de los envases de vino como de sus máquinas se han estimado en diferentes tiempos de misión con su mejor distribución. Se presentaron problemas de alta mantenibilidad y factores potenciales con sus posibles modos de falla, a través del modo de falla y el proceso de análisis de efectos.

### **Conclusiones:**

El autor llegó a las siguientes conclusiones:

- Respecto al trabajo realizado el análisis del tiempo total de inactividad, la frecuencia de averías, la confiabilidad y las características de mantenimiento de diferentes máquinas muestra que: primero, la disponibilidad para la línea de envasado de vino fue del 91,80% y 8,2 % para el restante la línea está en reparación.
- En la línea se muestran aproximadamente dos fallas por turno, mientras que para el tiempo medio de reparación (TTR), una falla es de 24 minutos.
- No existe correlación entre el tiempo entre fallas y los TTR para la línea de envasado de vino.
- Los tres factores principales que afectan el proceso de mantenibilidad en la línea de producción son: disponibilidad de recursos, administración de mano de obra y procedimientos de planificación de mantenimiento.

Autor : Guoqing Cheng, Ling Li

Año : 2020

Título : “Optimización conjunta de la producción, el control de calidad y el mantenimiento de los sistemas de producción de varias etapas en serie y en paralelo”

Institución : Revista Ingeniería de confiabilidad y seguridad del sistema

## **Resumen:**

En esta investigación presenta un modelo conjunto de producción, control de calidad y mantenimiento preventivo para un sistema de producción en serie-paralelo de múltiples etapas. En cada etapa, hay varias máquinas para cumplir con los requisitos de productividad y equilibrio de línea. Las máquinas se deterioran con el uso y, por tanto, influyen en la calidad del producto. Se adopta una política de producción hecha a medida para proteger la población contra las incertidumbres. Todos los artículos procesados en cada etapa se someten a controles de calidad. Los artículos conformes se entregan a la siguiente etapa para su posterior procesamiento, mientras que los artículos no conformes se desechan. Durante las corridas de producción, basándose en la retroalimentación de la información de calidad, se realizan mantenimientos preventivos para mejorar la confiabilidad de las máquinas y, por ende, la calidad del producto. Al final de las series de producción, las máquinas se inspeccionan y se les da mantenimiento si es necesario. La novedad de la estrategia de mantenimiento propuesta consiste en que tanto la medida de importancia de la estructura de la máquina como la productividad se consideran al seleccionar las máquinas para el mantenimiento.

## **Conclusiones:**

De la investigación realizada se llegó a las siguientes conclusiones:

- Proponer una nueva estrategia combinada para un sistema de producción de múltiples etapas en serie-paralelo que integra la planificación de la producción, el control de calidad y la programación del mantenimiento. Debido a que, con el uso y la edad, las máquinas se deterioran gradualmente, lo que lleva a la degradación de la fiabilidad de las máquinas y la calidad del producto.
- Durante las corridas de producción, dado que las máquinas no se pueden detener para inspeccionar, la retroalimentación de la información de calidad se utiliza como un enfoque alternativo para ayudar en la toma de decisiones de mantenimiento que puede mejorar no solo la confiabilidad del sistema sino también la calidad del producto. Al final de las corridas, las máquinas se inspeccionan para evaluar sus condiciones con precisión

y se realizan revisiones si la confiabilidad predictiva es menor que el umbral.

- La dependencia económica como la dependencia estructural son consideradas para la toma de decisiones de mantenimiento. Además, tenemos en cuenta la productividad de la máquina en la política de mantenimiento oportunista. El problema integrado se formula como un modelo matemático estocástico restringido que tiene la intención de determinar simultáneamente la duración de un ciclo de producción, el umbral de control de calidad y los umbrales de mantenimiento para minimizar el costo total.

Autor : Vásquez Oyarzún, David Esteban

Año : 2008

Título : “Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en motores detroit 16V-149TI en Codelco División Andina”

Publicación: Tesis para optar al Título de: Ingeniero Mecánico

Institución: Universidad Austral de Chile.

### **Resumen**

En este trabajo se elaboró un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para motores Detroit 16V-149TI. Se desarrolló este mantenimiento basado en la confiabilidad que consiste en aplicar una táctica de mantenimiento a un modo de falla específica.

### **Conclusiones:**

Como resultado el autor llegó a las siguientes conclusiones:

- Para lograr mayor detalle en cuanto a la descripción de la función, falla funcional, modo de falla y consecuencia de la falla, es útil dividir el equipo en subsistemas.
- La metodología del RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) es aplicable para cualquier equipo, solo debe capacitarse a un personal experto o facilitador en RCM, además de brindarle apoyo con el personal técnico.

- Al realizarse un análisis mediante la metodología del RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) a un equipo con poco tiempo de operación, se brinda un apoyo significativo al personal de mantenimiento, para tomar decisiones más efectivas en cuanto a las posibles fallas y las acciones a realizarse.

Autor : Montes Villada, Juan David

Año : 2013

Título : “Diseño de un Plan de Mantenimiento para la flota articulada de Integra

S.A. usando algunas herramientas del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)”

Publicación : Tesis para optar al Título de: Ingeniero Mecánico

Institución : Universidad Tecnológica De Pereira

#### **Resumen:**

En esta investigación se elaboró un plan de mantenimiento enfocado en Mantenimiento centrado en la Confiabilidad en la flota de Integra S.A., para lo cual se desarrolló el Análisis de Modos y Efectos de Fallas, junto con la matriz de criticidad para poder identificar las fallas más críticas. Asimismo, se elaboró un tablero de control para la distribución de las actividades de mantenimiento programadas; además, es importante mencionar que se tuvo en consideración un software de gestión de mantenimiento para el desarrollo de la investigación.

#### **Conclusiones:**

A partir del trabajo realizado el autor llegó a las siguientes conclusiones:

- Al aplicarse la metodología del RCM (Mantenimiento centrado en la Confiabilidad), se deben hacer modificaciones en cuanto al área gerencial, puesto que, se necesita de nuevas áreas competitivas, para la administración y gestión de los procesos, además de implementar tecnologías informáticas y medios computacionales para automatizar tanto como sea posible y lograr un manejo controlado.

- Para el uso de la metodología del RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) se debe tener en cuenta las diferentes actividades propuestas por los distintos tipos de mantenimiento. En este trabajo solo se realizan actividades que se encuentran dentro de estos tres mantenimientos:
  - Mantenimiento Proactivo
  - Mantenimiento Predictivo
  - Mantenimiento Preventivo

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Conceptualización del mantenimiento**

El mantenimiento se ha ido transformando con el paso de los años con el propósito de ayudar a las empresas a superar los retos actuales (Duany y Herrera, 2016).

El mantenimiento tiene como objetivo principal mantener una maquinaria o equipo industrial en buen estado, al tener una buena gestión aumenta la productividad de la empresa, debido a que los costos por un mantenimiento correctivo disminuyen.

Un buen mantenimiento supone que los objetivos y estrategias de mantenimiento no se determinan de forma aislada, sino que de alguna manera se derivan de factores como la política de la empresa, la política de fabricación y otras demandas y limitaciones potencialmente conflictivas en la empresa. Los objetivos de mantenimiento están relacionados con el logro del objetivo de producción (a través de alta disponibilidad) con la calidad requerida y dentro de las limitaciones de la condición y seguridad del sistema. Además, los recursos de mantenimiento se utilizan para que los equipos de fabricación estén en buenas condiciones, la planta alcance su vida útil, se cumplan los estándares de seguridad, se optimice el uso de energía y el consumo de materias primas, entre otros factores.

### **2.2.2. Eficiencia general de los equipos**

Según Mohr (2012), La eficiencia global de los equipos, también conocido como Overall Equipment Effectiveness por sus siglas en inglés OEE está encargada de brindar información del rendimiento y productividad de una maquinaria. En la presente investigación se aplica para la línea de producción de geomembranas.

El indicador está ligado a 3 variables fundamentales: la disponibilidad, rendimiento y calidad, mediante los cuales se logra identificar lo siguiente (Mohr, 2012):

- Detectar fallas comunes en un equipo o maquinaria y lograr mejorarlo mediante un mantenimiento correctivo.
- Reducir costos de mantenimiento correctivo y por ende los costos totales de mantenimiento, así como también de calidad.

### **2.2.3. Análisis de Causa-Raíz**

Es una metodología empleada para encontrar la raíz de un problema específico y con ello la causa, para así lograr mitigar el problema y evitar que se vuelva a presentar. Consta de 5 etapas (Duarte y Prada, 2016):

- Recolección de datos: Teniendo en cuenta todos los posibles factores del problema, recolectar información de la ocurrencia antes, durante y después; y así seleccionar la más relevante.
- Evaluación: Está compuesto por la identificación del problema, relevancia, condiciones e identificar las posibles causas dichas condiciones.
- Acciones correctivas: Una vez que ya se identificó la causa raíz del problema, realizar medidas correctivas para mitigarlo y evitar que vuelva a ocurrir.
- Informe: Se presentan evidencias de las etapas anteriores junto con una descripción detallada.
- Seguimiento: Es la última etapa y tiene como objetivo si el análisis causa raíz ha sido eficiente en reducir o mitigar la ocurrencia del problema



#### **2.2.4. Indicadores de mantenimiento**

##### **Mantenibilidad**

La mantenibilidad es una consecuencia del diseño y la instalación expresada como la probabilidad de que un artículo se retenga o se restaure a una condición específica dentro de un período de tiempo específico. La mantenibilidad está relacionada con la duración de las interrupciones. El análisis de capacidad de mantenimiento se utiliza para evaluar el diseño y la distribución con respecto a los procedimientos de mantenimiento y los requisitos de recursos. La mantenibilidad se refiere a la duración de las interrupciones o cuánto tiempo lleva y qué tan fácil es lograr las acciones de mantenimiento. (Rivera, 2015):

La mantenibilidad es una herramienta que representa el tiempo de operación en un periodo determinado de una maquinaria una vez que el mantenimiento ha sido aplicado. Asimismo, se puede expresar mediante la probabilidad de que se presente una falla en un equipo y sea reparado en el tiempo  $t$ . Se puede expresar mediante la siguiente ecuación (Toro y Céspedes, 2010):

$$M(t) = 1 - e^{-\mu.t}$$

Donde:

$M(t)$ : función de mantenibilidad

$e$ : constante neperiana

$\mu$ : tasa de reparaciones

$t$ : tiempo de reparación

##### **Disponibilidad**

La disponibilidad da una indicación de la duración del tiempo de actividad de la operación. Se requiere de tres factores para lograr una disponibilidad creciente: aumentar el tiempo de falla; disminuir el tiempo de inactividad debido a reparaciones

o mantenimiento programado; y lograr los dos anteriores de una manera rentable. A medida que aumenta la disponibilidad, aumenta la capacidad de generar ingresos porque el equipo está en servicio durante períodos de tiempo más prolongados. (Diestra, Esquivel y Guevara, 2017):

Se expresa de la siguiente forma:

$$D(t) = \frac{\Sigma \text{Tiempo disponible de un equipo sin fallas}}{\Sigma \text{Tiempo disponible de un equipo sin fallas} + \Sigma \text{Tiempo en mto.}}$$

### **Confiabilidad**

La confiabilidad es la probabilidad de que el equipo o proceso funcione sin fallas, cuando se opera según lo prescrito durante un intervalo de tiempo determinado, en las condiciones establecidas. (Mesa, Ortiz y Pinzón, 2006).

La confiabilidad se define por el tiempo que una maquinaria realiza sus operaciones en determinado tiempo y se expresa como se muestra a continuación (Mesa, Ortiz y Pinzón, 2006):

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

Donde:

R(t): confiabilidad de un equipo en un determinado tiempo

e: constante neperiana

$\lambda$ : tasa de fallas

t: tiempo

Los períodos prolongados sin fallas dan como resultado una mayor productividad, se necesitan almacenar menos piezas de repuesto y se emplea menos mano de obra en las actividades de mantenimiento y, por lo tanto, menores costos. Para el proveedor de un producto, la alta confiabilidad se obtiene al completar un período de garantía libre de fallas bajo condiciones de operación específicas con pocas fallas durante la vida de diseño posterior del producto. Mayor disponibilidad, menor tiempo de inactividad, menores costos de mantenimiento y menores gastos

por fallas secundarias dan como resultado mayores ganancias. (Mesa, Ortiz y Pinzón, 2006).

### **2.2.5 *Objetivos del mantenimiento***

El proceso de mantenimiento debe considerarse como una de las operaciones comerciales básicas de una empresa. El objetivo de un proceso de mantenimiento es apoyar y servir al proceso primario, es decir, convertir los insumos en productos valiosos y agregar valor al cliente. El proceso de mantenimiento debe mantener el equipo o los activos en las condiciones de operación deseadas para satisfacer los requisitos del proceso primario. Los objetivos comerciales del proceso de mantenimiento son: aumentar la capacidad del proceso primario; para mejorar el rendimiento del proceso primario, como la calidad, las ganancias, etc., para satisfacer los requisitos reglamentarios, como las normas de seguridad, peligros y medioambientales de una manera rentable. (Freire, 2019)

### **2.2.6 *Tipos de mantenimiento***

Se tiene los siguientes tipos de mantenimiento:

#### **a) *Mantenimiento correctivo***

También conocido como mantenimiento reactivo hace referencia a que los equipos operen con normalidad hasta que ocurra una falla y se genere una parada no programada. En este caso no existe la planificación y programación de las actividades de mantenimiento, por lo que genera lucros cesantes y daños que acortan la vida útil del equipo (Freire, 2019).

#### **b) *Mantenimiento preventivo***

Es considerado una estrategia a través de la cual se realiza una programación de las actividades de mantenimiento en los equipos y maquinarias con la finalidad de realizar inspección, reparación y, de ser necesario, el reemplazo de los componentes.

Todo ello con el propósito de poder anticipar las fallas que se pudiesen presentar, aunque el equipo se encuentre en pleno funcionamiento y así alargar su vida útil (Freire, 2019).

### **c) Mantenimiento autónomo**

El Mantenimiento Autónomo se basa en la metodología 5S, lo que refiere lo siguiente (Ortiz, Rodríguez y Izquierdo, 2013):

- Organización (Seiri): Refiere que en el puesto de trabajo debe haber las herramientas que se necesiten, las mismas que deben estar organizadas, codificadas y en el lugar que corresponda.
- Orden (Seiton): Asegurar que las herramientas y materiales estén ordenados en el lugar que corresponda.
- Limpieza (Seiso): Programar la limpieza en la zona donde se realiza el mantenimiento.
- Estandarización (Seiketsu): Refiere el uso de estándares, etiquetas, colores, etc. Para facilitar así el mantenimiento autónomo.
- Disciplina (Shitsuke): Refiere las rutinas de limpieza e inspección en la producción, de tal forma que sea de acuerdo a los estándares del auto mantenimiento.

### **d) Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo es la política de mantenimiento más reciente y ha sido adoptada por muchos sectores, especialmente en aquellos en los que la confiabilidad es primordial, como plantas de energía, servicios públicos, sistemas de transporte, sistemas de comunicación y servicios de emergencia. En esencia, prevé averías o fallos en un sistema en deterioro para optimizar los esfuerzos de mantenimiento mediante la evaluación del estado del sistema mayoritariamente y / o, en un sentido más amplio, mediante datos históricos del sistema en cuestión. Un programa de mantenimiento predictivo detecta principalmente los primeros signos de falla o falla y luego inicia los procedimientos de mantenimiento en el momento adecuado. Los datos del mantenimiento predictivo brindan información tanto de

diagnóstico como de pronóstico, indicando qué está mal, dónde está el problema, por qué está sucediendo, si indica una falla o simplemente una falla y cuándo ocurrirá una falla, si corresponde. Gracias a toda esta información derivada de los datos del mantenimiento predictivo, los trabajos de mantenimiento se vuelven más proactivos, y por tanto efectivos y eficientes. Además, y, en segundo lugar, que los datos del mantenimiento predictivo proporcionen información de pronóstico también permite que las técnicas del mantenimiento predictivo se utilicen para aplicaciones distintas al mantenimiento, como la estimación del tiempo de funcionamiento de la pila de combustible, la evaluación de la calidad de los productos de segunda mano y la evaluación del desgaste de las herramientas de corte. (Freire, 2019).

#### **e) Mantenimiento productivo total**

Las actividades de Mantenimiento Productivo Total son, por lo general, destinadas al área de producción de una empresa, teniendo en consideración insumos, herramientas, accesorios, entre otros mediante las siguientes estrategias (Morales, 2020):

- Mayor índice de eficacia en los equipos y máquinas
- Plan de mantenimiento preventivo para alargar la vida útil del equipo
- Participación de los trabajadores de todos los niveles
- Incentivar la motivación a partir de la innovación de la gestión de mantenimiento

#### **f) Mantenimiento centrado en confiabilidad**

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se define RCM como un enfoque sistemático para identificar tareas de mantenimiento preventivo eficaces y eficientes para elementos de acuerdo con un conjunto específico de procedimientos y para establecer intervalos entre tareas de mantenimiento. De esta forma, se tiene 7 preguntas básicas en cuanto al equipo y contexto (Castillo, 2017):

- ¿Cuáles son la funciones y parámetros de funcionamiento del equipo?

- ¿Cuáles son las fallas funcionales?
- ¿Cuáles son los modos de falla?
- ¿Cuáles son los efectos de falla?
- ¿Cuáles son las consecuencias de las fallas?
- ¿Qué actividades se pueden llevar a cabo para prevenir la falla?
- ¿Qué se debe realizar en caso no se encuentre una tarea proactiva idónea?

### **2.2.7 Modelos de confiabilidad**

La teoría de la confiabilidad se ocupa del efecto del tiempo medio de reparación sobre las tasas generales de falla del sistema, pero para los sistemas críticos tales cálculos no son lo que se requiere porque un criterio de desempeño importante se relaciona con las fallas operacionales, que son fundamentalmente diferentes de las fallas inseguras: esencialmente son el resultado de la respuesta a nivel del sistema para evitar fallas inseguras.

#### **Función confiabilidad**

La función de confiabilidad  $R(t)$  se define como la probabilidad de éxito durante un período de tiempo  $t$ . La variable aleatoria de interés,  $t$ , es el tiempo de falla. Usando matemáticas estándar de variables aleatorias, podemos relacionar  $R(t)$  con la función de densidad acumulada  $F(t)$ , la probabilidad de falla en el intervalo de tiempo de 0 a  $t$ , con la función de distribución de probabilidad  $f(t)$  de la siguiente manera:

$$R(t) = \int_0^{\infty} f(s) ds$$

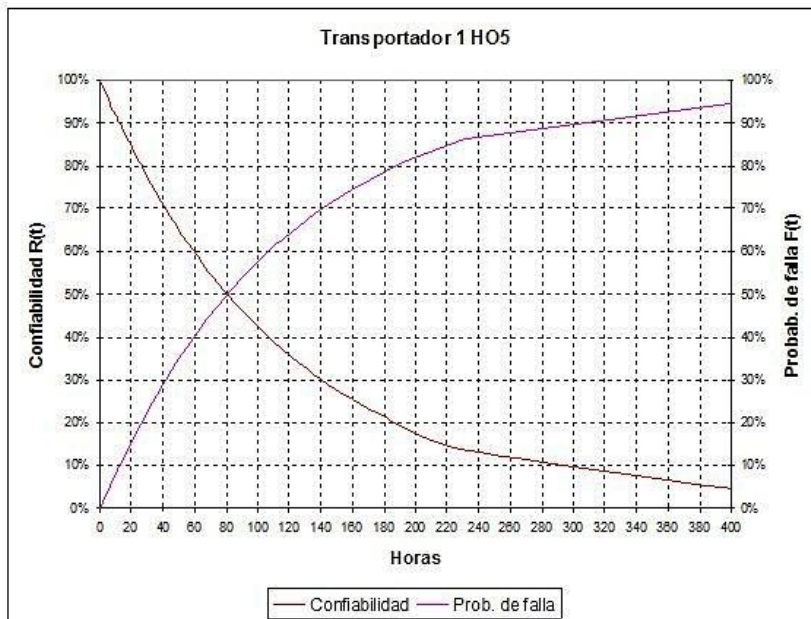
La confiabilidad también se podría definir en términos de la función de distribución acumulativa (cdf), que es la probabilidad de que un ítem falle en el intervalo  $(0, t)$ , resultando de esta relación la siguiente expresión (Reliability web, 2019):

$$R(t) = 1 - P(T < t) = 1 - F(t)$$

La relación entre la función confiabilidad y la función probabilidad de falla se muestra en la figura 10.

**Figura 10.**

*Relación entre la función confiabilidad y función probabilidad de falla*



Nota. Reliability web (2019)

### **Función de riesgo**

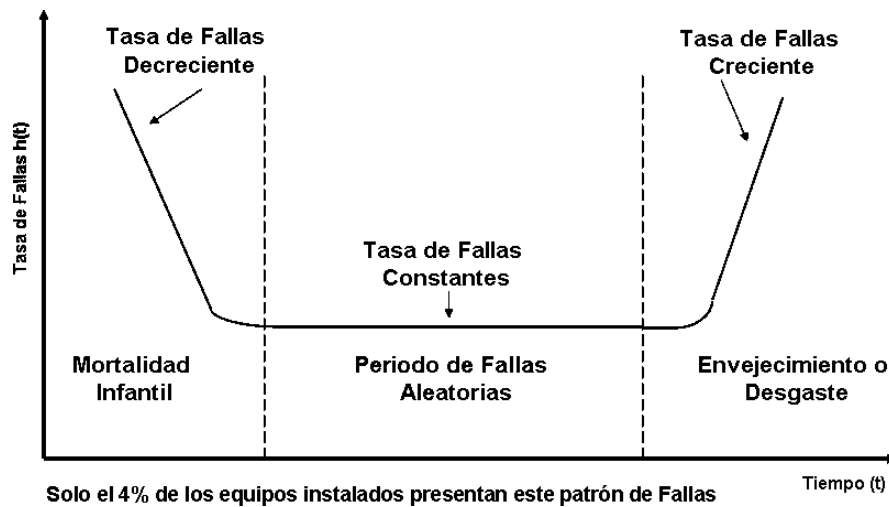
La tasa de falla o función de riesgo  $h(t)$  es también un concepto muy usado en la teoría de la confiabilidad y representa la proporción de artículos que funcionan entre  $t$  y  $t + \Delta t$  de aquellos que aún funcionaban en el instante  $t$ . Su valor se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Hay que tener en cuenta que esta función no es una probabilidad, por lo tanto, pueden existir valores mayores a 1. La función de riesgo  $h(t)$  para un equipo o unidad varía en el tiempo como se muestra en la ecuación descrita. Lo que para efectos prácticos en confiabilidad se le llama la curva de la bañera, esta es una curva que permite analizar las fallas durante el período de vida útil de un equipo. Tiene forma de bañera debido a que la vida útil de los dispositivos tiene un comportamiento que viene reflejado por tres etapas, la mortalidad infantil, las fallas aleatorias y el envejecimiento.

**Figura 11.**

*Curva de bañera*



Nota. Mantenimiento LA (2019)

La curva de la bañera se puede interpretar para cada una de sus etapas de la siguiente manera (Amaya, 2014):

- **Tasa de fallas decreciente:** El sistema presenta menor número de fallas a medida que envejece y esto es conocido también como mortalidad infantil o en inglés como burn in, y las fallas se presentan por lo regular a defectos de materiales, malos diseños, montajes inadecuados, mantenimientos incorrectos, etc.
- **Tasa de fallas constantes:** La probabilidad de falla del sistema es independiente de su edad, esto significa que el sistema podría fallar en cualquier instante de tiempo, estas fallas en general se deben a causas inmediatas o básicas causadas por condiciones técnicas de equipos o del recurso humano.
- **Tasa de fallas creciente:** El sistema presenta más fallas a medida que aumenta de edad, esto se conoce también como envejecimiento o wearout. Las fallas en esta etapa presentan desgaste de los elementos, envejecimiento o pérdida de funcionalidad. En esta etapa hay que decidir si las reparaciones del equipo pueden llegar a ser más costosas que adquirir un equipo nuevo.



Para los componentes y equipos electrónicos la zona de velocidad de falla creciente no es muy pronunciada ya que en la mayoría de ellos el fenómeno de wearout o envejecimiento no es tan frecuente.

- **Tiempo medio entre fallas (MTBF)**

El tiempo medio entre fallas (MTBF, es un término muy utilizado en confiabilidad para equipos eléctricos, electrónicos y mecánicos para saber cuál es el tiempo promedio en que el equipo no falla. En términos matemáticos es la esperanza de  $t$  ( $t$  siendo el tiempo entre 2 fallas), dada la función de distribución  $f(t)$  (Amaya, 2014):

$$MTBF = E(t) = \int_0^{\infty} tf(t)dt$$

Y al integrar por partes se obtiene:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt$$

### **2.2.8 Estudios de confiabilidad**

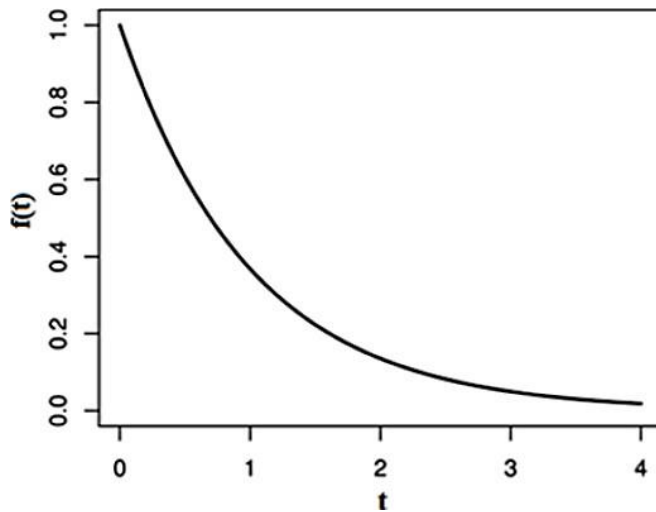
En la teoría de la confiabilidad, hay varios tiempos medios para las distribuciones de falla que podrían usarse. Estas distribuciones tienen propiedades que las hacen más útiles y aplicables en determinados casos. Las distribuciones de mayor uso en el cálculo de los índices de confiabilidad y la mantenibilidad, son la Exponencial, la Normal y la de Weibull.

#### **Distribución Exponencial**

Este es uno de los tiempos medios de distribución de fallos más utilizados debido a su simplicidad y facilidad de uso. La distribución exponencial se caracteriza por el uso de una tasa de falla constante. Este suele ser el caso de los componentes electrónicos y mecánicos. La distribución exponencial es una buena opción para representar componentes no redundantes que constan de muchas partes que interactúan.

**Figura 12.**

*Distribución exponencial estándar*



Nota. Quiñones (2012)

La función de densidad de probabilidad exponencial (pdf) se define como:

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

Donde,  $\lambda$  es la tasa de fallas.

**La función de distribución acumulativa de falla:**

$$F(T) = P(T < t) = \int_0^t f(t)dt = \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

**Función de confiabilidad o supervivencia:**

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - [1 - e^{-\lambda t}]$$

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

**Función de riesgo:**

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}}$$

$$h(t) = \lambda$$

Mientras que el tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

### **Función de mantenibilidad:**

Las características de mantenibilidad generalmente están determinadas por el diseño del equipo, que debe dictar los procedimientos de mantenimiento establecidos y determinar la duración del período normalmente requerido para las reparaciones. La figura de mérito clave para la mantenibilidad es el tiempo medio de reparación (MTTR): indica la facilidad con la que el hardware o software se puede restaurar a un estado de funcionamiento. Cuantitativamente es el tiempo de inactividad total para mantenimiento, incluido todo el tiempo necesario para: diagnóstico, resolución de problemas, desmantelamiento, remoción / reemplazo, tiempo de reparación activa, prueba de verificación de que la reparación es adecuada, demoras en los movimientos logísticos y tardanzas administrativas. A menudo se expresa como:

$$M(t) = P(TTR \leq t) = \int_0^t m(t) dt$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

Donde  $\mu$  es la tasa de reparaciones.

Mientras que el tiempo medio para reparar (MTTR):

$$MTTR = \frac{1}{\mu}$$

### **Distribución Normal**

Aunque la distribución normal es probablemente la distribución más utilizada en estadística, es una distribución de vida muy limitada en los estudios de confiabilidad debido a su impracticabilidad. Esta impracticabilidad se debe al hecho de que una variable aleatoria distribuida normalmente podría tener cualquier valor en

el rango  $(-\infty, +\infty)$ . La distribución normal es muy útil para modelar la región de desgaste de los equipos. La distribución normal de T también es muy útil para el modelado de fuerza-estrés.

La función de densidad de probabilidad normal (pdf) viene dada por:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Donde:

$\sigma$  : desviación estándar y es el parámetro de escala de la pdf normal.

$\mu$  : es la media y el parámetro de localización.

La función de confiabilidad se obtiene:

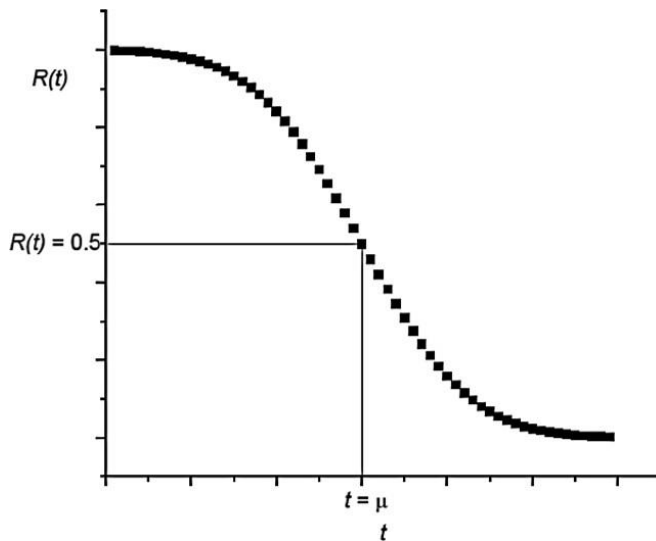
$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Usando la función de distribución normal acumulativa tabulada  $\Phi$ , se obtiene:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$$

**Figura 13.**

*Función confiabilidad de la ley Normal de falla*



*Nota.* Salazar, Fitz, López y Rojano (2017)

Mientras que la **Función de riesgo**:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}}{\int_t^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} x e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt}$$

Siendo el **tiempo medio entre fallas (MTBF)**:

$$MTBF = \mu$$

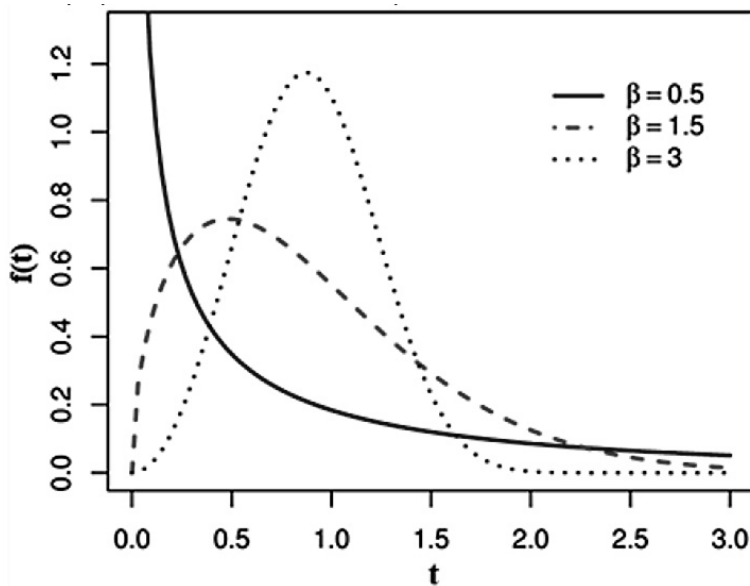
### **Distribución Weibull**

La distribución de Weibull se usa ampliamente en aplicaciones de confiabilidad para modelar tiempos de falla. Dentro de la distribución de Weibull se considera generalmente 3 parámetros:

- Parámetro de forma ( $\beta$ )
- Parámetro de ubicación ( $\gamma$ )
- Parámetro de escala ( $\eta$ )

**Figura 14.**

*Probabilidad de falla para diferentes valores del parametro de forma*



Nota. Quiñones (2012)

En general, una función de distribución de probabilidad (pdf) típica de Weibull se define por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Mientras que la **función de distribución de falla**:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

La **función de confiabilidad o supervivencia**:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

La **función de riesgo**:

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

El **tiempo medio entre fallas (MTBF)**:

$$MTBF = \gamma + \eta r \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

El tiempo medio para reparar (MTTR):

$$MTTR = \gamma + \eta r \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

La función de mantenibilidad:

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{y}\right)^\beta}$$

El parámetro  $\beta$  de la forma de Weibull indica si la tasa de fallas aumenta, es constante o disminuye.

Si  $\beta < 1$ , el sistema o componente tiene una tasa de fallas decreciente. Este escenario es típico de la "mortalidad infantil" e indica que el sistema o componente está fallando durante su período de "quemado".

$\beta = 1$ , hay una constante tasa de fracaso. Los componentes que han sobrevivido al quemado exhibirán con frecuencia una tasa de falla constante.

$1 < \beta$ , hay una tasa de falla creciente. Esto es típico de los artículos que se están desgastando.

### 2.3 Marco conceptual

Precisamos el uso de algunos términos que se utilizan de manera particular para apoyar la explicación.

- **Ciclo de vida:** Hace referencia a la suma de etapas de un producto o servicio en específico que se destinan a la satisfacción de un requerimiento desde el inicio hasta el fin de la vida útil (Luna, Riba y Maury, 2006).
- **Confiabilidad o fiabilidad:** Es la probabilidad de que el equipo o proceso funcione sin fallas, cuando se opera según lo prescrito durante un intervalo de tiempo determinado, en las condiciones establecidas (Mesa y Ortiz, 2006).

- **Disponibilidad:** La disponibilidad da una indicación de la duración del tiempo de actividad de la operación. (Mesa y Ortiz, 2006).
- **Efectividad de un sistema:** La eficacia del sistema es una medida de la capacidad de un sistema para lograr un conjunto de requisitos de misión específicos (Cavalcanti, 2006).
- **Falla:** La falla es la terminación de la capacidad del equipo para realizar una función requerida (función o combinación de funciones que se consideran necesarias para que el equipo brinde un servicio determinado) (Chuquimango y Cotrina, 2017).
- **Gestión:** La gestión es la coordinación y administración de tareas para lograr un objetivo.
- **Gestión del Mantenimiento:** La gestión del mantenimiento es importante para asegurar la mejora constante del rendimiento de los equipos, asegurando la calidad de funcionamiento en condiciones seguras para las personas y el medio ambiente (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera y Crespo, 2013).
- **Geomembrana:** Es una lámina flexible procesada que permite impermeabilizar distintas áreas.
- **Mantenimiento:** El mantenimiento se define como una combinación de todas las actividades técnicas y administrativas asociadas necesarias para mantener los equipos, instalaciones y otros activos físicos en la condición operativa deseada o restaurarlos a esta condición. (Chuquimango y Cotrina, 2017).
- **Mantenibilidad:** Es una consecuencia del diseño y la instalación expresada como la probabilidad de que un artículo se retenga o se restaure a una condición específica dentro de un período de tiempo específico. (Mesa y Ortiz, 2006).
- **Proceso:** Un proceso es una serie de pasos y decisiones involucrados en la forma en que se completa el trabajo.
- **Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF):** El tiempo medio entre fallas es una predicción del tiempo entre las fallas innatas de una pieza de maquinaria durante las horas normales de funcionamiento. (Chuquimango y Cotrina, 2017).



- **Tiempo Medio de Reparación (TMR=MTTR):** Es el tiempo medio necesario para reparar un componente o dispositivo defectuoso y devolverlo al estado de producción. (Chuquimango y Cotrina, 2017).
- **Pellets:** Hace referencia a un combustible de biomasa granulado de forma alargada hecho de madera conformado por una masa redonda. Asimismo, es importante considerar que es un recurso renovable y de fácil accesibilidad por la utilización de desechos en distintas industrias (Vinces y Poggi, 2014).
- **Pelletizado:** Es el proceso mecánico de transformar materias primas finamente divididas, en estado de polvo, impalpables o de difícil manejo; en materias más grandes.
- **Extrusora:** Esta referido a cualquier actividad que implique transformar un material fundido, el cual atraviesa una boquilla para generar un artículo de forma transversal constante y de una longitud definida (Suárez, 2018).

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo de investigación**

Esta investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, siendo su alcance el propio de un estudio descriptivo, para calcular los parámetros de la distribución de probabilidad de falla y poder determinar los tiempos relacionados con las actividades de mantenimiento, así como su impacto sobre el funcionamiento de equipos en la industria.

Asimismo, la presente investigación podrá ser aplicada a la producción e geomembranas porque se puede mencionar que la presente investigación también es de tipo tecnológica aplicada.

### **3.2. Diseño de la investigación**

Desde el punto de vista del investigador, este estudio tiene un diseño no experimental, donde la recolección de datos de los procesos se realiza como un estudio transversal. Se recolectan datos a través de los cálculos de parámetros de la distribución de probabilidad de falla con la ayuda de Excel, luego se procesa la información y se analizan los resultados para aceptar o rechazar las hipótesis planteadas.

### **3.3. Unidad de análisis**

Las unidades de análisis son los equipos utilizados por la empresa en estudio para la fabricación de las geomallas.

### 3.4. Población de estudio

Todos los equipos utilizados en la línea de producción, a los que va dirigido el análisis propuesto, para lograr su normal funcionamiento.

### 3.5. Definición operacional de variables

**Tabla 7.**

*Matriz de Operacionalización de las variables*

Problema	Tipos	Variable	Dimensiones	Indicadores
¿El análisis de confiabilidad aplicada al área de Mantenimiento de las máquinas productoras de geomembranas en la industria plástica ECO SYSTEM SAC contribuye a la optimización de su gestión?	Independiente	Análisis de confiabilidad	OEE (Efectividad Global de los Equipos)	$OEE = \text{Disponibilidad} * \text{Eficiencia} * \text{Calidad}$
	Dependiente	Optimización del área de Mantenimiento	Disponibilidad  Eficiencia  Calidad	$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo programado de producción} - \text{tiempo no programado}}{\text{Tiempo programado de producción}}$  $\text{Eficiencia operacional} = \frac{\text{Tiempo del ciclo teórico} * \text{producción}}{\text{Tiempo del ciclo real}}$  $\text{Calidad} = \frac{\text{Unidades producidas} - \text{Producción con defectos}}{\text{Unidades producidas}}$

*Nota.* El Autor

### **3.6. Procesamiento y análisis de datos**

La información recogida es trabajada en Excel para la obtención de los indicadores establecidos en la operacionalización de las variables. Para esto es necesario que se realicen dos mediciones, la primera que sirve como línea base y la segunda que se deberá llevar a cabo para evaluar posteriormente su evolución al introducir los cambios que autorregulen el proceso. Para realizar el cálculo del modelo se utiliza el programa Excel, este software nos permite determinar los parámetros que caracterizan la distribución de probabilidad de falla.

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS**

### **4.1. Justificación del análisis Weibull**

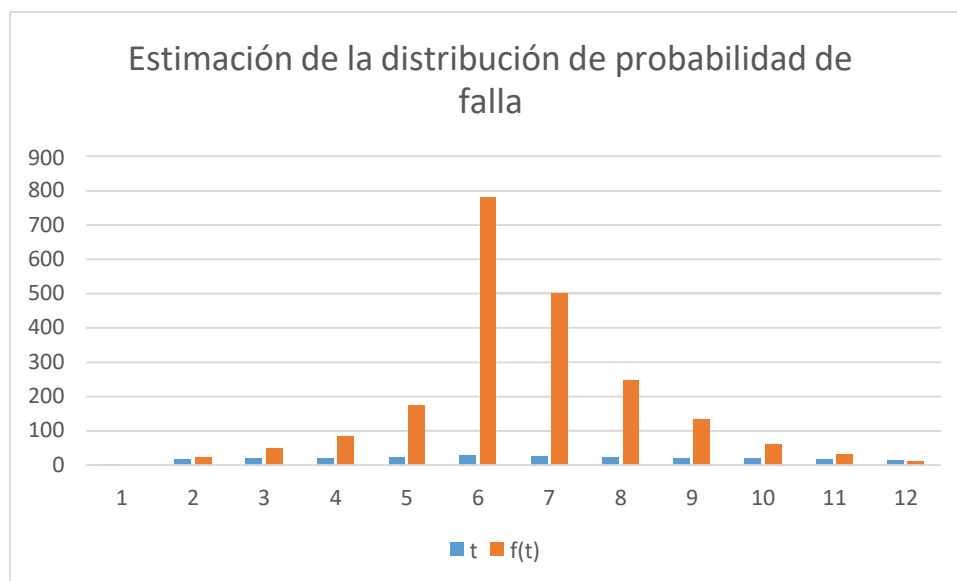
La distribución Weibull nos permite estudiar cuál es la distribución de fallas de un componente que se desea controlar y que por medio del registro de fallas se observa que varían dentro del tiempo normal de uso.

El método no determina cuáles son las variables que influyen en la tasa de fallas, pero sí facilita la identificación y dispone una herramienta de predicción de comportamientos

El uso de la función de distribución de Weibull en los estudios de fiabilidad de los componentes se debe a las distintas formas que este modelo puede tomar, según los valores de los parámetros característicos. Esto nos permite usar un mismo modelo, independientemente de en qué forma varía la tasa de fallas del componente estudiado, simplificando en gran medida la tarea de los análisis de los resultados. A continuación, en la figura 16 se muestra una estimación de la distribución de probabilidad de falla, ajustándose de esa manera a la distribución Weibull.

**Figura 15.**

*Estimación de la distribución de probabilidad de falla*



Nota. El Autor

#### 4.2. Análisis de Weibull

Se realizó una estimación de la distribución de probabilidad de falla Para determinar los nuevos flujos de mantenimiento preventivo y correctivo, se debe calcular MTBF (tiempo medio entre fallas) y MTTR (tiempo medio de reparación), así como la vida útil de los equipos presentes actualmente en la empresa y la confiabilidad de los equipos de acuerdo a su funcionamiento de las horas entre fallas. Para ello se toma el tiempo total operativo y de paradas por mantenimiento correctivo realizado en la empresa.

**Tabla 8.**

*Horas Mantenimiento Correctivo – año 2016*

Mes	HORAS	Paradas por mantenimiento
Enero	23.4	4
Febrero	18.5	6
Marzo	17.3	6
Abril	2.1	1
Mayo	25.6	8
Junio	20.1	7
Julio	27	7

Agosto	14.4	9
Septiembre	22.3	7
Octubre	21.5	8
Noviembre	16.4	5
Diciembre	19.2	6
<b>TOTAL</b>	<b>227.8</b>	<b>74</b>

*Nota.* El Autor

Por lo que se tomará 227.8 horas por paradas de mantenimiento correctivo y el tiempo programado en el año son 2920 horas por año.

### **MTBF - Tiempo Medio Entre Fallas**

El Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), es el promedio del tiempo que transcurre entre una falla y la otra, es decir el tiempo que pasa entre una falla y la siguiente y que ocasiona la ejecución del mantenimiento correctivo, la fórmula es:

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo operativo} - \textit{Tiempo de paradas por fallas}}{\textit{Total de incidentes de fallas}}$$

De la tabla, el tiempo operativo = 2920 horas

Tiempo de paradas por mantenimientos correctivos (fallas) = 227.8 horas

Teniendo una frecuencia de 74 de mantenimiento correctivos al año, por lo tanto:

$$MTBF = 7.85 \textit{ horas}$$

Es decir, cada 7.85 horas ocurre la ejecución de un mantenimiento correctivo. Este valor nos favorecerá para programar un determinado mantenimiento preventivo antes de que ocurra una falla, por lo tanto, el índice de fallas es:

$$\textit{Índice de Fallas} = \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{7.85} = 12.7\%$$

## MTTR – Tiempo medio para reparar

El Tiempo Medio Para Reparar (MTTR), es el tiempo medio necesario para reparar un componente o dispositivo que ha fallado, se utiliza la fórmula:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de paradas por fallas}}{\text{Total de incidentes de fallas}}$$

De la tabla, el tiempo de paradas por fallas es 227.8 horas y el total de incidentes de fallas es 74, por lo tanto:

$$MTTR = \frac{227.8}{74} = 3.96 \text{ horas}$$

Es decir que cada mantenimiento correctivo tiene una duración de 3.96 horas. A continuación, se muestran los resultados:

### Tabla 9.

#### Cálculos MTBF y MTTR

Calculo MTBF y MTTR	
Año	2016
Nombre	Producción
Tiempo programado	592
<b>Frecuencia</b>	74
<b>MTBF</b>	4.92
	<u>3.08</u>

Nota. El Autor

El Análisis de Weibull, puede ser útil para diagnosticar la causa raíz de fallas de diseño específicos, tales como fallas imprevistas o prematuras. Las anomalías se resaltan cuando los ítems fracasan inusualmente en comparación con el resto de la población de equipos.



Cuando  $\beta < 1.0$  indica que el producto tiene una tasa de fracaso decreciente y los equipos son relativamente nuevos.

Cuando  $\beta = 1.0$  indica una tasa de fracaso constante.

Cuando  $\beta > 1.0$  indica una tasa de fallas creciente. Esto es típico de los equipos con desgaste y ya tienen años produciendo.

La función de Weibull se puede transformar a una ecuación lineal como se muestra a continuación:

**Figura 16.**

*Ecuación Weibull*

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta}$$

$$1 - F(x) = e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta}$$

$$\ln(1 - F(x)) = -\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta$$

$$\ln\left(\frac{1}{1 - F(x)}\right) = \left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta$$

$$\ln\left[\ln\left(\frac{1}{1 - F(x)}\right)\right] = \beta \ln\left(\frac{x}{\alpha}\right)$$

$$\ln\left[\ln\left(\frac{1}{1 - F(x)}\right)\right] = \beta \ln x - \beta \ln \alpha$$

*Nota.* Quality Digest (2016)

Por lo que se programarán de acuerdo en EXCEL, como se muestra a continuación:

**Tabla 10. Programación en excel**

	F(X)=MR			
	F(x)=1-e^-			
	(x/a)^B			
Se ordena de	MR=(J-		ln(ln(1/(1-F(X)))	
menor a	0.3)/(N+0.4)	1/(1-F(X))	=LN(LN(H8))	=LN (E10)
mayor	=(F8-	=1/(1-G8)	Eje Y	Eje X

$$0.3)/(\$C\$121+0.4))$$

Ítem	Falla	Horas de falla	Ran k	Median Ranks	1/(1-Median Rank)	ln(ln(1/(1-Median Rank)))	ln (hora de falla)
------	-------	----------------	-------	--------------	-------------------	---------------------------	--------------------

Nota. El Autor.

En la tabla 11, se muestra los cálculos necesarios para hallar la ecuación de Weibull, “Median Ranks” se refiere a los rangos medios. Para completar la tabla primero se colocan las horas de parada por mantenimiento en orden (menor a mayor), luego se programan las fórmulas que arriba se especifican y se calculan los valores para cada una de las columnas.

Para calcular los parámetros de Weibull, se debe utilizar la función de REGRESIÓN en EXCEL, para los Ejes x e y. La tabla se completa de la siguiente manera:

**Tabla 11.**

*Cálculo de análisis Weibull*

Ítem	Falla	Horas de falla	Ran k	Median Ranks	1/(1-Median Rank)	ln(ln(1/1-Median Rank))	ln(hora de falla)	
1	5.0		1	1	0.009	1.009081736	-4.706013735	0
2	7.0		1	2	0.023	1.023541453	-3.760649309	0
3	6.0		1	3	0.036	1.037344398	-3.305960358	0
4	5.4		1	4	0.050	1.052631579	-2.970195249	0
5	4.0		1	5	0.063	1.067235859	-2.73226098	0
6	3.0		1	6	0.077	1.083423619	-2.524154328	0
7	3.5		1	7	0.090	1.098901099	-2.361160846	0
8	3.0		1	8	0.103	1.114827202	-2.219168849	0
9	2.0		1	9	0.117	1.132502831	-2.08401134	0
10	3.0		1	10	0.130	1.149425287	-1.971397744	0
11	2.3		1	11	0.144	1.168224299	-1.86120664	0
12	4.0		2	12	0.157	1.18623962	-1.767330378	0.693147181
13	3.0		2	13	0.171	1.206272618	-1.673789124	0.693147181
14	1.0		2	14	0.184	1.225490196	-1.59287128	0.693147181
15	4.0		2	15	0.198	1.246882793	-1.51119263	0.693147181
16	3.0		2	16	0.211	1.267427123	-1.439741729	0.693147181
17	2.1		2	17	0.224	1.288659794	-1.371986178	0.693147181

18	3.6	2	18	0.238	1.312335958	-1.302656683	0.693147181
19	3.0	2	19	0.251	1.335113485	-1.241272207	0.693147181
20	1.0	2	20	0.265	1.360544218	-1.178029658	0.693147181
21	4.0	2	21	0.287	1.402524544	-1.083899479	0.693147181
22	5.0	2	22	0.292	1.412429379	-1.063309282	0.693147181
23	4.0	2	23	0.305	1.438848921	-1.011031632	0.693147181
24	3.0	2	24	0.319	1.468428781	-0.956610319	0.693147181
25	2.0	2	25	0.332	1.497005988	-0.907660318	0.693147181
26	3.0	2	26	0.345	1.526717557	-0.86009935	0.693147181
27	2.1	3	27	0.359	1.560062402	-0.810297317	1.098612289
28	3.0	3	28	0.372	1.592356688	-0.765255373	1.098612289
29	1.0	3	29	0.386	1.628664495	-0.717931078	1.098612289
30	3.0	3	30	0.399	1.663893511	-0.674992293	1.098612289
31	4.0	3	31	0.413	1.703577513	-0.629739688	1.098612289
32	4.0	3	32	0.426	1.742160279	-0.588560375	1.098612289
33	3.0	3	33	0.440	1.785714286	-0.545040164	1.098612289
34	3.0	3	34	0.453	1.828153565	-0.505329958	1.098612289
35	6.0	3	35	0.466	1.872659176	-0.466235633	1.098612289
36	2.0	3	36	0.480	1.923076923	-0.424760369	1.098612289
37	2.0	3	37	0.493	1.972386588	-0.386774459	1.098612289
38	6.0	3	38	0.507	2.028397566	-0.346376576	1.098612289
39	5.0	3	39	0.520	2.083333333	-0.309288247	1.098612289
40	1.4	3	40	0.534	2.145922747	-0.269750941	1.098612289
41	2.0	3	41	0.547	2.207505519	-0.233366688	1.098612289
42	1.0	3	42	0.560	2.272727273	-0.197255858	1.098612289
43	2.0	3	43	0.574	2.34741784	-0.158625422	1.098612289
44	1.0	3	44	0.587	2.421307506	-0.122950216	1.098612289
45	2.0	3	45	0.601	2.506265664	-0.084693489	1.098612289
46	1.0	3	46	0.614	2.590673575	-0.049276477	1.098612289
47	2.0	3	47	0.628	2.688172043	-0.011201074	1.098612289
48	2.0	3	48	0.641	2.78551532	0.024139182	1.098612289
49	1.0	4	49	0.655	2.898550725	0.06223355	1.386294361
50	3.0	4	50	0.668	3.012048193	0.097689447	1.386294361
51	4.3	4	51	0.681	3.134796238	0.133275014	1.386294361
52	5.0	4	52	0.695	3.278688525	0.171802679	1.386294361
53	4.0	4	53	0.708	3.424657534	0.207828047	1.386294361
54	4.0	4	54	0.722	3.597122302	0.246964889	1.386294361
55	1.0	4	55	0.735	3.773584906	0.283693217	1.386294361
56	3.0	4	56	0.749	3.984063745	0.323750471	1.386294361
57	2.5	4	57	0.762	4.201680672	0.361502496	1.386294361

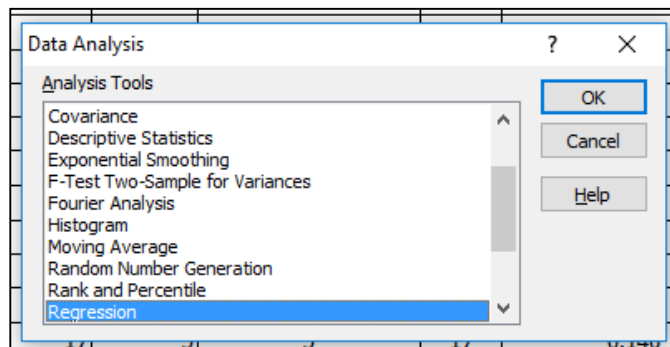
58	2.0	4	58	0.776	4.464285714	0.40286789	1.386294361
59	2.0	4	59	0.789	4.739336493	0.442052322	1.386294361
60	3.0	4	60	0.802	5.050505051	0.482110203	1.386294361
61	1.0	4	61	0.816	5.434782609	0.526395495	1.386294361
62	3.0	4	62	0.829	5.847953216	0.568769039	1.386294361
63	5.0	4	63	0.843	6.369426752	0.616001238	1.386294361
64	4.4	5	64	0.856	6.944444444	0.661626575	1.609437912
65	3.0	5	65	0.870	7.692307692	0.713058051	1.609437912
66	2.0	5	66	0.883	8.547008547	0.763410539	1.609437912
67	4.0	5	67	0.897	9.708737864	0.821112111	1.609437912
68	3.0	5	68	0.910	11.11111111	0.878773939	1.609437912
69	4.2	5	69	0.923	12.98701299	0.941548982	1.609437912
70	3.0	5	70	0.937	15.87301587	1.016903393	1.609437912
71	1.0	6	71	0.950	20	1.0971887	1.791759469
72	5.0	6	72	0.964	27.77777778	1.201239976	1.791759469
73	3.0	6	73	0.977	43.47826087	1.327674573	1.791759469
74	3.0	7	74	0.991	111.1111111	1.549800577	1.945910149

Nota. El Autor.

Para realizar el análisis de Weibull, se utiliza la función de Regresión:

### Figura 17.

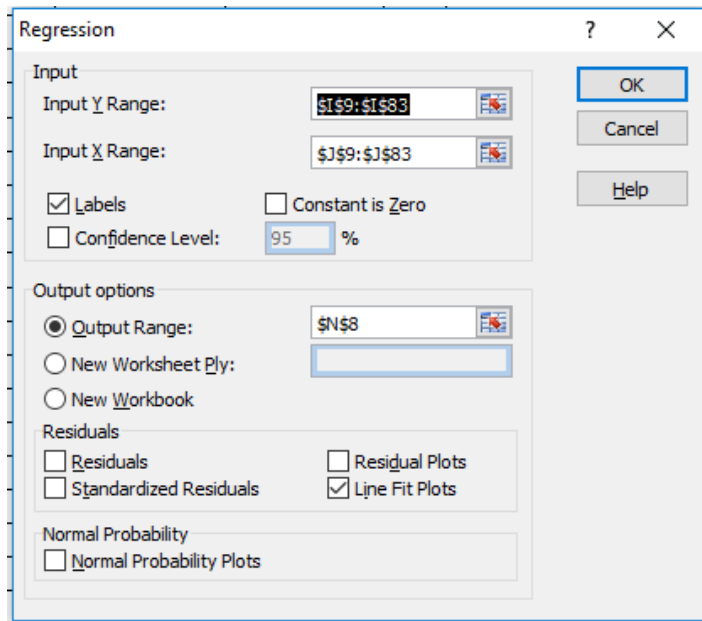
#### Función regresión en Excel



Nota. Excel (2017)

**Figura 18.**

*Datos de regresión*



Nota. Excel (2017)

Los resultados del análisis se muestran en la siguiente tabla 13:

**Tabla 12.**

*Análisis de Weibull*

---

**SUMMARY**

**OUTPUT**

---

Regression Statistics

Multiple R	0.94718	
R Square	0.89716	Los datos se adecúan a la curva
Adjusted R Square	0.89573	
Standard error	0.3379	
Observations	74	

ANOVA

---

	df	SS	MS	F	Significance F
--	----	----	----	---	----------------

---

				628.1				
Regression	1	71.72	71.72	3	2.70E-37			
Residual	72	8.22	0.11					
Total	73	79.94						

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	-6.32	0.21	-30.39	8.27E-43	-6.74	-5.91	-6.74	-5.91
ln(hora de falla)	2.91	0.12	25.06	2.70E-37	2.68	3.14	2.68	3.14
Beta (B)	2.91			p<0.05				
Eta (a)	8.79							

Los datos se adecúan a la curva

Intercept OK  
ln(hora de falla) OK

RESIDUAL  
OUTPUT

Observation	ln(ln(1/(1-Median Rank)))	Residuals
1	-6.32	1.66
2	-3.13	-1.07
3	-3.13	-0.6
4	-3.13	-0.28
5	-2.29	-0.87
6	-2.29	-0.68

Nota. El Autor.

Para completar los resultados dados por EXCEL, ya que son del análisis de regresión, se ha colocado los valores de Beta y Eta, Beta ( $\beta$ ) es igual al logaritmo de la hora de falla = 2.9, y Eta ( $\alpha$ ) =  $\text{Exp}(-x/\beta) = \text{Exp}(6.32/2.9) = 8.79$ .

De los resultados, se debe revisar  $R^2=0.89$ , y los valores de p son menores a 0.05 por lo que los datos se adecúan a la curva.

El valor  $\beta = 2.91 > 1.0$  lo cual indica que la tasa de fallas es creciente y los equipos ya son usados y tienen varios años de trabajo. Por lo tanto, el cálculo de

confiabilidad se calcula cuando el valor de beta es mayor que 1 y el valor de MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) es menor que el valor de beta. Esto significa el desgaste prematuro de los equipos o que los equipos son antiguos. Tienen un mayor desgaste ya que se tiene una parada por mantenimiento correctivo cada 7.85 horas y la reparación dura un tiempo medio de 3.96 horas. El cálculo de confiabilidad indica que cuando han pasado 7 horas la confiabilidad de los equipos es de 59.81% y la probabilidad que falle es de 40.19%. Como se muestra a continuación en la tabla 14:

**Tabla 13.**

*Confiabilidad de equipos*

<b>CALCULO DE CONFIABILIDAD</b>				
		<b>Horas</b>	<b>Probabilidad falla</b>	<b>Confiabilidad</b>
Beta (parámetro pendiente) =	2.91	0	0	1.0000
Eta (Característica vida) =	8.8	3	0.0254	0.9746
MTBF =	7.85	5	0.1756	0.8244
MTRR =	3.96	8	0.4664	0.5336
		10	0.7656	0.2344
		13	0.9377	0.0623
		15	0.9911	0.0089
		18	0.9994	0.0006
		20	1.0000	0
		20	1.0000	0
		<b>Confiabilidad</b>	<b>Horas</b>	<b>FFI</b>
Alerta	0.01	15	15.5	
Disminuir	0.1	12	14.1	
Parar	0.5	8	7.8	
Mitigar	0.9	4	1.6	
Reemplazar	0.99	2	0.2	
Prevenir	0.999	1	0	

**CALCULOS DE CONFIABILIDAD- METODO DE DISTRIBUCION DE WEIBULL**

$$R=1-EXP^{-(t/Alpha)^Beta}$$

**CÁLCULOS DE MANTENIMIENTO, FAILURE-FINDING**

**INDEX**  $FFI=2*(1-R)*MTBF$

**BETA** 2.91

<b>ETA</b>	9
<b>Horas</b>	7
<b>Confiabilidad</b>	0.5981
<b>Probabilidad de falla</b>	0.4019

*Nota.* El Autor

La nivelación de los mantenimientos se realiza con los datos que se han calculado anteriormente teniendo presente los cálculos de MTBF para incrementar los mantenimientos preventivos y predictivos y reducir los correctivos, como se muestra a continuación:

#### **Tabla 14.**

##### *Datos para mejora*

---

52 semanas en 1 año
4.33333 veces por mes de m. preventivo
MTBF 7.847 horas
MTTR 3.957 horas
Predictivo 10 minutos 0.16667 horas 5S 2 veces por día
Preventivo 3.957

---

*Nota.* El Autor.

Se debe realizar un mantenimiento preventivo 4.33 veces por mes por 3.95 horas cada uno, ya que según los datos entregados por la empresa, los preventivos se dan por ejemplo 6 horas por mes, por lo que indica sólo 1 mantenimiento preventivo en 1 mes.

El mantenimiento predictivo sólo es por 10 minutos y realizado por el operario responsable de su área de trabajo 2 veces al día. Considerando un preventivo 3.95 horas.



Por lo tanto, a continuación, se presentan los cálculos para incrementar los mantenimientos preventivos y predictivos:

**Tabla 15.**

*Cálculos de Mejora*

Mes 2016	Días Laborables	Horas Teórico-Operativo	Ciclo Teórico-Operativo Horas	Unidades Producidas Por Mes	Correctivos Atendidos	Correctivo Horas	Rollos Con Defecto	Total Paradas	Horas Teórico Operativo	M. Preventivo Horas	M. Predictivo Horas	M. Preventivo Actual
Enero	21	168	0.1646	782	4	23.4	13	6.94	168	17.15	7.0	6
Febrero	19	152	0.1646	588	6	18.5	9	5.48	152	17.15	6.3	2
Marzo	20	160	0.1646	713	6	17.3	10	5.13	160	17.15	6.7	6
Abril	20	160	0.1646	338	1	2.1	3	0.62	160	17.15	6.7	5
Mayo	22	176	0.1646	780	8	25.6	15	7.59	176	17.15	7.3	4
Junio	21	168	0.1646	738	7	20.1	12	5.96	168	17.15	7.0	3
Julio	18	144	0.1646	689	7	27	16	8	144	17.15	6.0	7
Agosto	22	176	0.1646	716	9	14.4	13	4.27	176	17.15	7.3	8
Setiembre	21	168	0.1646	788	7	22.3	12	6.61	168	17.15	7.0	3
Octubre	20	160	0.1646	607	8	21.5	10	6.37	160	17.15	6.7	5
Noviembre												
e	21	168	0.1646	677	5	16.4	9	4.86	168	17.15	7.0	4
Diciembre	18	144	0.1646	662	6	19.2	14	5.69	144	17.15	6.0	8
TOTALES	243	1944		8078	74	227.8	136	67.52	1944	205.8	81	61
												70%
												15%

Nota. El Autor.

Por lo tanto, al aplicar los cálculos para determinar el OEE de la mejora tenemos:

**Tabla 16.**

*OEE Mejora*

Fecha	Tiempo programado (horas)	Tiempo de paradas (horas)	Time Ciclo Teórico (horas)	Total de unidades producidas	Tiempo operativo	Cant. De defectos	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	OEE
2016					<b>Estándar World Class</b>		<b>90%</b>	<b>95%</b>	<b>99%</b>	<b>85%</b>
Ene	168	6.94	0.16455053	782	161.06	13	95.87%	79.92%	98.37%	75.37%
Feb	152	5.48	0.16455053	588	146.52	9	96.39%	66.01%	98.49%	62.67%
Mar	160	5.13	0.16455053	713	154.87	10	96.79%	75.71%	98.54%	72.22%
Abr	160	0.62	0.16455053	338	159.38	3	99.61%	34.91%	99.12%	34.47%
May	176	7.59	0.16455053	780	168.41	15	95.69%	76.20%	98.10%	71.53%
Jun	168	5.96	0.16455053	738	162.04	12	96.45%	74.99%	98.39%	71.17%
Jul	144	8	0.16455053	689	136	16	94.44%	83.35%	97.68%	76.89%
Ago	176	4.27	0.16455053	716	171.73	13	97.57%	68.64%	98.18%	65.76%
Set	168	6.61	0.16455053	788	161.39	12	96.07%	80.33%	98.50%	76.01%
Oct	160	6.37	0.16455053	607	153.63	10	96.02%	65.03%	98.34%	61.40%
Nov	168	4.86	0.16455053	677	163.14	9	97.11%	68.25%	98.73%	65.44%
Dic	144	5.69	0.16455053	662	138.31	14	96.05%	78.78%	97.85%	74.04%
<b>TOTALES</b>	<b>1944</b>	<b>67.52</b>		<b>8078</b>	<b>1876.48</b>	<b>136</b>	<b>96.51%</b>	<b>71.01%</b>	<b>98.36%</b>	<b>67.25%</b>

Nota. El Autor.

Se ha logrado un incremento del factor de rendimiento total de 69.3% a 71.01% y OEE de 56.74% a 67.25% con respecto a la tabla 5, por lo que el Cronograma de Mantenimientos preventivos y predictivos propuesto será:

**Tabla 17.**

*Cronograma de Mantenimientos preventivos y predictivos*

Mes 2018	Días laborales	M. Preventivo horas	M. Predictivo horas	M. Preventivo actual	Ejecución Mant. Preventivo cada x días	Ejecución Mant. Predictivo cada x días
Enero	21	17.15	7.0	6	1	3
Febrero	19	17.15	6.3	2	1	3
Marzo	20	17.15	6.7	6	1	3
Abril	20	17.15	6.7	5	1	3
Mayo	22	17.15	7.3	4	1	3
Junio	21	17.15	7.0	3	1	3
Julio	18	17.15	6.0	7	1	3
Agosto	22	17.15	7.3	8	1	3
Setiembre	21	17.15	7.0	3	1	3
Octubre	20	17.15	6.7	5	1	3
Noviembre	21	17.15	7.0	4	1	3
Diciembre	18	17.15	6.0	8	1	3
<b>TOTAL</b>	<b>243</b>	<b>205.8</b>	<b>81</b>	<b>61</b>		

*Nota.* El Autor

Por la baja confiabilidad de los equipos (desgaste y antigüedad de los mismos) y de acuerdo con el análisis de Weibull y los cálculos de MTBF y MTRF, se debe realizar un mantenimiento preventivo un día al mes, de 1 hora y puede ser antes de cada turno. Y los predictivos cada 3 días al mes para eliminar la posibilidad de falla y por ende el mantenimiento correctivo.

#### **4.3. Costos de la propuesta**

Con la nueva propuesta de mantenimiento, la inversión por aplicar los mantenimientos preventivos y predictivos se presenta en la tabla 19.

**Tabla 18.***Inversión por incremento de Mantenimientos*

<b>Inversión en cuanto a horas hombre de mantenimiento</b>				
<b>Inversión</b>	<b>Horas</b>	<b>Empleados</b>	<b>HH costo</b>	<b>Total</b>
Preventivo	205.79	8	S/15.00	S/24,694.80
Predictivo	81	8	S/15.00	S/9,720.00
<b>Actual</b>				
Preventivo	61	8	S/15.00	S/7,320.00
Diferencia Mejora Actual				S/27,094.80
<b>Mejora</b>	<b>Horas</b>	<b>Costo</b>		
Preventivo	205.79	S/175,077.71		
Predictivo	81	S/28,529.31		
Correctivo	159.46	S/56,164.00		
Total Mejora		S/259,771.02		
<b>Actual</b>				
Preventivo	61	S/51,897.00		
Correctivo	227.8	S/56,164.00		
Total Actual		S/108,061.00		
<b>Diferencia Mejora Actual</b>		<b>S/151,710.02</b>		
<b>Total Inversión</b>		<b>S/178,804.82</b>		

*Nota.* El Autor

En la primera parte de la tabla 19, se evalúa las horas que los operarios invierten en el mantenimiento al incrementar las horas del mantenimiento preventivo y predictivo por lo que la inversión es de S/27,094.8 anual. En la segunda parte se refiere a la inversión de costos directos del mantenimiento, se comparan la mejora y la situación actual, por lo que la inversión es de S/151,710.02 Disminuyéndose los mantenimientos correctivos de 227.8 horas a 159.46 horas para la propuesta de mejora y situación actual respectivamente.

Los beneficios son directamente proporcionales a la mayor producción de rollos de geomembranas como se muestra a continuación en la tabla 20:

**Tabla 19.**

*Beneficios en producción*

Beneficio	
Actual producción	7160 rollos/año
Mejora producción	8078 rollos/año
Diferencia de producción	918
Precio referencial venta	
Rollo 7m x 210m	S/15,000.00
Total de beneficio anual	S/13,773,226.04

*Nota.* El Autor

El precio de venta referencial de cada rollo de geomembrana es de S/15000 por rollo de 7m x 210mt. La situación actual es de 7160 rollos y se puede incrementar a 8078 rollos por año, teniendo una diferencia de 918 rollos, equivalentes a ventas de S/13,773,226.04.

#### **4.4. Validación de hipótesis**

##### **4.4.1. Hipótesis general**

**Realizando un análisis de confiabilidad, se optimizará la gestión del mantenimiento en una industria de plásticos.**

En la primera parte de este estudio se realizó un análisis del estado actual de la gestión de mantenimiento determinándose que el OEE es de 56.74%, luego de realizar el análisis se llega a la conclusión que se debería realizar un mantenimiento preventivo al mes y un mantenimiento predictivo cada 3 días, con esto se debería eliminar la posibilidad de fallas y posibles trabajos de mantenimiento correctivo, alcanzando un OEE de 67.25%, resultado que permite afirmar la hipótesis general.

#### **4.4.2. Hipótesis específicas**

**Realizando un análisis confiabilidad en la gestión del mantenimiento, se reducirá el tiempo de parada de máquina.**

Luego de concluir que, en el análisis de Weibull, se pudo determinar que es necesario aumentar las horas de mantenimiento preventivo a 17.15 horas por mes y los predictivos de 6 horas por mes, con lo cual se elimina el tiempo de parada de maquina por fallas en los equipos.

**Realizando un análisis confiabilidad en la gestión del mantenimiento, se reducirá la cantidad de productos defectuosos.**

Con las mejoras propuestas a la gestión del mantenimiento se ha determinado que la producción actual de 7160 rollos al año se incrementara en 918 rollos, reduciendo al mínimo la cantidad de productos defectuosos.

## **CAPÍTULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

- Del análisis realizado y de los resultados obtenidos, se llega a la conclusión que empleando la combinación de los datos históricos del tiempo entre fallas de equipos y el Análisis de Confiabilidad, se logra optimizar la Gestión del Mantenimiento de los equipos productores de geomembranas en la empresa industrial de plásticos ECO SYSTEM S.A.C.
- Se determinó que a partir de un análisis de confiabilidad en la gestión de mantenimiento de las máquinas productoras de geomembranas en la empresa industrial de plásticos ECO SYSTEM S.A.C se podrá disminuir las horas perdidas por parada de 227.7 horas a 67.52 horas en el año 2016, es decir, se reduce en 70.3%.
- Se determinó que a partir de un análisis de confiabilidad en la gestión de mantenimiento de las máquinas productoras de geomembranas en la empresa industrial de plásticos ECO SYSTEM S.A.C se podrá aumentar la disponibilidad de las máquinas productoras de geomembranas de 88.21% a 96.51% en el año 2016, es decir, aumenta en 8.3%.
- Se determinó que a partir de un análisis de confiabilidad en la gestión de mantenimiento de las máquinas productoras de geomembranas en la empresa industrial de plásticos ECO SYSTEM S.A.C se podrá aumentar el porcentaje de geomembranas sin defectos elaboradas, traduciéndose en permitir que los niveles de producción de 7160 unidades producidas a 8078 unidades producidas; lo que significa un incremento alrededor del 12% gracias a una adecuada gestión de mantenimiento.

## 5.2 Recomendaciones

- Para lograr una mejora para definir los planes de mantenimiento preventivo y predictivo en los equipos críticos es recomendable realizar el análisis de confiabilidad en la gestión del mantenimiento.
- Para lograr la optimización en la gestión de mantenimiento es pertinente realizar un análisis de confiabilidad, ello será de gran ayuda para reducir tiempos de parada de las máquinas productoras de geomembrana.
- Se recomienda que las empresas relacionadas a la producción de geomembranas consideren el análisis de confiabilidad en la gestión del mantenimiento para mejorar de esta forma la disponibilidad de sus máquinas.
- Se recomienda establecer un periodo constante para el análisis de criticidad, ya que se tiene una tasa de fallas que varía durante el tiempo.
- Para disminuir los costos de mantenimiento y optimizar la gestión del mantenimiento, la empresa debe invertir en un software para calcular la probabilidad de confiabilidad de los equipos.
- Se ha comprobado que la Investigación Operativa es una herramienta importante para la Gestión del Mantenimiento de equipos en plantas industriales gracias al presente trabajo de investigación, porque facilita la toma de decisiones en este campo.
- Utilizando la Distribución Probabilística de Weibull se determinó que los equipos, se encuentran en la etapa de envejecimiento, dado que presentan un valor de  $\beta > 1$ .



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaya, J. (2014). *Estudio del comportamiento real de la fase iii de la curva de la bañera a través de la aproximación de una distribución a la vida útil de bombillos de frenado automotriz*. [Tesis de Licenciatura, Universidad EAFIT de Colombia].  
[https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/5319/JorgeAmayaCata%c3%b1o\\_2014.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/5319/JorgeAmayaCata%c3%b1o_2014.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Banco interamericano de desarrollo. (Agosto de 2007). *Mtc*. Obtenido de [https://www.cnc.gob.pe/images/cnc/linea/Infraestructura\\_logistica\\_transportes.pdf](https://www.cnc.gob.pe/images/cnc/linea/Infraestructura_logistica_transportes.pdf)
- Banco mundial. (Abril de 2016). *Mincetur*. [https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/.../Analisis\\_Integral\\_Logistica\\_Peru.pdf](https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/.../Analisis_Integral_Logistica_Peru.pdf)
- Castillo, A. (2017). *Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del Sistema Power Oil de la Estación Atacapi del B57-LI de Petroamazonas*. [Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de Ecuador].  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6300/1/20T00831.pdf>
- Cavalcanti, M. (2006). *Adaptación de un programa de mantenimiento productivo total y aplicación de un sistema de indicadores de efectividad global de los equipos para una compañía minera*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].  
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/273465>
- Chuquimango, Y. y Cotrina, C. (2017). *Diseño de un Plan de Mantenimiento centrado en la Confiabilidad en la flota de excavadoras hidráulicas 336DL para reducir*

*costos de reparación en la empresa Coansa del Perú Ingenieros SAC Cajamarca 2017.* [Tesis de Licenciatura, Universidad Privada del Norte]. <http://hdl.handle.net/11537/12706>

Confiabilidad y Análisis de Fallas Utilizando la Distribución Weibull. (2017). *Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias básicas y Agronómicas* (págs. 5-16). Inkap.

Diestra, J., Esquivel, L. y Guevara, R. P. (2017). Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad. *Revista Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 4(1), 1-10. [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/37239/AC\\_Diestra\\_QJP-Esquivel\\_PL-Guevara\\_CR.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/37239/AC_Diestra_QJP-Esquivel_PL-Guevara_CR.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Duany, Y. y Herrera, M. (2016). Metodología e implementación de un programa de gestión de mantenimiento. *Scientific Electronic Library*. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59362016000100002&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59362016000100002&script=sci_arttext&tlng=pt)

Duarte, P. y Prada, M. (2016). *Propuesta de metodología de análisis causa raíz para el diagnóstico de las causas de los problemas durante la perforación de pozos en el campo castilla.* [Tesis de Licenciatura, Fundación Universidad de América en Colombia]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20500.11839/65/1/5132687-2016-2-IP.pdf>

Freire, F. (2019). *Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo mediante la distribución de WEIBULL para las Inyectoras horizontales de polímeros en la empresa Ingeniería Diseño de Suelas.* [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30012/1/Tesis%20I.%20M.%20542%20-%20Freire%20Perez%20Fernando%20Isidro.pdf>

Luna, C., Riba, C. y Maury, H. (2006). El Concepto del ciclo de vida. En *Ingeniería Concurrente: Una metodología integradora* (págs. 1-21). Ediciones UPC.

- Mantenimiento LA*. (s.f.). Recuperado el 10 de septiembre de 2019, de Curva de la bañera: <http://maintenancela.blogspot.com/2010/05/desde-la- implementacion-del-primer.html>.
- Mesa, D. y Ortiz, Y. P. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et technica*, 1(30), 155-160.  
<https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6513/3787>
- Mesa, D., Ortiz, Y. y Pinzón, M. (2006). La confiabilidad, disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et Technica*, 155-158.  
<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6513/3787>
- Ministerio de comercio exterior y turismo. (Junio de 2015). *Mincetur*.  
[https://www.mincetur.gob.pe/wp.. /Guia\\_Transporte\\_Terrestre\\_13072015.pdf](https://www.mincetur.gob.pe/wp.. /Guia_Transporte_Terrestre_13072015.pdf)
- Ministerio de transpotes y comunicaciones. (Agosto de 2014). *Mtc*.  
<https://www.mtc.gob.pe/estadisticas/files/estudios/Diagn%C3%B3stico%20Final.pdf>
- Mohr, P. (2012). Propuesta de metodología para la medición de eficiencia general de los equipos en líneas de procesos de sección mantequilla en industria láctea. Chile. [Tesis de Licenciatura, Universidad Austral de Chile].  
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/bpmfcim699p/doc/bpmfcim699p.pdf>
- Morales, J. (2020). *Implantación de un programa de mantenimiento productivo total (TPM) al taller automotriz del Ilustre Municipio de Riobamba (IMR)*. [Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].  
<http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/3869/1/65T00034.pdf>
- Ortiz, A., Rodríguez, C. y Izquierdo, H. (2013). Gestión de mantenimiento en pymes industriales. *Revista Venezolana de Gerencia*, 18(61), 86-104.  
<https://www.redalyc.org/pdf/290/29026161004.pdf>
- Palacios, R. (2013). Mantenimiento basado en el enfoque sistémico Kantiano para la disponibilidad del torno universal E-400 en la FIM-UNCP. Huancayo, Perú.

*Quality Digest*. (s.f.). Recuperado el 15 de Enero de 2019, de Using Microsoft Excel for Weibull Analysis: <https://www.qualitydigest.com/magazine/1999/jan/article/using-microsoft-excel-weibull-analysis.html>

Quiñones, J. (2012). *Implementación de la metodología de confiabilidad análisis de criticidad en los laboratorios clínico y de inmonología y biología molecular de la Universidad Industrial de Santander*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Industrial de Santander]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/142931.pdf>

Reliability web. (s.f.). Recuperado el 11 de Octubre de 2019, de Cálculo de los Parámetros de la Distribución de Weibull: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/calculo-de-los-parametros-de-la-distribucion-de-weibull>.

Rivera, J. L. (2015). Modelo de toma de decisiones de mantenimiento para evaluar impactos en disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos. (*Tesis de Maestría*). Universidad de Chile.

Suárez, O. (2018). Extrusora de mallas Corelco y su táctica de confiabilidad . (*Tesis de Maestría*). Colombia: Universidad EAFIT.

Torbjörn, Y., Anders Skoogh, J. B. y Gopalakrishnan, M. (2017). Identification of maintenance improvement potential using OEE assessment. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 66, 126-143. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2016-0028>

Toro, J. y Céspedes, P. (2010). *Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad y Disponibilidad en mantenimiento*. [http://www.imc-peru.com/articulos/Metodologia\\_para\\_medir\\_Confiabilidad.pdf](http://www.imc-peru.com/articulos/Metodologia_para_medir_Confiabilidad.pdf)

Vinces, R. y Poggi, J. (2014). Aprovechamiento sostenible de los residuos forestales para la producción de pellets de biomasa leñosa torrefactada. *Revista de Ingeniería de la USIL*, 88-123. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/download/12/14>

Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L. y Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales

herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 21(1), 125-138. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052013000100011>