



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Mantenimiento Preventivo basado en la Confiabilidad para Mejorar la
Disponibilidad en los Hornos de Producción de Parabrisas de la
empresa Rabbit Glass S.A., Comas, 2022

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Industrial

AUTORES:

Laguna Arana, Ricardo Antonio (orcid.org/0000-0001-7451-7430)

Paredes Liza Milton Arturo (orcid.org/0000-0002-9181-6827)

ASESOR:

Mg. Añazco Escobar, Dixon Groky (orcid.org/0000-0002-2729-1202)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión Empresarial y Productiva

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo Económico, Empleo y Emprendimiento

ATE – PERÚ

2022

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación está dedicado a nuestras familias, agradeciendo el respaldo y apoyo incondicional que han demostrado a través de nuestra formación profesional.

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la institución que con sus enseñanzas impartidas nos ayudaron a formar técnicas y usar las herramientas para el desarrollo del trabajo de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
Índice de Contenido	iv
Indicé de Tablas.....	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	10
III. METODOLOGÍA	28
3.1 Tipo y diseño de investigación	28
3.1.1 Tipo de investigación:	28
3.1.2 Diseño de Investigación:.....	28
3.2 Variables y operacionalización.....	28
3.3 Población, muestra y muestreo.....	29
3.3.1 Población.....	29
3.3.2 Muestra	30
3.3.3 Muestreo.....	30
3.3.4. Unidad de análisis.	30
3.3.5. Plan de muestreo.....	31
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	33
3.5 Procedimientos	34
3.6 Método de análisis de datos	45
3.7 Aspectos éticos.....	60
IV. RESULTADOS	61
V. DISCUSIÓN.....	74
VI. CONCLUSIONES	78
VII. RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS	82
ANEXOS.....	91

Indicé de Tablas

Tabla 01. <i>Principales Países exportadores</i>	1
Tabla 02. <i>Principales Causas De Fallas</i>	2
Tabla 03. <i>Parámetros del modelo de Weibull</i>	22
Tabla 04. <i>Incidencias De Fallas De Los Hornos De Inducción</i>	31
Tabla 05. <i>Composición porcentual de la muestra</i>	32
Tabla 06. <i>Tamaño individual de la muestra</i>	32
Tabla 07. <i>Descripción de los modos de falla</i>	35
Tabla 08. <i>Evaluación de criticidad de los modos de falla</i>	38
Tabla 09. <i>MATRIZ AMFE</i>	39
Tabla 10. <i>Cronograma de actividades de la ejecución de mantenimiento</i>	43
Tabla 11. <i>Evaluación inicial de los hornos de inducción</i>	45
Tabla 12. <i>Cuadro de clasificación de los hornos</i>	46
Tabla 13. <i>Análisis de indisponibilidad para el Horno 11</i>	50
Tabla 14. <i>Análisis de indisponibilidad para el Horno 08</i>	52
Tabla 15. <i>Análisis de indisponibilidad para el Horno 10</i>	53
Tabla 16. <i>Análisis de indisponibilidad para el Horno 02</i>	55
Tabla 17. <i>Análisis de indisponibilidad para el Horno 09</i>	57
Tabla 18. <i>Parámetros de Confiabilidad</i>	57
Tabla 19. <i>Proyectado de cantidad de fallas esperada Horno 11</i>	59
Tabla 20. <i>Proyectado de la cantidad de fallas esperada Horno 8</i>	59
Tabla 21. <i>Proyectado de la cantidad de fallas esperada Horno 10</i>	59
Tabla 22. <i>Proyectado de la cantidad de fallas esperada Horno 2</i>	59
Tabla 23. <i>Proyectado de la cantidad de fallas esperada Horno 9</i>	59
Tabla 24. <i>Indicadores antes de la ejecución del mantenimiento</i>	62
Tabla 25. <i>Indicadores después de la ejecución del mantenimiento</i>	63
Tabla 26. <i>Parámetros estadísticos de Weibull equipo 11</i>	63
Tabla 27. <i>Parámetros estadísticos de Weibull equipo 08</i>	64
Tabla 28. <i>Parámetros estadísticos de Weibull equipo 10</i>	64
Tabla 29. <i>Parámetros estadísticos de Weibull equipo 02</i>	65
Tabla 30. <i>Parámetros estadísticos de Weibull equipo 09</i>	66

Índice de gráficos y figuras

<i>Figura 1.1</i> Plataforma de estadística Trade Map	1
<i>Figura 1.2.</i> Diagrama de Pareto	3
<i>Figura 1.3.</i> Diagrama Causa de la baja disponibilidad de los hornos	4
<i>Figura 2.1.</i> Laminado de parabrisas de vidrio.....	10
<i>Figura 2.2.</i> Relación de costos de mantenimiento.....	13
<i>Figura 2.3.</i> Curva de Confiabilidad de Weibull.....	14
<i>Figura 2.4.</i> Curva de la bañera.....	15
<i>Figura 2.5.</i> Relación entre el MTBF y MTTR	17
<i>Figura 2.6.</i> Diagrama de Nelson Aalen	18
<i>Figura 2.7,</i> Tendencia de fallas	23
<i>Figura 2.8.</i> Ponderación de factores de criticidad.....	25
<i>Figura 2.9.</i> Modos de falla.....	25
<i>Figura 2.10.</i> Diseño de evaluación de fallas.....	26
<i>Figura 2.11.</i> Mapa de proceso.	27
<i>Figura 2.12.</i> Generación de procesos de mantenimiento.	27
<i>Figura 3.1.</i> Autores referidos a la información del proyecto	34
<i>Figura 3.2.</i> Matriz de Criticidad propuesta por el modelo CTR	36
<i>Figura 3.3.</i> Modelo De Criticidad Semicuantitativo “CTR”	37
<i>Figura 3.4.</i> DAP actividades de Mantenimiento.....	44
<i>Figura 3.5.</i> Pareto de prioridad de mantenimiento.....	47
<i>Figura 3.7.</i> Confiabilidad horno 8	51
<i>Figura 3.8.</i> Confiabilidad horno 10	53
<i>Figura 3.9.</i> Confiabilidad Horno 02.....	55
<i>Figura 3.10.</i> Confiabilidad Horno 09.....	56
<i>Figura 3.11.</i> Confiabilidad de los equipos. Fuente: Elaboración propia	58
<i>Figura 3.12.</i> Tasa de fallas de los equipos.	58
<i>Figura 4.1.</i> Organigrama de la Empresa Rabbit Glass S.A.....	61
<i>Figura 4.2.</i> Cronograma de mantenimiento preventivo.....	62
<i>Figura 4.3.</i> Resultados de la confiabilidad Horno 11	63
<i>Figura 4.4.</i> Resultados de la confiabilidad Horno 8	64
<i>Figura 4.5.</i> Resultados de la confiabilidad Horno 10	65
<i>Figura 4.6.</i> Resultados de la confiabilidad Horno 2	65
<i>Figura 4.7.</i> Resultados de la confiabilidad Horno 9	66

<i>Figura 4.8.</i> Histograma de frecuencias de la Disponibilidad	67
<i>Figura 4.9.</i> Histograma de frecuencias de los tiempos entre fallas.....	67
<i>Figura 4.10.</i> Histograma de frecuencias de los tiempos entre fallas.....	68
<i>Figura 4.11.</i> Pruebas de normalidad para las variables.....	69
<i>Figura 4.12.</i> Hipótesis estadística de prueba de normalidad.	69
<i>Figura 4.13.</i> Hipótesis general de investigación	70
<i>Figura 4.14.</i> Prueba de Wilcoxon de la hipótesis general	70
<i>Figura 4.15.</i> Hipótesis específica 1.....	71
<i>Figura 4.16.</i> Prueba de Wilcoxon Hipótesis específica 1.....	71
<i>Figura 4.17.</i> Prueba Estadístico Número de fallas esperado en un periodo (antes y después)	71
<i>Figura 4.18.</i> Hipótesis específica 2.....	72
<i>Figura 4.19.</i> Correlaciones (disponibilidad – MTTR).....	73
<i>Figura 4.20.</i> Correlaciones (disponibilidad – MTBF).....	73

RESUMEN

La actual investigación tuvo como objetivo general proponer un mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad en el proceso de fabricación de parabrisas en la empresa Rabbit Glass S.A.

El trabajo toma un enfoque cuantitativo de alcance aplicativo con diseño no experimental, la población son 12 hornos de inducción, la muestra es 210 observaciones de tiempos hasta las fallas con criterio de inclusión en base a un análisis de criticidad. El instrumento empleado son las hojas de registros de la data de ocurrencias de fallas de producción, también se usa la técnica de observación, El procedimiento implica un análisis inicial de la disponibilidad, que será medida con los tiempos medios entre fallas y reparaciones para la evaluación de la confiabilidad, se opta entre el modelo de Weibull y para proyectar la tasa y número de fallas el modelo de Crow Amsaa, esto permitirá tomar decisiones de programar los tiempos de intervención de mantenimiento preventivo, así como los recursos a emplearse.

El resultado de la investigación indica un aumento de la media de la disponibilidad de 94.52% a 97.44%, se utilizaron pruebas no paramétricas para la contrastación de las hipótesis, utilizando el software SPSS.

Palabras claves: Confiabilidad, disponibilidad, mantenimiento preventivo, modelo de Weibull, modelo de Crow Amsaa.

ABSTRACT

The current investigation had as general objective to propose a preventive maintenance focused on reliability to increase the availability in the windshield manufacturing process in the company Rabbit Glass S.A.

The work takes a quantitative approach of application scope with a non-experimental design, the population is 12 induction furnaces, the sample is 210 observations of times until failures with inclusion criteria based on a criticality analysis. The instrument used is the record sheets of the data on the occurrence of production failures, the observation technique is also used. The procedure implies an initial analysis of the availability, which will be measured with the mean times between failures and repairs for the evaluation for reliability, the Weibull model is chosen and the Crow Amsaa model to project the rate and number of failures, this will allow decisions to be made to schedule preventive maintenance intervention times, as well as the resources to be used.

The result of the investigation indicates an increase in the average availability from 94.52% to 97.44%, non-parametric tests were used to test the hypotheses, using the SPSS software.

Keywords: Reliability, availability, preventive maintenance, Weibull model, Crow Amsaa model

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente las industrias que desean ubicarse en el mercado global y competitivo deben estar alineadas a los avances tecnológicos. El mercado de fabricación nacional de parabrisas ha tenido una alta competencia contra las importaciones de china, según la plataforma TRADE MAP, registro que en los últimos años las importaciones de vidrio de seguridad para la industria automotriz han sido de china, consiguiendo en 2021 más de 16 millones de dólares en importaciones.

Tabla 01. *Principales Países exportadores*

Exportadores	Valor importado (Miles \$) en 2019	Valor importado (Miles \$) en 2020	Valor importado (Miles \$) en 2021
Mundo	14466	12682	28789
China	8617	8000	17038
Bélgica	85	414	5215
Estados Unidos de América	1385	891	1386
Chile	964	742	1272
Japón	651	334	680

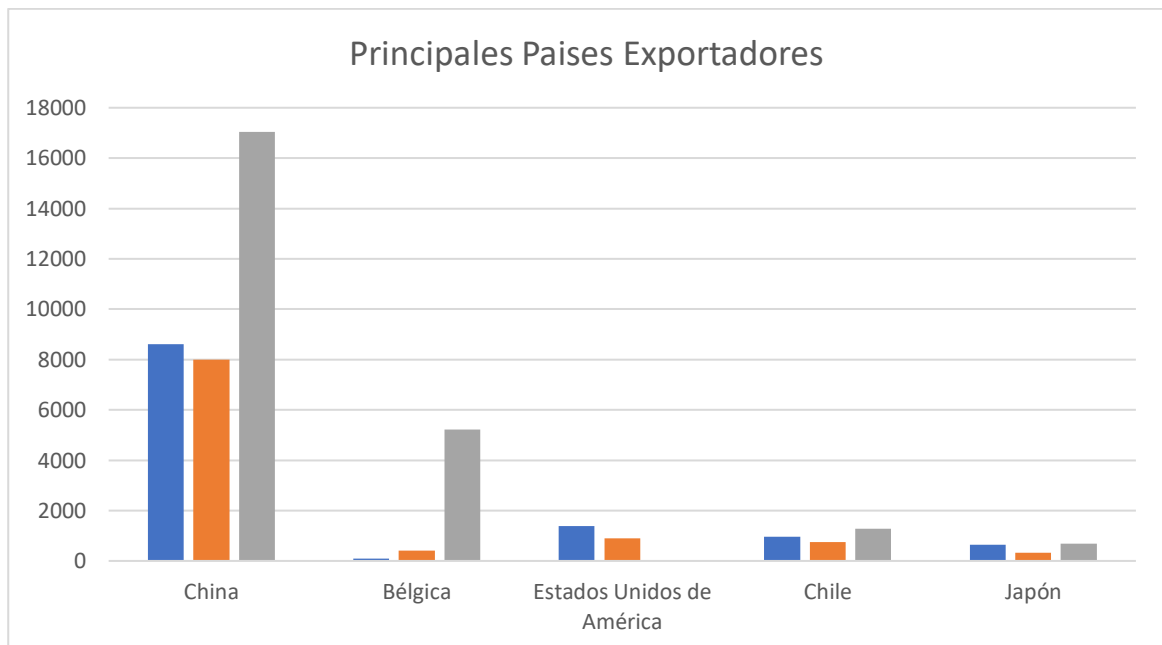


Figura 1.1 Plataforma de estadística Trade Map

De acuerdo a lo mencionado, para que la empresa cumpla con su objetivo, de incrementar su rentabilidad, necesita mejorar en comparación a sus competidores.

La capacidad de funcionamiento de los equipos o máquinas dentro de una empresa son indispensables para cumplir con los programas de producción.

Según Gálvez et al. (2020) en Latinoamérica la mayoría de empresas conocen sobre el mantenimiento preventivo, pero no son aplicadas correctamente, consideradas como acciones para prevenir alguna avería y que no están basadas en datos estadísticos. Así mismo la disponibilidad de los equipos afecta directamente con los planes de producción, que se reflejan en los costos por retrasos, por parte de la parada intempestiva de las máquinas.

Díaz et al. (2021) el mantenimiento industrial ha evolucionado a lo largo de la historia desde el correctivo, preventivo, predictivo y por último gestionando en función a los resultados y centrado en la confiabilidad.

Por lo expuesto se detalla en la siguiente gráfica los principales causantes de la baja disponibilidad de los hornos de inducción eléctrica que son utilizados en la producción de parabrisas en la empresa RABBIT GLASS, por ineficiencia del programa de mantenimiento preventivo.

Tabla 02. *Principales Causas De Fallas*

	Modos de fallas	Número de incidentes	F Acumulada	% Relativo	%Relativo Acumulado
1	Falla de resistencia (bobina de alambre Nicromo)	208	208	43.88%	43.88%
2	Falla en el aislante térmico (kaowool)	101	309	21.31%	65.19%
3	Falla operativa	48	357	10.13%	75.32%
4	Cortocircuito eléctrico	29	386	6.12%	81.43%
5	Falla porta resistencias	27	413	5.70%	87.13%
6	Falla de panel de control	22	435	4.64%	91.77%
7	Falla del sistema neumático	21	456	4.43%	96.20%
8	Falla del sistema de mecánico	18	474	3.80%	100.00%

Fuente: elaboración propia

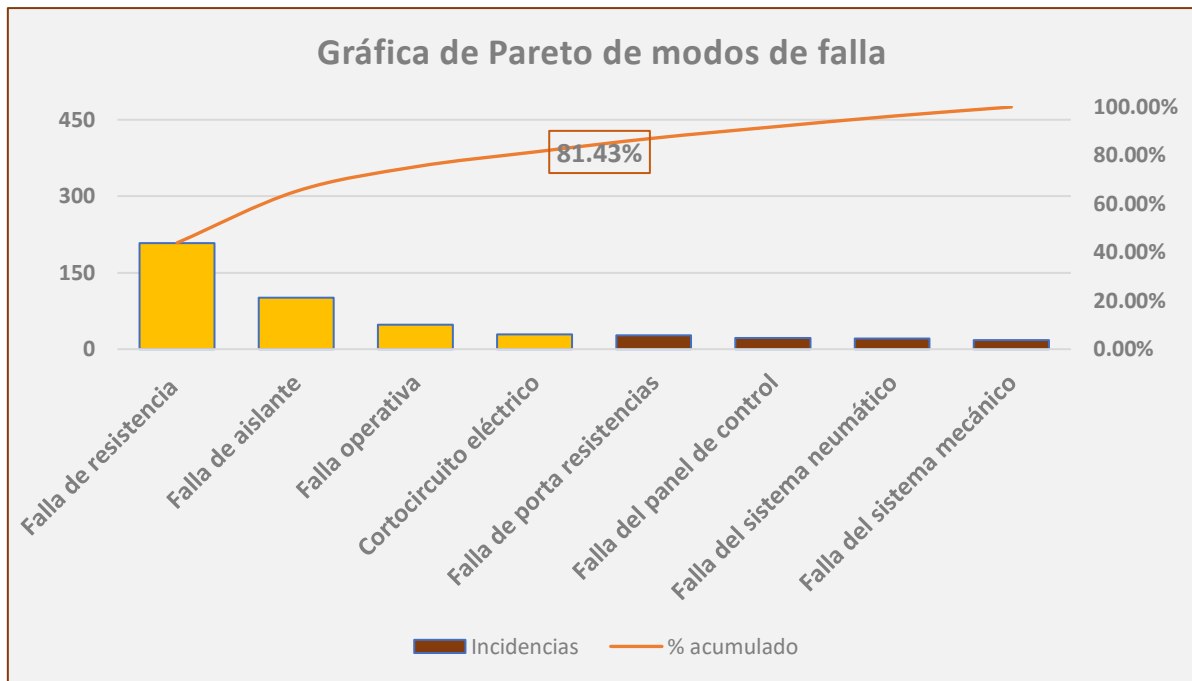


Figura 1.2. Diagrama de Pareto, Fuente: elaboración propia

La mejora en la línea de producción estuvo directamente ligado a ejecutar un eficiente planeamiento preventivo.

Al mantener este tipo de proceso con paradas innecesarias se disminuyó la capacidad máxima de la línea de producción, incrementándose las pérdidas de tiempos y generando costos directos al tener mermas y no finalizar los procesos correctamente.

Para identificar las causas principales del bajo rendimientos por parte de los equipos en el área de producción, se utilizó un análisis de tiempos de paradas de máquina, midiendo la disponibilidad de la línea de proceso y programando un plan de mantenimiento. Se usó técnicas para identificar problemas o causales como el Ishikawa o Pareto que afectaban drásticamente la productividad de la empresa.

Se detalla en el siguiente gráfico:



Figura 1.3. Diagrama Causa de la baja disponibilidad de los hornos

Según Campos (2018) en su investigación argumentó que para comenzar el proyecto se debe diagnosticar la situación en que se encuentra el mantenimiento de los equipos o maquinaria, con la finalidad de conocer su realidad. Además, por el bien del investigador se debe llevar la información de forma ordenada con un registro de mantenimiento. Los técnicos de mantenimiento deberán contar con las capacidades de aplicar un adecuado mantenimiento preventivo.

En el contexto internacional se logró encontrar el artículo de investigación de Mago y Rocha (2021) en Colombia cuya investigación propone a las microempresas adoptar alguna estrategia de mantenimiento que permita analizar la criticidad de los procesos y eliminar las fallas recurrentes de los equipos, dicho estudio permitió generar un plan de mantenimiento que optimiza los procesos, fomentando una cultura de operacionalidad y aumento de la productividad. El aporte de esta investigación hacia el actual desarrollo del proyecto investigativo se basó en un análisis de la criticidad de los equipos.

Los autores Conde y Mosquera (2022), desarrollaron una herramienta informática para medir la confiabilidad con el modelo de Weibull, fue aplicado con éxito a una flota de transporte iniciando con un análisis de los tipos de fallas mediante un filtrado de datos y evaluando con el test de Laplace para hallar el nivel de significancia, de igual forma se apoyaron en el diagrama de Nelson Allen para analizar los datos de

fallas acumulados, posteriormente se logró identificar los modos de fallas más críticos, todo con el uso del software informático.

De igual manera se logró ubicar a Aulestia y Guerrero (2022), cuyo trabajo estuvo enfocado en el análisis de las fallas y costos mediante el diagrama de Jackknife aplicado a una flota de transporte logra clasificar las fallas más críticas que provocaron una baja disponibilidad, logrando determinar las prioridades del mantenimiento dando mayor énfasis a las de mayor criticidad y menor disponibilidad.

En un artículo nacional Huamán, et al. (2020) resaltó la importancia del mantenimiento, el cual es indispensable para lograr los objetivos estratégicos de toda organización y nos presenta las herramientas lean como una opción para identificar problemas, Se sugiere el uso del control de inventario ABC, Kanban, 5s y Heijunka, empleando un caso de estudio, este artículo será de apoyo para evaluar el mantenimiento preventivo como una actividad que genera mayor valor.

Así mismo Arango, et al. (2020) en su artículo propuso emplear un algoritmo genético que tendría el objetivo de reducir el tiempo empleado en el mantenimiento semanal, cumpliendo con una programación que se establece de acuerdo a las frecuencias y su duración, consiguiendo así un eficiente programa que ayuda a utilizar y aprovechar mejor sus recursos.

Lozano y Valencia (2021) en Colombia, cuyo trabajo estuvo basado en un modelo de mantenimiento que parte de emplear una matriz de análisis modal de fallos y efectos (AMFE), estableció los lineamientos y estandarización de los procesos del mantenimiento para su ejecución, dicho programa se ayudó de un sistema computarizado para la planificación y control del mantenimiento. El aporte de esta investigación ayuda a evaluar la situación en que se encuentran los equipos mediante el análisis de criticidad como base de un modelo de mantenimiento a partir de las necesidades de las máquinas, los indicadores evaluados tales como efectos de fallas, consecuencia de las fallas, ocurrencia de las fallas, severidad y criticidad ayudaron a la evaluación primaria de los equipos.

Se logró ubicar a Pazmiño (2018) de Ecuador, el cual propone un estudio en base a una data de historial de fallas en los sistemas de inyección de los equipos de bombeo de agua, con un análisis de parámetros de la confiabilidad y mantenibilidad, obteniendo valores del Beta y Eta, el MTBF, MTTR, este trabajo

permitió proponer una buena ejecución y planeación del mantenimiento, mediante la predicción de la tendencia de fallas, de esta manera se evitar pérdidas por paradas de producción.

En trabajos previos a nivel nacional se encuentra a los investigadores (Chávez y Polo, 2020) en Chimbote, centraron su trabajo en la ejecución de un plan de mantenimiento preventivo a los equipos de presurización con un alto nivel de criticidad, que ayude a maximizar la disponibilidad de las mismas. Para el presente desarrollo del trabajo de investigación este será un aporte importante que ayuda al plan de mantenimiento preventivo en determinados equipos con nivel alto de criticidad mejorando la disponibilidad de las mismas, además de determinar que dicha implementación es en beneficio de la empresa en estudio.

Se encontró a las autoras (Berrios y Ruiz, 2021) en Trujillo, cuyo trabajo fue enfocado a la mejora en la producción y mantenimiento para minimizar los costos operativos, e identificar los causales de los sobrecostos, concluyó con un modelo de plan de mantenimiento eficaz, la investigación fue aplicada con un diseño diagnóstico, el plan de mantenimiento propuesto incrementa la disponibilidad de los equipos de 93.1% a 96.5%. Este trabajo contribuyó a identificar los sobrecostos de nuestra investigación como una mala planificación de la producción, falta de mantenimiento de los equipos y mala capacitación del personal.

También se logró ubicar el trabajo de Aguirre (2021), el autor propuso un programa de mantenimiento basado en la confiabilidad que mejora la disponibilidad de los equipos más críticos a partir de evaluar la criticidad y los modos de falla, este trabajo sirvió de guía para la evaluación inicial de los hornos más críticos de la empresa en estudio.

Osorio (2021), en su trabajo de investigación aplicó con éxito un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, apoyándose en el modelo de Weibull, analizando la data histórica de fallas, analizar los modos de fallas, criticidad y consecuencia de las mismas, aplicado a una empresa productora de cemento, con ello logra sintetizar los modos de falla que ocasionan las paradas más críticas en el proceso, logrando de esta manera programar la frecuencia óptima de intervención preventiva. El investigador Choque (2021), aplicó el modelo estocástico de Crow Amsaa a una flota de cargadores subterráneos, determinó el tiempo óptimo de Overhaul, identifica el grado de deterioro de las fallas basándose en el análisis e

interpretación de la gráfica de la bañera, de igual forma logró determinar la intensidad de las fallas, para ello se basó en modelos estadísticos en base a las frecuencias de fallas acumuladas, gráficamente logra estimar la indisponibilidad de los equipos en estudio.

Así mismo a nivel local se encuentra a Yarin (2021) en Lima, cuya investigación radicó en utilizar herramientas para el análisis de confiabilidad y funcionalidad de las máquinas, el motivo de la investigación fue de maximizar la gestión del mantenimiento de tipo predictivo y preventivo, evaluando la información histórica que se dispone para analizar los indicadores. El objetivo principal del trabajo de investigación es la aplicación de un análisis de confiabilidad que ayude a evaluar los procesos, se concluye que la metodología usada como el mantenimiento centrado en la confiabilidad es útil en cualquier equipo o proceso, tomando decisiones más efectivas para pronosticar las fallas y acciones a considerar.

De igual manera el autor Valverde (2021), logró desarrollar el análisis de la confiabilidad con el modelo de Weibull y lo aplica a los equipos mineros con grandes resultados en el yacimiento minero en Huaraz, teniendo como partida la data histórica de fallas de los activos prediciendo la confiabilidad del 80% para estimar la frecuencia de los mantenimientos preventivos, de igual forma logra estimar los tiempos óptimos de reemplazo de las máquinas en estudio.

El autor Vera (2019) en Lima, su trabajo fue el de proponer un plan de mantenimiento que se basa en el TPM para optimizar la línea de producción de una empresa de bebidas gasificadas, el objetivo principal fue determinar un plan adecuado para garantizar la funcionalidad de las mismas, evaluando indicadores de mantenimiento como tiempo de reparación de las fallas, números de paradas por correctivos, disponibilidad de las máquinas. Estas evaluaciones ayudaron a determinar la probabilidad de ocurrencia de las fallas, mediante el método probabilístico de Weibull. El autor diseñó un plan preventivo para cada equipo, determinando las actividades y tareas programadas para el personal involucrado en el mantenimiento, concluye con una evaluación económica del proyecto, determinó un incremento de la disponibilidad total de 86.2% a 94.7%.

(Ortiz y Piña, 2018) en su artículo científico realizaron un análisis en base a un modelo matemático para predecir probabilidades de ocurrencias en base al algoritmo que deriva del análisis Weibull y logaritmo normal, en parte basan su

estudio en encontrar una variación de modelación entre ambos comportamientos de distribución de la confiabilidad, estos parámetros son indispensables para modelar alguna tendencia y poder predecir la probabilidad de ocurrencia de las fallas en los hornos de inducción de la empresa en estudio.

Se encontró el artículo de investigación Follman, et al. (2020), el cual se basó en encontrar una función de densidad de fallas para modelar una distribución de probabilidad en el tiempo, su estudio se centra en conocer los modos de falla de fatiga y choque, aplicando un análisis de confiabilidad. Este artículo fue una gran guía para la evaluación del análisis primario del actual problema de investigación.

El autor Casilla (2018) en su trabajo de tesis empleo el uso del modelo de Crow Amsaa para medir la confiabilidad en una flota de cargadores de bajo perfil, con el uso de herramientas de análisis como el diagrama de Jack Knife, Diagrama de Nelson Allen y evaluación de la criticidad de los componentes, este trabajo será una buena guía en la interpretación de los modelos estadísticos a utilizar.

Otros autores como Canahua (2021) en su investigación utilizó el método TPM Lean Manufacturing, cumpliendo con su objetivo de mejorar los Mantenimientos preventivos y también en realizar mantenimientos autónomos, reduciendo las actividades del proceso de gestión de un cronograma de mantenimientos. Iniciando con la aplicación de los pilares de mantenimiento, que fue el de mejora enfocada que trata sobre la mejora y análisis de fallas.

El problema general planteado es ¿En qué manera la aplicación del mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad mejora la disponibilidad en los hornos de fabricación de parabrisas de la empresa RABBIT GLASS S. A., Comas ,2022?

Como uno de los problemas específicos sería ¿Cuál es la relación de la tasa y número de fallas con el proyectado en la confiabilidad de la empresa RABBIT GLASS S. A., comas ,2022? El segundo problema específico. ¿De qué manera afecta los tiempos medios entre fallas y el tiempo medio de reparaciones en la disponibilidad de los hornos en la empresa RABBIT GLASS S. A.?

El objetivo general del presente trabajo es Proponer el mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los hornos de producción de parabrisas de la empresa Rabbit Glass S.A., Comas ,2022.

Como objetivo específico número uno es proyectar la tasa y el número de fallas para los hornos de producción de parabrisas de la empresa Rabbit Glass S. A. en

Comas 2022. El segundo objetivo específico es comparar la disponibilidad antes y después de la aplicación de mantenimiento en los hornos de producción de parabrisas de la empresa Rabbit Glass S. A. en Comas 2022.

De igual manera se plantea la siguiente hipótesis general, El programa de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad influye significativamente en aumentar la disponibilidad de los hornos de producción de parabrisas de la empresa Rabbit Glass S.A. 2022. Como hipótesis específica número uno; El proyectado de la confiabilidad influye significativamente en la tasa y número de fallas de los hornos en la empresa Rabbit Glass S.A. Comas ,2022.

Como segunda hipótesis específica; El resultado de los tiempos medios entre fallas y el tiempo medio de reparaciones influye significativamente en la disponibilidad de los hornos de producción de parabrisas de la empresa Rabbit Glass S. A. en Comas, 2022.

La justificación del presente proyecto de investigación se basó en demostrar con la aplicación de los análisis de confiabilidad ,la mejora en la disponibilidad en los hornos de inducción que son utilizados en el proceso de producción de parabrisas , por el motivo que la empresa presentaba irregularidades en los procesos de producción de parabrisas, ya que este proceso tiene algunas etapas que consumen horas y en el caso de los hornos de inducción eléctrica, al fallar un equipo se deberá detener el proceso, corregir el desperfecto y luego iniciar nuevamente el proceso desde el comienzo. Esto suele suceder porque algunos equipos están en funcionamiento de forma continua sin intervalos para realizar alguna correcta reparación. La empresa carece de un plan de mantenimiento preventivo eficiente; a comienzos de la vida útil de las máquinas no presentaban fallas y el mantenimiento correctivo era muy poco empleado, pero la alta demanda exigió incrementar los tiempos de funcionamiento de los equipos, sin preocuparse en respectivo mantenimiento preventivo. Este trabajo busca generar ahorros en tiempo, mejorando la productividad y generando más puestos de trabajo.

II. MARCO TEÓRICO

Para dar contexto a los equipos que intervienen en la producción, Según Remuzgo (2018) en su investigación sobre experimentación aplicada al proceso de curvado de las láminas de vidrio que conforman al parabrisas, se emplean hornos de inducción eléctrica, donde se colocan 2 láminas de vidrio planas que cumplan las características de forma y tamaño especificadas para el parabrisas, las cuales son ubicadas sobre una matriz y con la temperatura adecuada se va moldeando.

El proceso de curvado de vidrios se hace a través de un recocido térmico alcanzando temperaturas entre 500°C y 750°C dependiendo del tamaño y forma, este proceso puede resultar crítico ya que conlleva a demarcar la calidad del mismo y demarca los procesos posteriores de laminado final.

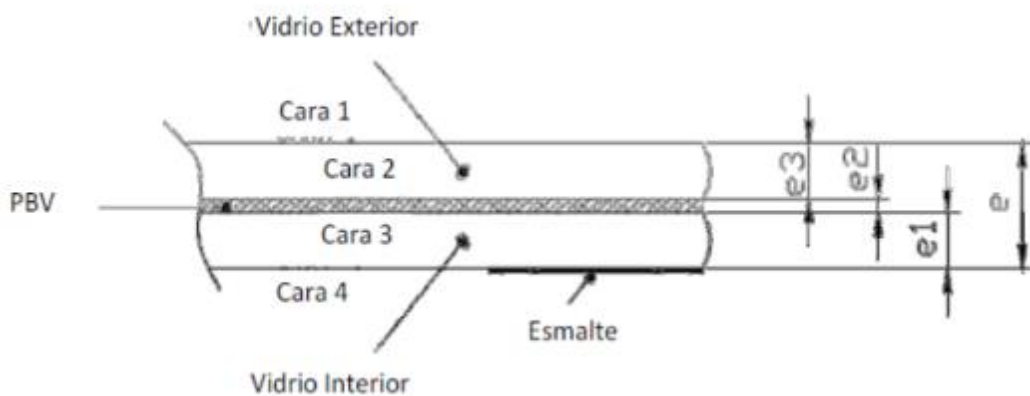


Figura 2.1. Laminado de parabrisas de vidrio. Fuente: Ficha técnica – vidrio laminado.

Un modelo de parabrisas necesita especificaciones técnicas para detallar todas las características del producto final, la curvatura deseada del área del parabrisas puede resultar un proceso de cierta complejidad, llevando a utilizar plantillas especiales de curvas y forma, en ocasiones proporcionadas por los mismos clientes (Obando y Quiliche, 2018).

Los hornos industriales en este proceso pueden ser de tipos eléctrico como el de inducción eléctrica, utilizados por su gran ventaja en temas de fusión de materiales alcanzando temperaturas altas en diferentes puntos de la cabina, en algunos modelos se puede medir el cambio temperatura y mantenerla en condiciones constantes de trabajo mediante sistemas de PLC, son muy versátiles por su

tamaño, libre de contaminación y manejo del tema de limpieza de sus componentes a comparación de los demás hornos (Astigarraga , 1994).

Según Reaño (2017) Chiclayo, en su investigación sobre un plan de mantenimiento cuya técnica de análisis está basada en la confiabilidad. Se tuvo que identificar las paradas de máquinas y los costos utilizados en el mantenimiento. Para poder empezar con un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, se comenzó con un análisis de criticidad realizados a todos los equipos que intervienen el proceso de producción que dio la manera de clasificar los equipos, alta, media y baja. También se empleó un análisis de modos y efectos de fallas de equipos que son considerados más críticos. Este sirvió para elaborar un árbol de decisiones de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para seleccionar las opciones que se van a realizar, y así crear un plan de mantenimiento. Este trabajo se basa en un data histórica sobre averías o fallas, que fueron recolectados de los informes de producción.

El mantenimiento se define como todas las fases previas para que el funcionamiento de un activo prevalezca en el tiempo, de esta manera se busca garantizar el tiempo útil de la misma, según Iranpoor (2019) el mantenimiento es requerido para la conservación o reparación del activo físico de tal manera que perdure en su condición de especificación técnica, el mantenimiento es un subsistema que comprende a las actividades relacionadas a la conservación de los equipos, que busca correcto funcionamiento, manteniendo su eficiencia de forma continua, sin causar pérdidas por conservación de los equipos.

Así mismo Borroto et al. (2021) El mantenimiento correctivo son todas aquellas acciones que se ejecutan al activo cuando presenta alguna falla o avería en su funcionamiento, estos tipos de reparaciones son no programadas, su fin es reanudar la máquina para continuar con su uso, este tipo de reparaciones afecta directamente a los costos de planificación de mantenimiento.

También Pillado, et al. (2022) argumenta que para empezar con un mantenimiento preventivo se definen las causas de las fallas que presentan los equipos y aplicar soluciones a estas, la comunicación y el compromiso entre las áreas involucradas, mejora la integración entre el programa de producción y el programa de mantenimiento.

El mantenimiento preventivo es aquel tipo de reparaciones programadas requeridas que se realiza al equipo o máquina para que se minimicen las averías del activo. Espinosa, et al. (2020).

Existen 3 clases de mantenimiento preventivos, mantenimiento sistemático, que es realizar tareas después de horas de funcionamiento de los equipos, teniendo o no teniendo alguna falla. Mantenimiento condicional, es cuando en base de diagnóstico se identifican los primeros síntomas de una falla para intervenir, y el mantenimiento predictivo. González (2018).

El mantenimiento predictivo usa técnicas de muestreo y análisis para evaluar desgaste o deterioro de las piezas o componentes, de esta forma se puede predecir la falla de la pieza tanto mecánica como electrónica.

De igual manera Echevarría (2020) argumenta que las etapas de mantenimiento han pasado por cuatro etapas importantes de generaciones tomando como referencia el impacto de la segunda guerra mundial en las tomas de decisiones en el mantenimiento de los equipos o maquinarias, así se puede observar un cambio de generación desde la primera etapa hasta la segunda etapa post guerra, en esta primera etapa el contexto de evaluación de mantenimiento no era prioridad en la toma de decisiones, en la segunda etapa de generación después de la segunda guerra mundial hubo un cambio radical en la planificación del mantenimiento, según Moubrey (2004), esto deriva en la adquisición cada vez más frecuentes de maquinarias mecanizadas desplazando a la mano de obra convencional, de alguna manera surge el instaurar planes de mantenimiento preventivo que garanticen la operatividad de las mismas.

La tercera generación de mantenimiento se caracteriza por la evaluación de los costos del mismo, nace la idea de fiabilidad y disponibilidad de los equipos y máquinas, empieza a inicios de los años ochenta hasta inicios del siglo XXI, que inicia la cuarta generación de mantenimiento basándose en principios y conceptos nuevos de desarrolladores de teorías como el TPM o el RCM.

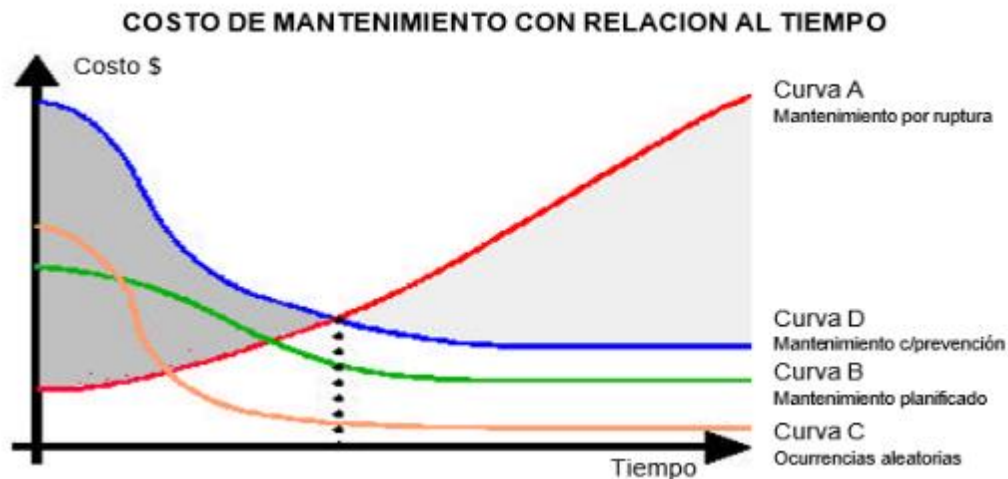


Figura 2.2. Relación de costos de mantenimiento.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM (Reliability Centered Maintenance) utiliza modelos estocásticos y estadísticos para proyectar una probabilidad de falla en los equipos o activos en el tiempo, permitiendo analizar los costos involucrados, el tiempo de vida útil del mismo y la calidad del producto brindado (Mora, 2009). Un análisis de sistemas de equipos o componentes de alguna máquina implica comprender el significado de modelo o proceso estocástico, el cual implica evaluar un grupo de variables aleatorias que se desarrollan en proceso de otra variable que comúnmente es representada por el tiempo. (Gasca ,2017) expone que estas consecuencias son determinantes y no poseen patrones similares de probabilidad de falla o avería, es primordial analizar estos resultados para comprobar que tan eficiente fue la reparación, considerando los tiempos transcurridos hasta las fallas, por lo que se da por descontado los tiempos de reparaciones.

Según Parra y Crespo (2012), El RCM permite identificar y guiar el mantenimiento con las frecuencias operacionales en un contexto específico, no es un modelo matemático, lo que busca es proyectar un análisis de la funcionalidad de los equipos o máquinas para mejorar los planes de mantenimiento preventivos. Cada vez es más frecuente la utilización de esta herramienta para proyectar programas o planes de mantenimiento programados para alargar la utilización de la disponibilidad de los equipos, máquinas o activos.

Según Jones en su libro indica que la utilización de esta herramienta data desde mediados de los años cincuenta como una alianza del gobierno de los Estados Unidos y las empresas aeronáuticas de ese país, diseñando las actividades que buscan mejorar el mantenimiento con frecuencias óptimas para reducir costos y principalmente evitar fallas o averías, esto debido al avance tecnológico y complejidad de las aeronaves.

Curva de la confiabilidad, es la gráfica que muestra el funcionamiento del equipo en un intervalo de tiempo t después de un T periodo total, es también la probabilidad de que el equipo falle o no falle.

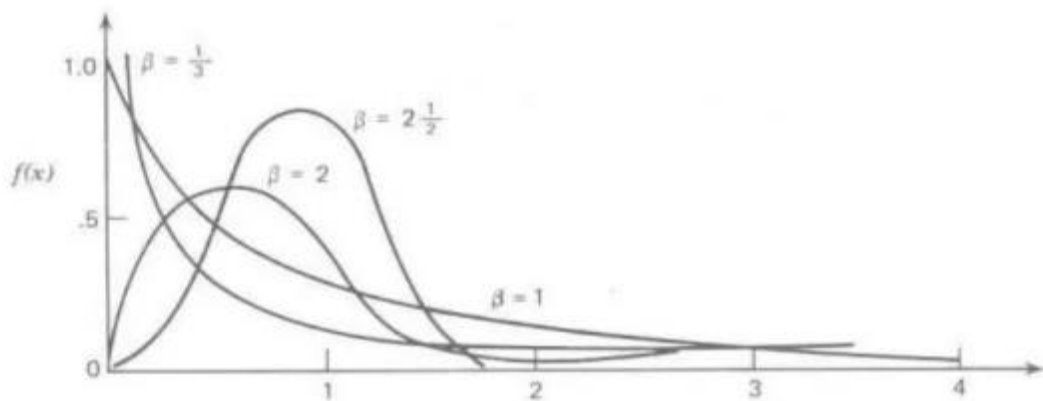


Figura 2.3. Curva de Confiabilidad de Weibull. Fuente: <http://reliabilityweb>

Curva de la bañera, es un modelo gráfico representada por las tasas de fallas, la cual evalúa tres posibles escenarios, la primera si el valor resultante Beta es menor a 1 la función de tasas de fallas es decreciente representando como fallas infantiles o prematuras, la segunda caracterizada por una tasa constante (Beta =1) lo que indica que la tasa de fallas permanece estable independiente del tiempo y por último la tercera etapa caracterizada por una tasa de fallas creciente (beta >1), representando un sistema o equipo en desgaste por el tiempo transcurrido.

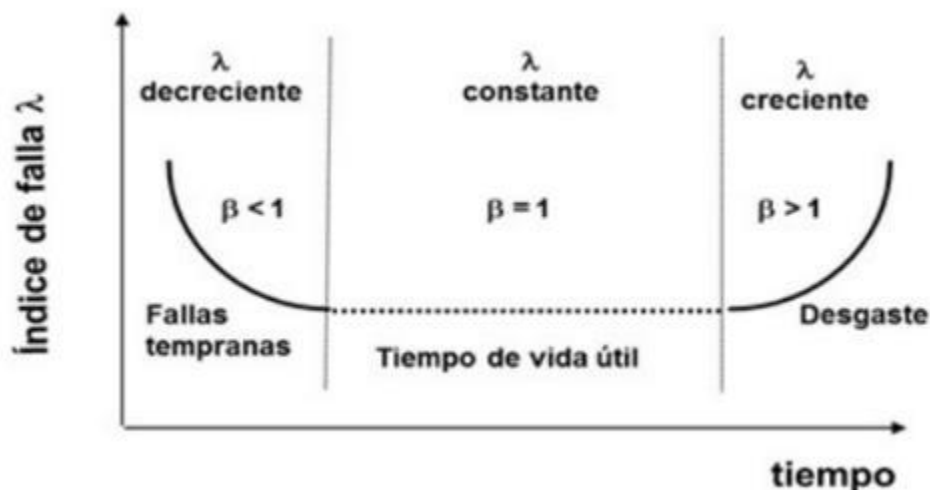


Figura 2.4. Curva de la bañera

El artículo científico de los autores Gazcón y Sánchez indican la importancia de usar el análisis de modos y efectos de falla (AMFE) para evaluar componentes, equipos o maquinaria más críticos que afecten la confiabilidad y disponibilidad del sistema.

Análisis crítico de los modos FMECA y efectos de falla (AMFE). Es una herramienta que se enfoca en identificar posibles problemas, causas y efectos. Es aplicado para desarrollar productos y en el caso de este trabajo de investigación, sirve para analizar los equipos y máquinas que presentan averías periódicamente. su característica es buscar reducir las paradas de urgencia, Jaspreet (2019). Matemáticamente la criticidad se calcula como: Frecuencia x Consecuencia. Además, Oliveira, et al. (2019) en su artículo nos recomienda que el usar un mapeo de los procesos empleando una herramienta cuantitativa o cualitativa, es importante para un proceso de producción, porque se puede identificar y evaluar los indicadores que intervienen en la línea. La FMEA permite que se pueda prever las fallas en las líneas de producción, servicios y productos. Además, esta herramienta es usada para reducir los posibles efectos y modos de fallas.

Según Quisigüiña, et al. (2021) nos habla sobre la disponibilidad es un indicador muy usado en temas de mantenimiento, permite evaluar el grado de relevancia de los tiempos de fallas y reparaciones, generalmente expresado en un porcentaje que de alguna manera limita la utilización del activo. Se puede expresar también como la relación entre los tiempos entre cada falla y los tiempos promedio de reparaciones, matemáticamente se expresa como:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$$

La norma ISO/DIS 14224 (2016) define la disponibilidad como la capacidad de que un activo o equipo/máquina pueda realizar su función requerida bajo condiciones estables de trabajo.

La disponibilidad es muy importante para asegurar que el sistema esté en disposición cuando se necesite de igual forma su evaluación es requerida en la toma de decisiones sobre la continuidad del activo o su reemplazo.

Se podría decir que la disponibilidad del activo está directamente ligada a la confiabilidad del mismo (Hernández et al., 2018)

Probabilidad es la posibilidad de que ocurra alguna avería en un determinado periodo de tiempo en función del historial del equipo o activo

Su representación gráfica de la probabilidad determina el modelo a seguir para evaluar la confiabilidad, es resultado de dividir la cantidad de casos evaluados entre el total de posibles incidentes (Mora, 2009)

Tiempo promedio de reparaciones o MTTR siglas en inglés (Medium Time To Repair) este indicador de mantenimiento mide el promedio de tiempo que se empleó para la realización de las intervenciones correctivas, de igual manera su uso se refiere al grado de relevancia del mantenimiento no programado en las intervenciones correctivas. (Parra y Crespo, 2012).

$$MTTR = \frac{\textit{Suma de tiempos de correcciones}}{\textit{Cantidad total de fallas}}$$

Tiempo promedio entre fallas o MTBF traducido del inglés (Mean Time Between Failures), permite analizar las fallas promedias que se suscitan en cada intervalo de tiempo, de esta manera se puede promediar las ocurrencias, dicho de otra manera, es cada que tiempo en promedio se puede suscitar una avería que requiere la intervención correctiva, ambos indicadores son relevantes para el cálculo de la disponibilidad del equipo o activo físico. (Parra y Crespo, 2012).

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo efectivo de proceso u operación}}{\text{Cantidad total de fallas}}$$

$$\text{Tasa de fallas } (\lambda) = \frac{1}{MTBF}$$

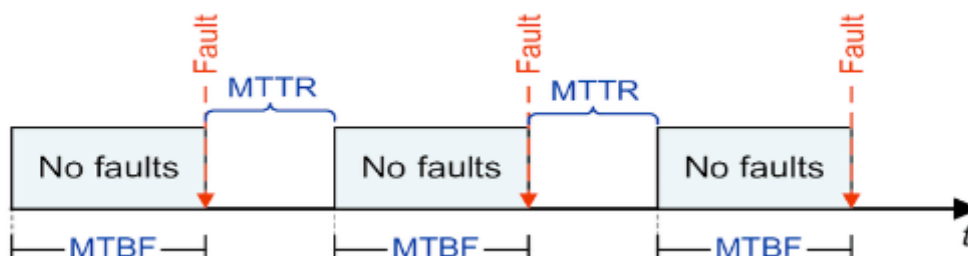


Figura 2.5. Relación entre el MTBF y MTTR. Fuente: www.researchgate.net

Test de Tendencia de Laplace se usa para evaluar los datos acumulados de fallas, aplicable a sistemas reparables o múltiples, de esta manera se puede determinar si el sistema, equipo o máquina está en deterioro o mejorando en función del tiempo.

$$U = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} - \frac{t_0}{2}}{t_0 \sqrt{\frac{1}{12n}}}$$

Fuente: Fórmula de valor de U del Test de Laplace. Fuente: CIGAM 2022

Su valor indica si la significancia es estadísticamente confiable o mera casualidad. Según el investigador Castilla de la Escuela CIGAM Perú (2021), indica que en las tablas normales estándar con un nivel de significancia de 0.10, el valor crítico es igual a 1.645. Si $-1.645 < U < 1.645$ entonces fallaremos en rechazar la hipótesis de no tendencia. Sin embargo, ya que $U < -1.645$, entonces existe una tendencia de mejora dentro del Sistema 1. Si $U > 1.645$ entonces existiría una tendencia de deterioro del sistema.

Tomando como referencia el modelo de diagrama de Nelson Allen para las frecuencias de fallas y considerando el valor resultante de U se puede deducir si el

sistema está en degradación (sistema triste) o mejora de la confiabilidad (sistema alegre) en su defecto sería un sistema neutro para lo cual considera seguir un modelo de Weibull para el análisis de la confiabilidad (Salazar y Fitz, 2017).

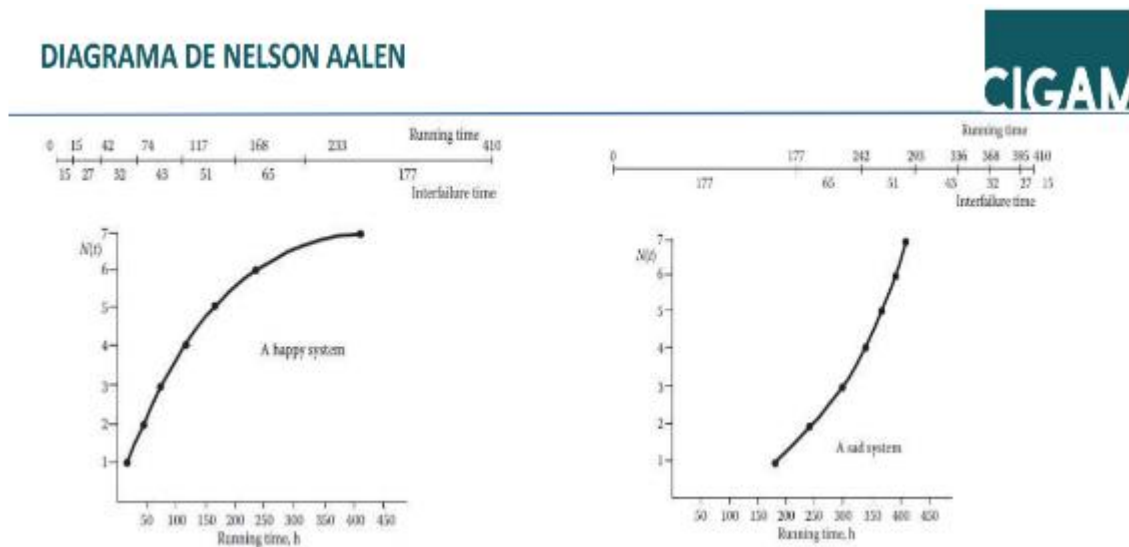


Figura 2.6. Diagrama de Nelson Aalen. Fuente: CIGAM 2021

Modelos de distribución (Normal, Log normal, Weibull)

La importancia de evaluar los diferentes tipos de distribución para el análisis de la confiabilidad en el tiempo resulta muy útil, la distribución de Weibull es la que mejor se aproxima a un modelo de distribución normal o exponencial. Resultando estas características muy útiles al momento de modular los tipos de fallas por diferentes causas aleatorias o por deficiencias en el activo.

La evaluación de los modelos de distribución se basan según el autor Mora (2009), quien detalla un modelo universal a partir de la función de Weibull, esta es la que mejor se acomoda a las tendencias de la probabilidad de fallas, tanto de la confiabilidad o no confiabilidad, en cuyo caso cumpla tres de las pruebas más destacadas en la estadística, (Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi cuadrado), los valores resultantes indican seguir el modelo de Weibull si es que el valor de la significancia está entre -1.645 y +1.645, caso contrario optar por un modelo de Crow Amsaa.

Duane (1981) en su libro evalúa el crecimiento de la confiabilidad basado en el modelo de Crow Amsaa, evaluando mejoras en el proceso de mantenimiento en plantas de manufactura, así como también para la industria aeronáutica.

Este modelo permite utilizar desviación de datos para modos de falla, partiendo del modelo de Weibull, el autor concluye especificando que el modelo de Crow Amsaa es una útil herramienta para evaluar parámetros y pronosticar fallas, de esta manera se contempla la rentabilidad del programa de mantenimiento, así como el análisis de reemplazo de los equipos o máquinas.

El Dr. Larry publica su investigación MIL HDBK 189, este informe científico contempla matemáticamente el significado del modelo de Crow Amsaa también estudiado en diferentes procesos o modelos probabilísticos como el RAMS.

Otras funciones usadas con frecuencia son la Normal, Exponencial, Poisson, Rayleigh, entre otras (Mora, 2009).

El modelo de CROW AMSAA es constantemente usado en diversos procesos o plantas industriales, así como en la industria aeronáutica, en la ingeniería de mantenimiento para determinar ocurrencias de fallas, etc. Este modelo posibilita el manejo de data con desviaciones y modos de fallas, es una gran herramienta para evaluar la confiabilidad de los equipos o máquinas. El doctor Wang (2021) toma este modelo para pronosticar la probabilidad de contagio por el Covid 19 en distintas partes del mundo con grandes resultados, lo que demuestra la versatilidad del modelo en temas de proyecciones de ocurrencias, todo en base a una data histórica.

El autor Martínez (2019) describe el modelo en su artículo de ingeniería de confiabilidad, indica que este modelo es patentado por Larry Crow en 1981 cuando ejercía labores en el Ejército de actividad de análisis de sistemas de materiales del inglés AMSAA (Army Material Systems Analysis Activity), este es un modelo estadístico de crecimiento de fallas en el tiempo, cuyo modelo gráfico lo describe el autor mencionado.

Según indica Hernández (2018), la tasa de fallas es una función de ratio instantáneo en un determinado tiempo acumulativo, indica este valor una probable intuición de avería en determinado intervalo de tiempo y está determinado por la fórmula:

$$w(t) = \lambda\beta t^{\beta-1}$$

Donde $\lambda > 0$; $\beta > 0$ y $t > 0$

Se evalúa los resultados de β , si es mayor a la unidad entonces la tasa de fallas tiende a crecer, el MTBF disminuye conforme pasa el tiempo, se considera un sistema en deterioro. Para β menor a uno la tasa de fallas tiende a bajar, en

consecuencia, el MTBF tiende a crecer, se considera un sistema en mejoría en función del tiempo.

Para un valor igual a uno, tanto las tasas de fallas y el MTBF se mantendría constantes, se puede considerar un sistema homogéneo de Poisson (HPP).

El número esperado de fallas es la cantidad de averías que puedan suceder en un determinado tiempo está dado por:

$$\int_{t_0}^t w(t)dt$$

La fórmula de la cantidad esperada de fallas es una función en variable del tiempo:

$$W(t) = \lambda t^\beta$$

Esta función es una línea recta en el papel logarítmico como lo determina el modelo de Weibull:

$$\begin{aligned} \ln W(t) &= \ln \lambda + \beta \ln t \\ Y &= a + bx \end{aligned}$$

Viene a ser los parámetros primarios para determinar el modelo de ocurrencia de fallas del modelo de Weibull en base de calcular la regresión lineal de la gráfica obtenida de fallas vs tiempo.

Según Abernethy (2006, p.5), indica que el modelo descrito por Weibull puede predecir el número esperado de averías que puedan ocurrir en un determinado lapso de tiempo, el autor desarrolla una evaluación de riesgo para predecir fallas venideras, estas fallas acumuladas se pueden trazar versus el tiempo, esto es aplicable a una parte de la data o el total de ocurrencias.

El valor de los parámetros principales β y λ para el modelo de Crow AMSAA se determina de la siguiente manera:

$$\beta = \frac{n}{\sum_1^n Tq} \quad \lambda = \frac{Nq}{Tq^\beta}$$

El MTBF en un instante t está dada por:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda \beta t^{\beta-1}}$$

Para calcular la confiabilidad se emplea la siguiente expresión:

$$e^{-\int_{t_0}^t w(t)dt} = e^{-(\lambda t^\beta)}$$

El modelo de Weibull implica analizar la data de los tiempos entre fallas, donde i es el número de fallas y n es el total de fallas evaluadas.

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

$$\text{Densidad de fallas} = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) * \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$\text{Tasa de fallas } (\lambda) = \frac{\text{Densidad}}{\text{Confiabilidad}} = \frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

De donde el valor de $\beta > 0$ es el parámetro de forma, $\eta > 0$ es el indicador de escala, los valores de β menor a uno indican un sistema de fallas “infantiles” con decrecimiento de la tasa de fallas, para valores mayor a uno se considera un sistema en desgaste o senil, para valor igual a uno etapa de fallas aleatorias.

La obtención de los parámetros del modelo estadístico de Weibull parte de analizar el valor de los rangos medianos, para evaluar en una regresión lineal, para calcular el estimado de la distribución acumulada, basándose en la data de horas de fallas organizadas de menor a mayor de manera ascendente. Su expresión matemática está dada por:

$$RM(t) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4}$$

Según Ortiz y Piña (2018) indican que la determinación de los parámetros de rangos medios para el modelo de Weibull, donde i es el orden de la falla y n es el total de la muestra.

La deducción de la fórmula del modelo de Weibull está definida matemáticamente como:

$$F(t) = 1 - R(t)$$

$F(t)$: es la probabilidad de ocurrencia de falla

$R(t)$: es la confiabilidad del activo.

Según Abernethy (2006). Ambos valores son complementarios, del cual se interpreta en un papel logarítmico de la forma:

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

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

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

Se aplica logaritmos naturales a ambos lados de la igualdad:

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

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

Por propiedad de logaritmos en base exponencial y aplicando logaritmos nuevamente:

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

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

Esta última expresión se puede representar de forma lineal:

$$y = \beta x + c$$

donde:

$$y = \ln [-\ln (1 - F(t))]$$

$$x = \ln t$$

$$c = \beta \ln n$$

Tabla 03. *Parámetros del modelo de Weibull*

<i>i</i>	<i>t</i>	RM = F(<i>t</i>)	X	Y
1	77	0.0313	4.3438	-3.4499
2	173	0.0759	5.1533	-2.5392
3	235	0.1205	5.4596	-2.0523
4	250	0.1652	5.5215	-1.7118
5	260	0.2098	5.5607	-1.4461
6	342	0.2545	5.8348	-1.2254
7	397	0.2991	5.9839	-1.0345
8	461	0.3438	6.1334	-0.8646
9	514	0.3884	6.2422	-0.7100
10	568	0.4330	6.3421	-0.5666
11	600	0.4777	6.3969	-0.4316
12	695	0.5223	6.5439	-0.3027
13	724	0.5670	6.5848	-0.1780
14	763	0.6116	6.6373	-0.0558

15	871	0.6563	6.7696	0.0656
16	991	0.7009	6.8987	0.1881
17	1071	0.7455	6.9763	0.3138
18	1136	0.7902	7.0353	0.4456
19	1265	0.8348	7.1428	0.5882
20	1276	0.8795	7.1515	0.7494
21	1304	0.9241	7.1732	0.9472
22	1338	0.9688	7.1989	1.2429

Fuente: elaboración propia.

Los valores de x e y se lleva a una gráfica de dispersión y se hace una regresión lineal:

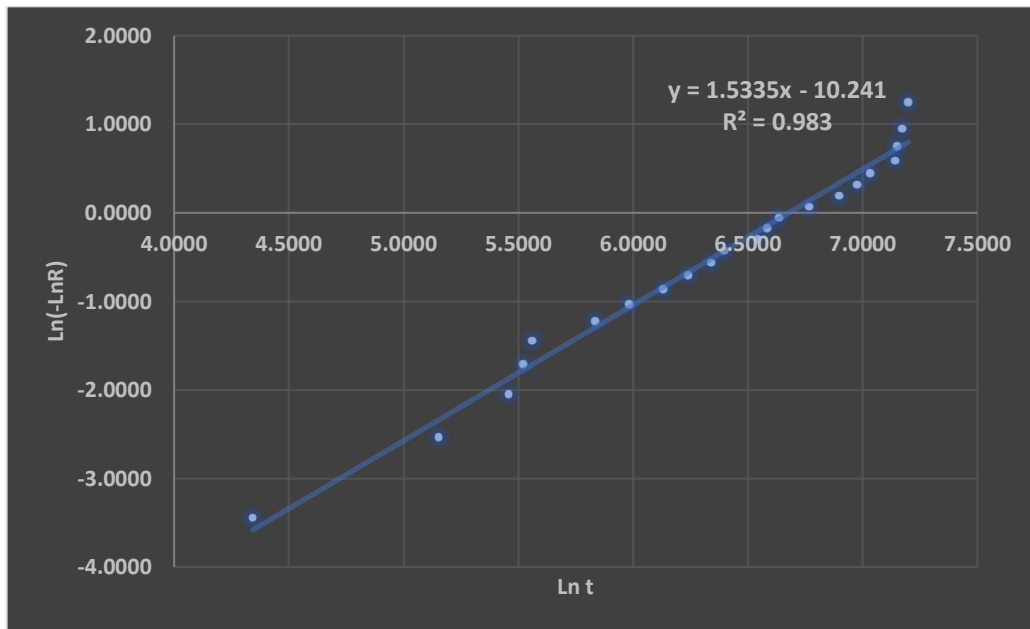


Figura 2.7, Tendencia de fallas

El valor R^2 indica el grado de dispersión de la data con un valor cercano a uno.

La pendiente resultante de la función lineal es el valor del β (parámetro de forma) el cual como su nombre lo indica da la forma del modelo de Weibull con la data recolectada.

El valor del parámetro de escala (η) se deduce de:

$$c = B \ln n$$

$$\frac{c}{\beta} = \ln n$$

$$n = e^{\frac{c}{\beta}}$$

Su valor indica que el ancho de la función de densidad es el valor más cercano al MTBF resultante de la data.

Para un $\beta = 1$, entonces $MTBF = n$
Para un $\beta > 1$, entonces el $MTBF < n$
 $\beta < 1$, $MTBF > n$

Según Chunga, et al. (2020), para dar comienzo con un plan de mantenimiento es indispensable determinar el estado en que se encuentran los equipos, con un análisis de criticidad, además se debe identificar las principales fallas e incidentes, los indicadores de mantenimiento sirve para analizar y hallar las tendencias entre fallas, con lo cual se puede saber el tiempo óptimo entre mantenimiento.

Al tener el Plan de mantenimiento su aplicación inicia por los equipos de mayores fallas, por lo que se debe saber que repuestos o reparaciones necesita el equipo, procediendo inventariar los repuestos y herramientas que tenga en stock en el almacén, si es necesario se solicita la compra del producto al área de finanzas.

Se coordinó entre el área de producción para crear un cronograma de mantenimiento que no afectará los horarios de producción, considerando las horas después del horario normal de trabajo la mejor opción.

El diseño de un programa de mantenimiento preventivo inicia con estructurar y definir las acciones propias de la actividad que se llevará a cabo, de esta manera se puede hacer una eficiente planeación, ejecución y seguimiento del programa de mantenimiento.

Según Pecht (2009). indica que las fases del plan de mantenimiento abarcan desde el listado de los equipos previo inventario de activos: Se debe de listar cada subsistema propio y sus funciones dentro del sistema, determinación de fallos y averías que le impidan al activo hacer su función principal para lo cual fue diseñado. Determinar los modos de fallas que son los causantes de las paradas de funcionamiento.

Evaluar el nivel de criticidad y los efectos de estos en el proceso, clasificarlos según la gravedad y consecuencia de la misma. Dentro de tres posibles determinantes como falla crítica, importante (semicrítico) y permisible (no crítico).

El impacto en la seguridad y medioambiente debido a esta avería se considera crítica cuando existe algún grado de probabilidad de sufrir accidente de gravedad, en cuanto al proceso de producción se considera crítica si esta avería o falla pueda ocasionar alguna parada del proceso, bajo rendimiento productivo o se repite con

continuidad, si esta pueda afectar el rendimiento o alguna parada larga del proceso se puede considerar importante y es tolerable si no afecta a la producción.

Sistemas	Tiempo Indisponible	Frecuencia de fallas	Afectación a la seguridad y medio ambiente	Afectación a la calidad	Costos
Activo Fijo 1	8	9	6	7	9
Activo Fijo 2	7	7	5	7	8
Activo Fijo 3	5	6	6	7	6
Activo Fijo 4	2	5	6	6	4

Figura 2.8. Ponderación de factores de criticidad. Fuente: dspace.espol.edu.

Una vez evaluados estos modos de fallas se procede a clasificar según nivel de criticidad, pasando a determinar las acciones de prevención que contemplen que estos fallos ocurran o en su defecto minimizar estos efectos en el proceso.

Las medidas de prevención pueden tomar acciones como mejoras al plan actual de mantenimiento, capacitaciones al personal involucrado, instructivos de operaciones o en su defecto modificar los actuales, de ahí parte la eficiencia del plan propuesto, para determinar las tareas propias del mantenimiento y las acciones requeridas para evitar estas fallas. (Bloom,2005).



Figura 2.9. Modos de falla. Fuente: Repositorio escuela superior del litoral.

Dentro de estas acciones se contemplan tareas como inspecciones, verificaciones, lubricación, pruebas predictivas de funcionamiento.

Contemplar frecuencias de reemplazo de componentes y cambios de piezas propias para garantizar el buen funcionamiento del activo.

Agrupar las medidas preventivas que eviten las paradas por fallos del equipo para posteriormente abarcar la implementación.

Definir el plan de mantenimiento para abarcar las actividades o tareas que resulten de los modos de fallos. La puesta en marcha de la implementación prevé un análisis de cálculos de costos involucrados y su impacto a futuro. Esta ampliación RCM es muy eficiente en temas de mejora y se ve en los resultados finales, es de vital importancia que todos los involucrados conozcan y participen de estos cambios.



Figura 2.10. Diseño de evaluación de fallos. Fuente: Repositorio escuela superior del litoral.

La gestión de procesos es la manera en que un sistema identifica, promueve y genera valor agregado al proceso de cualquier empresa, de esta forma se determina los objetivos de la estrategia para aumentar la calidad del producto o servicio final. (García, 2012, p21).

Lo elementos que generan un proceso se compone de las siguientes características: entrada o insumo, proceso, salida o producto final y sistemas de control.

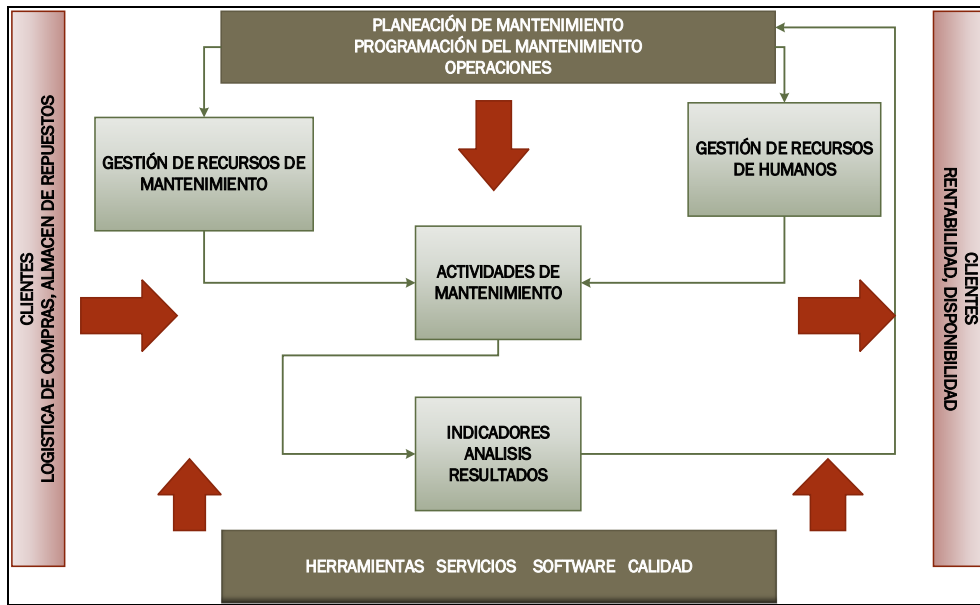


Figura 2.11. Mapa de proceso. Fuente: elaboración propia.

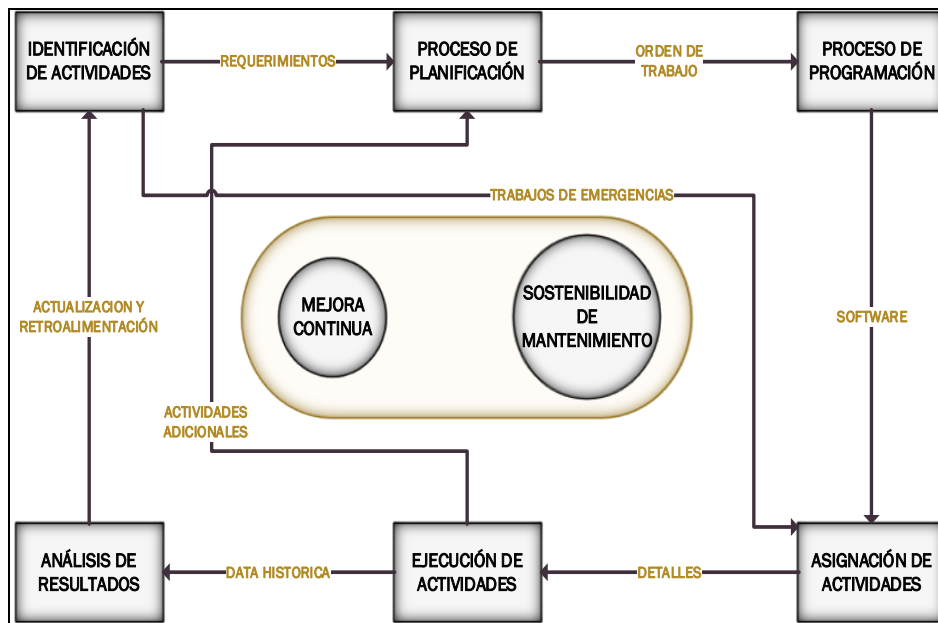


Figura 2.12. Generación de procesos de mantenimiento.

Fuente: elaboración propia.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación:

Enfoque Cuantitativo: se utilizaron los datos recogidos de las variables en este caso se utilizaron la data histórica de fallas o paradas entre fallas que fueron tomados en un periodo, para comprobar las hipótesis formuladas se empleó el análisis estadístico, con el fin de demostrar la relación causal entre los indicadores.

El tipo de estudio es aplicado, porque esta investigación fue enfocada en buscar la solución de un problema, con información técnica que sustente el trabajo, para su respectiva aplicación, aportando como referentes para el desarrollo de otros trabajos.

3.1.2 Diseño de Investigación:

Diseño No experimental, el trabajo de investigación no fue sometido a manipulación de sus variables, se emplearon los registros y se describió el área de trabajo de manera imparcial para poder ser analizados.

Con un diseño longitudinal de tendencia, donde la data que fue recolectada se analizó la relación de las variables durante un periodo de tiempo. En el caso del trabajo de investigación comprende los hornos de inducción eléctrica y sus incidencias por paradas no programadas, donde se tomarán nuevas mediciones y se analizaron con respecto al tiempo.

3.2 Variables y operacionalización

La variable independiente del estudio es el mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad, el cual es un método que está siendo utilizado para realizar proyectado que nos sirve para organizar y desarrollar programas, elaborando una estrategia adecuada para el plan de mantenimiento.

Conceptualización: Es un estudio de diagnóstico que mide el grado de servicio que pueda tener el equipo, máquina o cualquier activo en un determinado periodo de tiempo.

Operacionalidad: Maximizando el tiempo de buen funcionamiento del sistema, minimizando el tiempo necesario para reparar los equipos.

Entre sus dimensiones se encuentran la confiabilidad, tasa de fallas y cantidad de fallas en un tiempo.

La variable dependiente del trabajo de investigación es la Disponibilidad de los hornos. Esta variable evalúa la función que cumple durante un tiempo determinado, tomando en cuenta los criterios de confiabilidad y mantenibilidad.

Conceptualización: Es una metodología que ha sido usada para predecir el nivel o capacidades de un sistema basada en la averías y reparaciones de las máquinas que intervienen en un proceso.

Operacionalidad: la disponibilidad será obtenida en función de la fórmula. dividir la MTBF (Mean Time Between Failures) sobre la suma de MTBF y MTTR (Medium Time To Repair). Entre sus dimensiones está el tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparaciones.

3.3 Población, muestra y muestreo

3.3.1 Población

La población del trabajo de investigación fue conformada por los hornos de inducción eléctrica para el proceso de curvado de parabrisas, de la empresa Rabbit Glass S. A. , en la actualidad cuenta con un total de doce de estos equipos, a los cuales se les segmenta según el grado de criticidad para la evaluación y diagnóstico inicial. Se puede decir que la población son todos los hornos de curvado, y se estudiará el histórico de los tiempos entre fallas, por lo cual se considera como variable cuantitativa continua.

Criterios de inclusión: Las características que incluyen a estos equipos dentro de la población son: Los hornos de inducción eléctrica tienen un tiempo de operación de 2 a 3 horas para producir 1 piezas, son equipos que sus paradas generaban cuellos de botellas, además son los que poseían una alta tasa de fallas y paradas de emergencia para realizar reparaciones.

Criterios de exclusión: No se tomaron en cuenta los demás equipos que intervienen en el proceso producción, como el pre autoclave o la autoclave, que, a pesar de tener largos tiempos de operaciones, no trabajan con temperaturas altas que puedan dañar al equipo, tampoco presentan fallas que podrían afectar la línea de producción y no poseen características similares.

3.3.2 Muestra

La muestra del trabajo de investigación estuvo constituida por toda la población de estudio, es decir los hornos de inducción eléctrica, los cuales siguen un análisis de segmentación mediante un criterio de selección según el grado de criticidad, antigüedad, modelo. La muestra tendrá una equivalencia a la data histórica tomada desde el año 2016 hasta el año 2021, para la posprueba.

3.3.3 Muestreo

Se consideró un muestreo probabilístico, porque el muestreo se ha caracterizado por analizar grupos pequeños, en el caso de la investigación son las incidencias con paradas no programadas por mantenimiento correctivo por fallas, basado en el método de muestreo aleatorio simple donde toda la población pueda contar con la posibilidad de ser elegida.

3.3.4. Unidad de análisis.

En el estudio se caracterizaron los equipos de manera que la unidad de análisis que son los indicadores de incidencias reportadas referidas a la toma de tiempo entre fallas de los equipos, se enfocó en la evaluación total de los equipos del proceso de curvado de parabrisas, el recolectado del histórico de fallas data desde el año 2016 en adelante.

Tabla 04. *Incidencias De Fallas De Los Hornos De Inducción.*

Horno De Inducción	Incidencias	Código De Id
Horno HL-01	23	HL - 0107216
Horno HL-02	46	HL - 0207086
Horno HL-03	12	HL - 0308145
Horno HL-04	10	HL - 0407632
Horno HL-05	12	HL - 0505632
Horno HL-06	10	HL - 0607512
Horno HL-07	15	HL - 0708133
Horno HL-08	76	HL - 0807220
Horno HL-09	39	HL - 0907324
Horno HL-10	48	HL - 1007123
Horno HL-11	165	HL - 1107523
Horno HL-12	5	HL - 1206122
total	461	

Fuente: elaboración propia.

3.3.5. Plan de muestreo

Se determinó seguir la fórmula de población finita, con población conocida y enfoque cuantitativo representada por la siguiente fórmula estadística:

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{(N - 1) \times E^2 + (Z^2 \times p \times q)}$$

donde:

N: es la población conocida, en este caso son el total de incidencias de fallas.

Z: nivel de confianza deseada = 95%

E: error de estimación deseado = 5%

p: proporción de éxito = 50%

q: 1 – p

Reemplazando valores en la fórmula:

$$n = \frac{461 \times 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{(460) \times 0.05^2 + (1.96^2 \times 0.5 \times 0.5)} = 209.79 \cong 210$$

Se tomó en consideración hacer un muestreo aleatorio simple, empleando la técnica de composición porcentual respecto de las incidencias recolectadas, de esta forma se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla 05. *Composición porcentual de la muestra*

Hornos de inducción	Incidencias	Composición porcentual
horno 1	23	4.99%
horno 2	46	9.98%
horno 3	12	2.60%
horno 4	10	2.17%
horno 5	12	2.60%
horno 6	10	2.17%
horno 7	15	3.25%
horno 8	76	16.49%
horno 9	39	8.46%
horno 10	48	10.41%
horno 11	165	35.79%
horno 12	5	1.08%
Total	461	100.00%

Fuente: elaboración propia.

El plan de muestreo queda como se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla 06. *Tamaño individual de la muestra*

Equipo	Muestra
Horno 1	10
Horno 2	21
Horno 3	5
Horno 4	5
Horno 5	5
Horno 6	5
Horno 7	7
Horno 8	35
Horno 9	18
Horno 10	22
Horno 11	75
Horno 12	2
Total	210

Fuente: elaboración propia

Se pudo observar que el equipo mayor incidencia o paradas imprevistas fue el horno HL - 11.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica usada en el presente desarrollo del proyecto de investigación es la documentación y la técnica empírica para la recolección de la información detallada en registros de procesos.

La técnica de documentación conlleva a juntar los datos y evidenciar la información desde el punto referencial del mismo. Esta data está basada en las ocurrencias de fallas de los hornos de inducción eléctrica, además de recopilar los tiempos medios de reparaciones registradas en el área de mantenimiento. De igual forma se junta la data de la disponibilidad medida en un periodo de tiempo del último año.

La técnica empírica permite relacionar la muestra y la observación desde testimonios de los operarios, de esta manera se permite analizar la información desde otra perspectiva.

Para el Instrumentos de recolección de datos se jerarquiza mediante el análisis de la criticidad de las máquinas y tablas de evaluación de la criticidad, considerando la evaluación de los modos de fallas, teniendo la actualización constante de la información.

Como se argumenta, los métodos de análisis que buscan la jerarquización suelen ser herramientas que acceden y reconocen los niveles de criticidad de los equipos de una planta industrial y redireccionan el capital humano, tecnológico y económicos correctamente. Por lo cual, en el desarrollo de análisis de criticidad nos guía a identificar su valor de importancia y qué consecuencias puede ser producida por los fallos que suelen presentarse en los sistemas. (Parra, et al. 2021).

Entre los autores que sustentan al análisis de criticidad en los siguientes artículos como base para la implementación de un mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Autores	Artículo
Parra Carlos	Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos Industriales
Parra Carlos, Crespo Márquez Adolfo, Parra Jorge y Viveros Pablo.	Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo.
Parra Carlos y Crespo Márquez Adolfo	Métodos de análisis de criticidad. Basado en el Proceso de Evaluación de Riesgos.
QUISIGÜIÑA Reyes Luis Gerardo, Arteaga Linzan Ángel Rafael y Rodríguez Ramos Pedro Antonio	Determinación de Indicadores de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad.
Anderson de Souza Nunes y Jairo José de Oliveira Andrade	Uso de análisis de falla y criticidad en una herramienta de gestión de mantenimiento para una empresa de distribución de energía eléctrica.
Abernethy Robert.	El nuevo manual de Weibull, Confiabilidad y análisis estadístico para predecir reclamos de vida, seguridad, capacidad de soporte, riesgo, costo y garantía
Ortiz Yáñez Jesús Francisco Y Piña Monárrez Manuel Román	Discriminación entre las distribuciones log normal y Weibull mediante regresión lineal múltiple.
Duane James T.	The Crow Amsaa - Modelo de crecimiento en confiabilidad
Moubray John.	Mantenimiento Centrado En Confiabilidad (RCM)
Bloom Neil	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM): implementación simplificada

Figura 3.1. Autores referidos a la información del proyecto.

3.5 Procedimientos

El análisis que se hace de manera inicial a la variable independiente, en el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo, se hace una evaluación primaria del contexto actual mediante el uso de las herramientas de diagnóstico de problemas como el diagrama de Pareto e Ishikawa, para determinar las causas

principales de las fallas correctivas y que ocasionan la baja disponibilidad de los equipos en la línea de producción de parabrisas.

En base a un análisis de averías o fallas más críticas en el registro de documentación de ocurrencias de la empresa es que se determina a qué equipos en particular se hará la evaluación inicial, para este fin se usa la herramienta de análisis de modo de fallas y efectos (AMFE) para evaluar la criticidad de la misma.

Tabla 07. Descripción de los modos de falla

Componentes	Funciones	Falla Funcional	Modos de Fallas	Efectos
Resistencia (alambre Nicromo)	Alambre de una aleación entre níquel y cromo, al ser alimentado por una fuente de energía, se calienta a altas temperaturas	Material deteriorado por el uso. Se rompe por algún corto circuito.	Falla por uso excesivo no se reemplazan Se empalman para seguir trabajando	La resistencia no prende en la parte afectada del horno.
Aislante térmico (Kaowool)	Las paredes que recubren los hornos, están revestidas de un material aislante de alta temperatura.	Deteriorado por el tiempo de funcionamiento	Falla por Material dañado	Pierda calor y demora más en almacenar el calor
Cableado de fuerza	Los cables de calibre # 12 que llevan el voltaje a las resistencias	No hay voltaje de alimentación	No prende la resistencia	Temperatura desaparece dentro del horno
Terminales o conectores	conectan los cables de fuerza con las resistencias	Recalentamiento del cable	Falso contactos.	Se eleva la corriente y recalentamiento de los cables.
Cableado	Alimentar las resistencias	Se queman los cables	Algunos cables pasan por donde el horno tiene fugas de calor	Provoca apagar todo el horno
Porta resistencias cerámicas	Aislante eléctrico y soporte para el alambre de nicromo	Se pueden quebrar o romper	Se suele quebrar en cambios bruscos de temperatura	Puede ocasionar cortocircuito entre las resistencias.
Contactador A32	Elemento eléctrico semiautomático	No hay voltaje	No deja pasar voltaje a la resistencia	Los terminales del contactor se recalientan por faltar ajustar,
llaves térmicas C63	Elemento eléctrico de seguridad, dentro de un circuito eléctrico	No hay voltaje	Puede dañarse una fase	No se puede prender el tablero

Pirómetro y termocupla	Sensor y pantalla de medición de la temperatura del horno	No hay temperatura	Por el uso la termocupla suele romperse.	Se desconoce la temperatura del horno,
Pistón de aire (sistema neumático)	Provee de fuerza mecánica para elevar las tapas	Pierde fuerza	Se gastan las empaquetaduras y pierde presión	No puede soportar el peso de la tapa
Rodajes y cadena (sistema mecánico)	Sistema de izaje de forma mecánica por contra pesos para las tapas	No gira adecuadamente, presenta rigidez	Falta lubricación	No se puede levantar la tapa

Fuente : Elaboración Propia.

Análisis de criticidad

Este análisis de criticidad permite identificar los niveles para los equipos (hornos industriales) que intervienen en proceso de curvado de las láminas de vidrio para la producción de parabrisas, esto ayudará a tomar mejor una decisión, esta herramienta nos guía para establecer prioridades.

F R E C U E N C I A	CRITICIDAD					C: CRÍTICO MC: media criticidad NC: No critico	
	4	MC	MC	C	C		C
	3	MC	MC	MC	C		C
	2	NC	NC	MC	MC		C
	1	NC	NC	NC	MC		C
		10	20	30	40		50
	CONSECUENCIA (CO)						

Figura 3.2. Matriz de Criticidad propuesta por el modelo CTR

Se pudo determinar las ocurrencias de fallas más resaltantes en el proceso, en primer lugar, se deben a desperfectos eléctricos de componentes de los equipos.

Frecuencia de Fallas (FF) (1 - 4)		Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA) (1-8)	
<ul style="list-style-type: none"> ● > a 6 fallas / mensual 4 ● Promedio 4 a 5 fallas /mensual 3 ● Buena 2 a 3 fallas /mensual ● Excelentes menores de 1 falla /mensual. 2 1 		<ul style="list-style-type: none"> ● Riesgo alto, que atenta contra la vida. 8 ● Riesgo medio, que podría afectar la vida y causar daños al ambiente. 6 ● Riesgo mínimo, daño mínimo al medio ambiente. 2 ● Procedimiento seguro 1 	
Impacto Operacional (IO) (1-10)		costes de mantenimiento (CM) (1-2)	
<ul style="list-style-type: none"> ● Pérdidas de producción superiores al 75% 10 ● Pérdidas de producción entre el 50% y el 74% 7 ● Pérdidas de producción entre el 25% y el 49% productivos o en la calidad. 5 ● Pérdidas de producción entre el 10% y el 24% 3 ● Pérdidas de producción menor al 10% 1 		<ul style="list-style-type: none"> ● Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 2000 soles. 2 ● Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 2000 soles. 1 	
Flexibilidad Operacional (FO) (1-4)			
<ul style="list-style-type: none"> ● No se puede producir, sin opción de recuperación. 4 ● No se puede ser reemplazado por otro equipo 2 ● No hay stock de repuestos 1 			

Figura 3.3. Modelo De Criticidad Semicuantitativo “CTR” (Criticidad Total Por Riesgo)

Tabla 08. *Evaluación de criticidad de los modos de falla*

Modos de falla	frecuencia	impacto Operacional	Flexibilidad	Costo de Mantenimiento	Impacto SHA	consecuencias /total	CTR	Jerarquización
Falla de la resistencia (bobina alambre nicromo) por uso excesivo no se reemplazan	4	10	4	1	6	47	188	C
Falla por Aislante térmico dañado (Kaowool)	1	7	2	1	6	21	63	C
Cableado dañado (corto circuito)	3	10	4	1	6	47	141	C
Terminales Y Conectores Del Sistema Eléctrica	4	5	2	1	3	14	56	MC
cables quemados por fuga de calor	2	10	4	1	6	47	94	C
Porta resistencias cerámicas rotas	2	7	2	1	1	16	32	MC
Fallas tablero de control (contactor D32 llave termomagnética C63)	2	10	4	1	3	44	88	C
Fallas en el control de temperatura (pirómetro y termocupla)	2	10	4	1	3	44	88	C
Fallas del Sistema Mecánico	1	3	2	1	3	10	10	NC
Fallas en Sistema neumático	1	3	2	1	3	10	10	NC

Hoja de decisión

La siguiente tabla, nos da a conocer la hoja de decisión donde se redactó el análisis de las principales fallas que se hallaron en las tablas anteriores, teniendo en cuenta sus características crítica

Tabla 09. *MATRIZ AMFE*

FUNCION	MODO DE FALLA	EFECTO	CAUSA	ACCIONES RECOMENDADA	PERSONA RESPONSABLE
1.1 HORNO DE INDUCCION ELECTRICA (H)					
1.1.1 Resistencias De Alambre Nicromo (RN)					
las bobinas de alambre nicromo al ser energizadas, empieza a calentarse rápidamente , siendo la principal parte del horno. Requisitos: AC 220 Voltios , 2.2 KW	las bobinas de alambre nicromo no desprende calor	la temperatura dentro de la cabina del horno no es uniforme.	H.R.N. presenta fisuras	inspeccionar, si es necesario reemplazar	Ricardo Laguna
			H.R.N. Terminales flojos	reemplazar y ajustar los terminales	
			H.R.N. falla en el tablero de control.	medir con el instrumento y detectar la falla	
	las bobinas de alambre nicromo no alcanzan su temperatura optima.	demora en llegar a la temperatura de curvado de las láminas de vidrio	H.R.N. material pierde propiedades	revisar con el multímetro, si todas las bobinas están operativas	Luis rondón
		demora en llegar a la temperatura de curvado de las láminas de vidrio	H.R.N. No cumple con las medidas de trabajo.	reemplazar la bobina de nicromo	Ricardo Laguna
			H.R.N. el voltaje de alimentación es menor.	revisar la fuente de alimentación y la llave termomagnética está funcionando	

1.1.2 Aislante Térmico De Kaowool (A.K.)					
Mantener el calor dentro de la cabina del horno. Requisitos: Material Aislante de Alta Temperatura hasta 1260 C° ,Manta de Fibra de Cerámica. Espesor 1".	Fuga de calor	se pierde el calor dentro del horno	H.A.K. rotura de partes del aislante cerámico.	desmontaje y reemplazo del aislante dañado	Oscar Villafuerte
		el curvado de la lámina no puede controlarse	H.A.K son más delgados en algunas paredes del horno.	inspección y limpieza interior del horno	Oscar Villafuerte
1.1.3 Porta Resistencia Cerámicas (C)					
Soporte para las bobinas de nicromo. Requisitos: aislante cerámico de alta temperatura de doble canal de 1cm diámetro.	cortocircuito	se daña la bobina de nicromo.	H.C. Al estar rotas las bobinas energizadas se pegan y generan un corto circuito.	inspección y cambiar las porta resistencias cerámicas	Ricardo Laguna
	Fuga de Corriente	se energiza la carcasa externa del horno.	H.C. no está instalado correctamente desde la bobina choca con las partes metálicas	aislar correctamente las puertas resistencias, comprobar con el instrumento si no hay fuga.	Ricardo Laguna
1.2 circuito de fuerza y de Mando					
1.2.1 Terminales Y Conectores Del Sistema Eléctrica					

conexión entre las bobinas de nicromo , cableado eléctrico y el tablero de control.	se corta la alimentación del voltaje	sobrecalentamiento del cableado	pernos flojos	inspección del cableado y reajuste de los conectores	Luis rondón
		se sulfatan y queman los terminales	terminales mal prensados	cambiar los terminales con visibles rasgos de deterioro	
1.2.2 tablero de control					
control semi automático, requisitos: 220 v.	no funciona correctamente	no se puede controlar el calor en las áreas dentro del horno	contactor D32 dañado	inspección y cambio del accesorio	Ricardo Laguna
			Llave electromagnética C63 dañada	inspección y cambio del accesorio	
1.2.3 Pirómetro y termocupla					
Mide La Temperatura Dentro Del Horno. Requisitos :220 V. Sensor Tipo K, Rango De 0 - 999 C°	lectura errónea de la temperatura	se desconoce la temperatura dentro del horno	se rompe el sensor (termocupla)	reemplazo del sensor	Luis rondón
		des calibración del pirómetro	instalación incorrecta del tipo del sensor	se revisa y se reemplaza por el correcto sensor, y la polaridad positiva o negativa	
			falso contacto en los contactos del sensor	reajuste de todos los contactos , y revisando la alimentación de 220 v	

1.3 Sistema De Izaje De La Tapas					
1.3.1 Tecele Eléctrico					
empleado para alzar la estructura de tapa superior . Requisitos: 220V. Rango 500 - 1000 Kg	cable de acero con desgaste	peligro de rotura y desplome de la carga	falta de lubricación y exceso de rozamiento.	cambio del cable de acero y lubricación	Ricardo Laguna
1.3.2 Sistema Neumático					
Pistón neumático (500 kg) y amortiguador de aire (max 30 Kg)	baja de presión de aire	no hay presión para poder mover el pistón neumático	manguera con fisura	inspección y cambio de la manguera de alimentación	Luis rondón
		el amortiguador no ejerce fuerza	empaques dañados	cambiar los amortiguadores	Ricardo Laguna
1.3.3 Cadena De Transmisión Y Rodamientos O Rodajes					
sistema de contrapesos para abrir las tapas.	rigidez al articular la cadena	se dificulta la apertura del horno	falta de lubricación	Limpieza de la cadena y lubricación.	Oscar Villafuerte
	dureza en su movimiento	se atasca y daña el rodaje	falta de lubricación	inspección, lubricación o reemplazo	Ricardo Laguna

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Cronograma de actividades de la ejecución de mantenimiento.

Relación de Actividades		2022																																											
		Enero				Febre				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Sept				Octubre							
		semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas								
1	Se expone la Propuestas de Proyecto y aplicación ante el Gerente General y jefe del área de producción.	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
2	Se obtiene la aprobación de la gerencia																																												
3	Aplicación de métodos y técnicas de recolección de datos																																												
4	Analizar la data histórica para formar el pre test																																												
5	Identificar los equipos más críticos (análisis de criticidad)																																												
6	Plantear la matriz AMFE (El Análisis Modal de Fallos y Efectos)																																												
7	Solicitar los repuestos y materiales necesarios del almacén																																												
8	Aplicar el mantenimiento preventivo a los equipos más críticos																																												
9	Capacitación de mantenimiento autónomo (operarios)																																												
10	Recolección de los datos Post test																																												
11	Manejos y análisis estadísticos de las muestras pre test - Post test																																												
12	Resultados																																												












Actividades de Mantenimiento								
 RABBIT GLASS SA <small>NUESTRA PRIORIDAD ES SU SEGURIDAD</small>	Seccion	Area de Doblaje	Hoja N°	1				
	Sistema	Horno de Induccion	Periodo	Programa semanal				
	Subsistema	Electrico	Codigo	MP-001				
	Componente	Horno de Induccion	codigo					
Actividad	Mantenimiento Preventivo		Actividad	Simbolo	General			
Responsable	Jefe de Mantenimiento		operación		10			
Proceder	desconectar la alimentacion AC ,desmontar , limpiar , revisar , reemplazar , armar , conectar y probar.		Transporte		2			
			Espera		0			
			Inspeccion		3			
			Almacenamiento		1			
N°	Descripción	Simbologia					Tiempo (min)	Observaciones
								
1	Revisión de data histórica de fallas						20	
2	Inspección física y levantamiento de fallas encontradas						40	
3	Coordinar y programar el mantenimiento con el área de producción						60	
4	Realizar el retiro de materiales y repuestos del almacén						20	
5	Trasladar el equipo y herramientas necesarias						20	usar las herramientas apropiadas para el trabajo
6	Antes de empezar el equipo debe estar desconectado de la red eléctrica						30	El personal debe usar los implementos de seguridad
7	medicion en Ohmios(Ω) de las resistencias (bobinas de alambre nicromo)						40	emplear herramientas de medicion (Multimetro)
8	limpiar o reemplazar las placas de aislante termico (kaowool)						60	solo los que esten sulfatados
9	reemplazar los contactos o terminales						20	
10	reemplazar las porta resistencias ceramicas rotas						30	por los cambios de temperatura suele romperse por ser de cermica
11	Aplicar aire comprimido para limpiar el polvo en tablero de mando.						10	
12	lubricacion del sistema de izaje de las tapas						20	pistones , cadenas y rodajes
13	retirar todas las herramientas y materiales que se encuentran en el horno						20	por los cambios de temperatura suele romperse por ser de cermica
14	encender el equipo						10	
15	inspeccionar el funcionamiento						30	
16	regresar los materiales sobrantes y herramientas.						15	
Tiempo Total :							445	7.40 horas
Materiales:	soplete de aire , trapos y brocha (quitar el polvo)							
Repuestos :	Porta resistencia ceramica , aislante termico Kaowool , terminales #12 de 1/4 , aceite y grasa .							
Equipos y Herramientas	juego de destornilladores, alicate universal , prensador de terminales , juego de llaves y multitester							

Figura 3.4.DAP actividades de Mantenimiento.

Así mismo se recopila información histórica de data de ocurrencia de fallas para determinar el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparaciones (MTTR), a partir de esos datos se evaluará el estado inicial de la variable dependiente, la disponibilidad de los hornos de inducción, de acuerdo a esa data se evalúa la confiabilidad de los hornos, mediante la determinación inicial en base a un diagrama de Nelson Allen para escoger el modelo estadístico que mejor se ajusta a las data de ocurrencias de fallas.

Tabla 11. *Evaluación inicial de los hornos de inducción.*

	Test de Laplace	Modelo de Confiabilidad	MTBF	MTTR	Disponib	# de Correct	Tq	C	SC	NC
H - 2	0.8709	Weibull	204	4.82	97.69%	22	4481	7	11	4
H - 8	1.9695	Weibull	70	6.09	92.01%	35	2454	11	16	8
H - 9	0.3287	Weibull	156	6.01	96.29%	18	2807	3	7	8
H - 1 0	1.7299	Weibull	78	5.85	93.02%	22	1715	6	9	7
H - 11	0.3732	Weibull	62	4.56	93.14%	75	4642	21	23	31
Otros	-0.5082	Weibull	176	6.83	96.27%	38	6696	18	11	9

En esta evaluación inicial se determina que el plan de mantenimiento actual no cubre en su mayoría los modos de fallas o las actividades que garanticen el buen funcionamiento de los mismos.

Por lo tanto, el presente plan de mantenimiento sugerido involucra una mejora de la disponibilidad en base de una evaluación de la confiabilidad para determinar el tiempo de intervención preventiva, en base de minimizar las principales ocurrencias de fallas del análisis inicial, se propone las actividades determinantes de mantenimiento, personal involucrado y tiempos programados de la intervención.

Para este fin se toma en cuenta las opiniones del personal involucrado en el proceso operativo y correctivo, quienes son los principales partícipes del funcionamiento y operatividad de los hornos, además de conocer todas las características y fallas principales.

3.6 Método de análisis de datos

La evaluación de la data cuantitativa de las ocurrencias de fallas se desarrolla con el uso de programas que permitan analizar la estadística descriptiva, así como la evaluación de los parámetros de la confiabilidad y la disponibilidad, teniendo al Excel como principal herramienta de trabajo, además del Minitab y el SSPS.

Este proyecto de investigación lleva a cabo el desarrollo de la estadística descriptiva de los principales indicadores de mantenimiento de las variables estudiadas, mediante el desarrollo de gráficas de tendencia y resumen estadístico para representar promedios, moda, desviación estándar de la data evaluada.

La recolección de la información está basada en data histórica de fallas con intervenciones correctivas, que están registradas en los reportes de producción que se pudo recolectar en la empresa en estudio, a partir del año 2016 hasta el año 2022. Se detalla en el siguiente cuadro los equipos en estudio.

Tabla 12. Cuadro de clasificación de los hornos.

ID del Horno	Cantidad de fallas	Número	Marca	Año de fabricación
Horno HL-1107523	75	11	Gang Xin	2010
Horno HL-0807220	35	8		2010
Horno HL-1007123	22	10		2013
Horno HL-0207086	21	2		2009
Horno HL-0907324	18	9		2012
Horno HL-0107216	11	1		2011
Horno HL-0708133	7	7		2009
Horno HL-0308145	5	3		2010
Horno HL-0505632	5	5		2012
Horno HL-0607512	5	6		2014
Horno HL-0407632	4	4		2016
Horno HL-1206122	1	12		2016

En base a esa data se prioriza mediante un análisis de Pareto para determinar la prioridad de los equipos con más fallas para la propuesta inicial y el análisis de la confiabilidad.

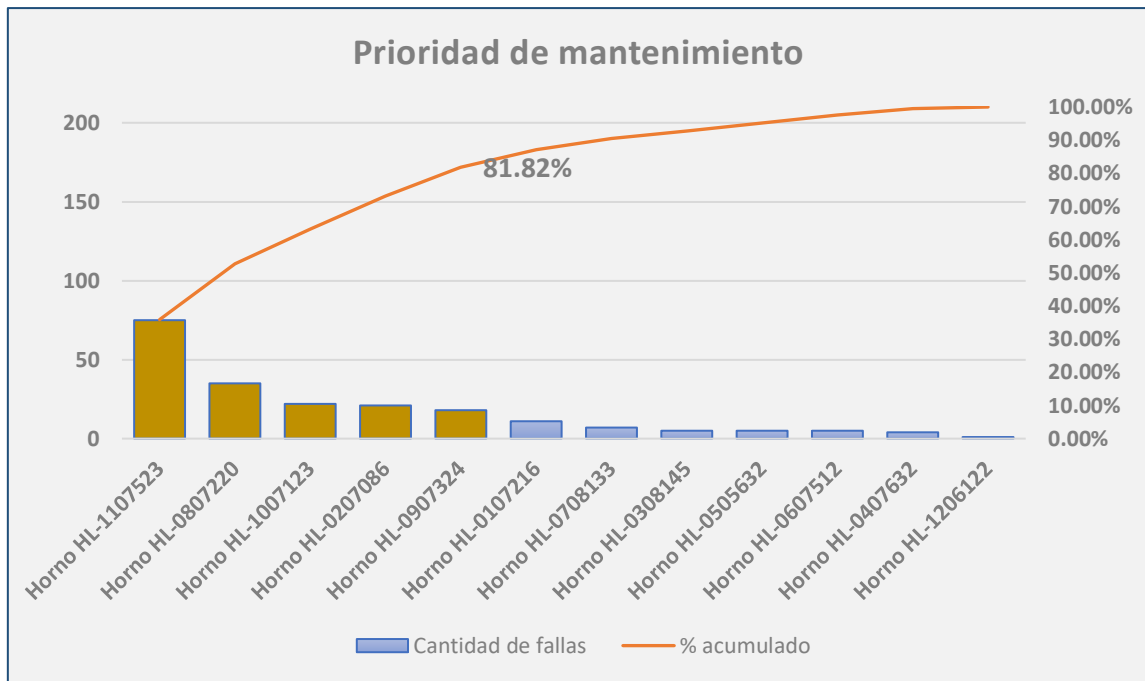


Figura 3.5. Pareto de prioridad de mantenimiento.

La obtención del histórico de fallas luego de un filtrado de las intervenciones correctivas, se analiza la información mediante una hoja de cálculo en Excel y priorizando según el criterio de muestreo.

Cálculo de la Confiabilidad de los equipos.

La evaluación de la confiabilidad parte de escoger el modelo estadístico que mejor se ajuste a los datos recolectados, obteniendo mediante el test de Laplace considerando el valor de la significancia de 0.1, posteriormente se detalla el análisis individual de cada equipo en estudio y priorizando según el análisis del gráfico de Pareto el orden de evaluación.

La obtención de los parámetros de medición del modelo de Weibull para evaluar la confiabilidad de cada equipo, se obtiene del análisis inicial obtenido de la data histórica de fallas registradas en los reportes de producción, considerando en este caso solo los tiempos entre fallas, posteriormente según el modelo matemático se ordena de menor a mayor en orden ascendente, así se determinó mediante el uso del software Excel las fórmulas matemáticas que se emplean en la medición de la confiabilidad.

La obtención de los parámetros de confiabilidad, se obtuvo de evaluar los tiempos entre fallas según la deducción del modelo estadístico de Weibull:

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

De donde se puede interpretar como una función lineal en el papel logarítmico:

$$y = \ln [-\ln (1 - F(t))]$$

$$x = \ln t$$

$$c = \beta \ln n$$

El valor del parámetro de forma (β) sería en este caso el valor de la pendiente al obtener la regresión lineal de los valores observados (tiempos entre fallas), de igual forma la obtención del parámetro de escala (η) se deduce de despejar el valor η de la igual; $c = \beta \ln n$ obteniendo la siguiente expresión:

$$n = e^{\frac{c}{\beta}}$$

Parámetros de medición de la confiabilidad del horno 11

Parámetros de Weibull H-11	
Forma	5.785
Constante	24.318
Escala	66.910

El valor del Beta mayor a 1, indica que el equipo está en una etapa de desgaste por según la deducción de la gráfica de la bañera, se evaluó la frecuencia de mantenimiento preventivo según el análisis de la disponibilidad y la obtención del valor del MTBF para este equipo.

La fórmula de la función confiabilidad de Weibull del Horno 11:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{66.91}\right)^{5.785}}$$

La obtención de los parámetros del modelo de Crow Amsaa para, está deducido de los tiempos acumulados entre fallas.

Parámetros de modelo de Crow Amsaa para el horno 11.

De donde:

$$T_q = 4642 \text{ horas}$$

$$N_q = 75 \text{ obs}$$

$$\beta = \frac{Nq}{\sum_1^n \ln\left(\frac{Tq}{Xi}\right)} = \frac{75}{70.66} = 1.0614$$

$$\lambda = \frac{Nq}{Tq^\beta} = \frac{75}{4642^{1.0614}} = 0.00962$$

La función para el cálculo de tasa de fallas $w(t)$, en un tiempo t :

$$w(t) = 0.00962 * 1.0614t^{0.0614}$$

La función para el estimado de fallas esperadas $W(t)$, en un tiempo t

$$W(t) = 1.0614t^{1.0614}$$

Evaluación de la disponibilidad del horno 11:

Horno 11					
Número de fallas	Horas operativas	Horas de reparaciones	MTBF	MTTR	Disponibilidad
75	4642	342.16	61.89	4.56	93.13%

La observación del valor obtenido del MTBF es muy cercano al parámetro de escala del modelo de Weibull (66.91 hrs), lo que se considera apropiado para la frecuencia de intervención del mantenimiento preventivo, con una confiabilidad estimada de 27.92%, en el cual es riesgo de probabilidad de que ocurra una falla es del 72.70%.

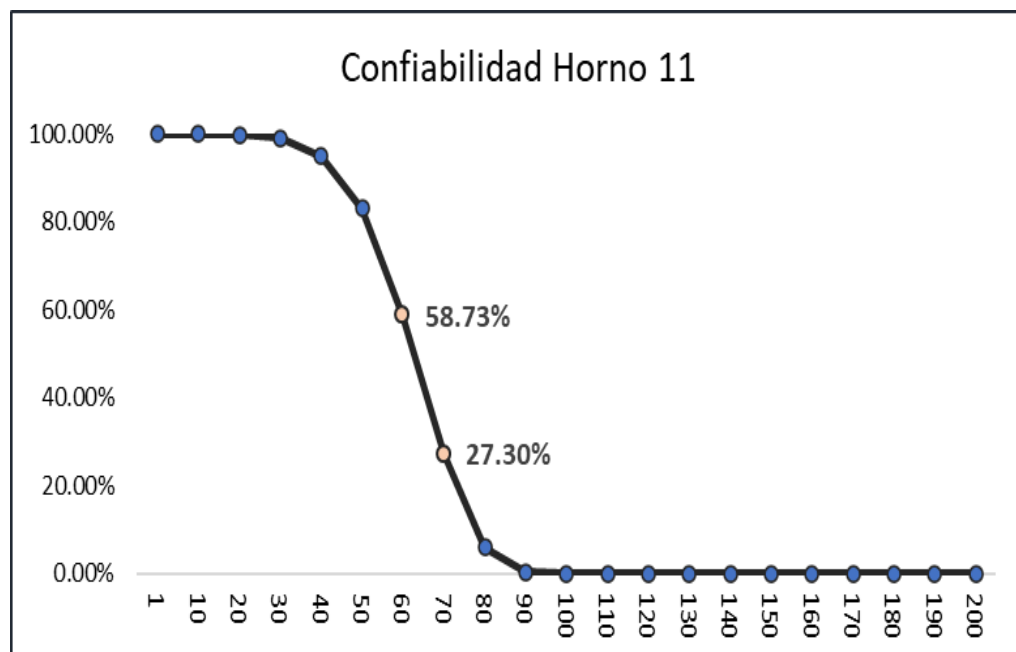


Figura 3.6. Confiabilidad horno 11

Tabla 13. Análisis de indisponibilidad para el Horno 11

	Tipo de falla	Tiempo de reparaciones	MTTR	Tasa de fallas	F(t)
1	Falla de resistencia	37.41	4.68	0.0017234	0.81%
2	Falla en el aislante térmico	49.37	4.94	0.00215424	1.06%
3	Falla operativa	53.00	4.42	0.00258509	1.14%
4	Cortocircuito eléctrico	23.54	5.89	0.0008617	0.51%
5	Falla porta resistencias	40.84	4.08	0.00215424	0.88%
6	Falla de panel de control	54.55	4.96	0.00236967	1.18%
7	Falla del sistema neumático	51.37	4.28	0.00258509	1.11%
8	Falla del sistema de mecánico	32.07	4.01	0.0017234	0.69%

El análisis de la criticidad indica que las fallas que requieren mayor atención según el grado de indisponibilidad y elevado tiempo de reparaciones están asignadas de color rojo.

Parámetros de medición de la confiabilidad del horno 8.

Parámetros de Weibull H-08	
Forma	2.2942
Constante	10.021
Escala	78.875

La fórmula de la confiabilidad de Weibull del Horno 8:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{78.875}\right)^{2.2942}}$$

Parámetros de modelo de Crow Amsaa para el horno 8.

Donde:

$$Tq = 2454 \text{ horas}$$

$$Nq = 35 \text{ obs}$$

$$\beta = \frac{Nq}{\sum_1^n \ln\left(\frac{Tq}{X_i}\right)} = \frac{35}{24.898} = 1.4057$$

$$\lambda = \frac{Nq}{Tq^\beta} = \frac{35}{2454^{1.4057}} = 0.000601$$

La función para el cálculo de tasa de fallas w(t), en un tiempo t:

$$w(t) = 0.000601 * 1.4057t^{0.4057}$$

La función para el estimado de fallas esperadas $W(t)$, en un tiempo t

$$W(t) = 0.000601t^{1.4057}$$

Evaluación de la disponibilidad del horno 08:

Horno 08					
Número de fallas	Horas operativas	Horas de reparaciones	MTBF	MTTR	Disponibilidad
35	2454	213.18	70.11	6.09	92%

La frecuencia de mantenimiento sugerida para este equipo está dada entre el valor del MTBF (70.11 horas) y el valor obtenido del parámetro de escala de la función de Weibull ($\eta = 78.87$ horas), para una probabilidad de ocurrencia de falla de 53% y una confiabilidad estimada de 47% aproximadamente.

Se detalla en el siguiente gráfico:

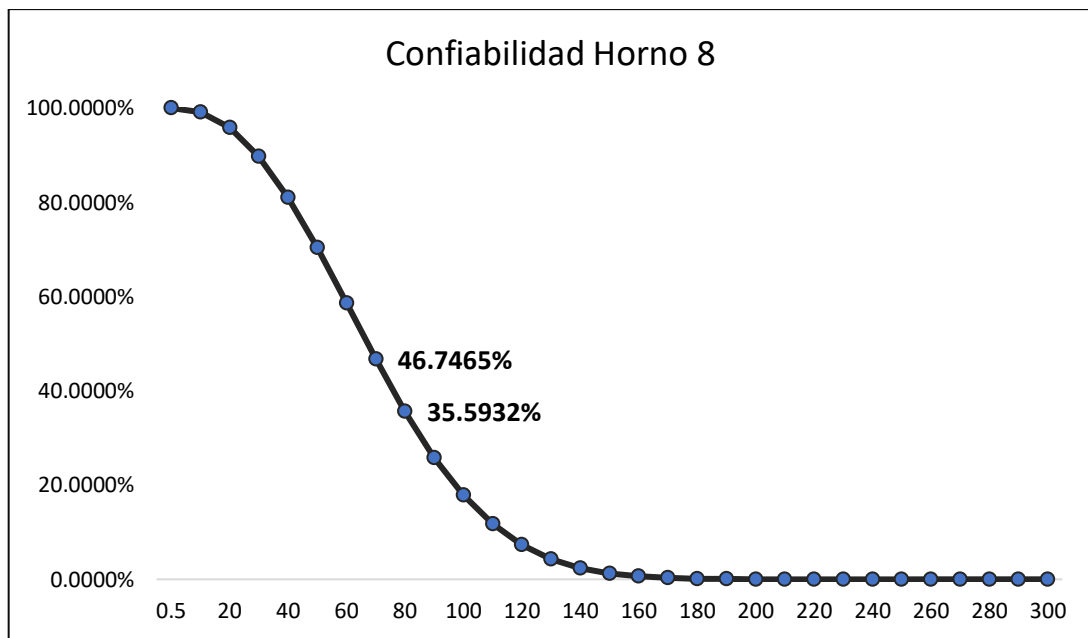


Figura 3.7. Confiabilidad horno 8

Las fallas analizadas según el grado de indisponibilidad y criticidad se detallan en el siguiente cuadro:

Tabla 14. Análisis de indisponibilidad para el Horno 08

Tipo de falla		Tiempo de reparaciones	MTTR	Tasa de fallas	F(t)
1	Falla de resistencia	24.48	6.12000	0.00163	1.00%
2	Falla en el aislante térmico	32.64	6.52800	0.00204	1.33%
3	Falla operativa	8.16	8.16000	0.00041	0.33%
4	Cortocircuito eléctrico	17.34	5.78000	0.00122	0.71%
5	Falla porta resistencias	43.86	6.26571	0.00285	1.79%
6	Falla de panel de control	25.50	6.37500	0.00163	1.04%
7	Falla del sistema neumático	38.76	5.53714	0.00285	1.58%
8	Falla del sistema de mecánico	22.44	5.61000	0.00163	0.91%

Según el grado de indisponibilidad y valor del MTTR es que se les asigna el color rojo, para la prioridad del mantenimiento preventivo enfocado en dichas fallas.

Parámetros de medición de la confiabilidad del horno 10.

Parámetros de Weibull H-10	
Forma	1.7616
Constante	7.9253
Escala	89.923

La fórmula de la confiabilidad de Weibull del Horno 10:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{89.923}\right)^{1.7616}}$$

Parámetros de modelo de Crow Amsaa para el horno 10.

Donde:

$$Tq = 1715 \text{ horas}$$

$$Nq = 22 \text{ obs}$$

$$\beta = \frac{Nq}{\sum_1^n \ln\left(\frac{Tq}{Xi}\right)} = \frac{22}{15.204} = 1.447$$

$$\lambda = \frac{Nq}{Tq^\beta} = \frac{22}{1715^{1.447}} = 0.00046$$

La función para el cálculo de tasa de fallas $w(t)$, en un tiempo t :

$$w(t) = 0.00046 * 1.447t^{0.447}$$

La función para el estimado de fallas esperadas $W(t)$, en un tiempo t

$$W(t) = 0.00046t^{1.447}$$

Evaluación de la disponibilidad del horno 10:

Horno 10					
Número de fallas	Horas operativas	Horas de reparaciones	MTBF	MTTR	Disponibilidad
22	1715	128.75	77.95	5.85	93%

La frecuencia de mantenimiento preventivo para este equipo está dada entre las 78 horas de trabajo y las 90 horas acumuladas que corresponden al valor del MTBF y el valor del parámetro de escala de la función de Weibull.

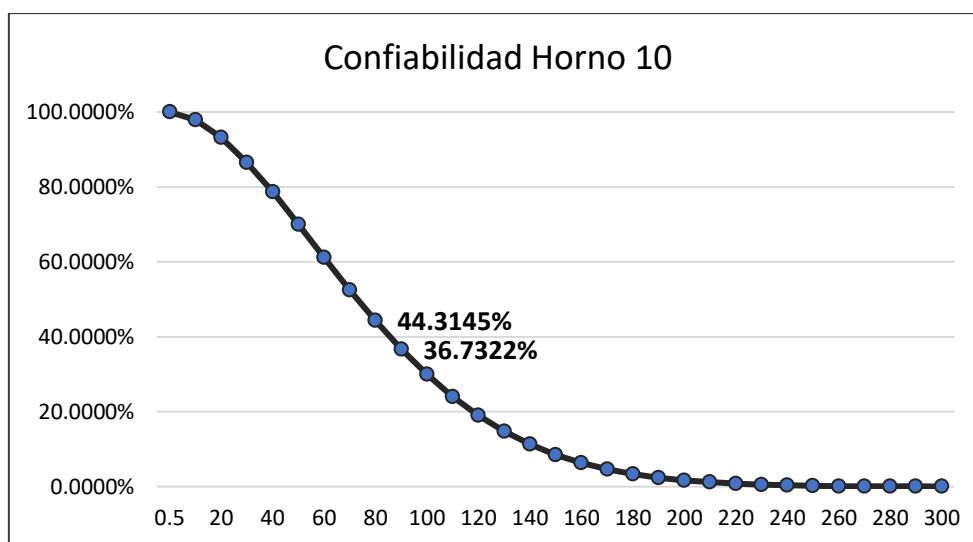


Figura 3.8. Confiabilidad horno 10

Se detalla en la siguiente tabla la evaluación de los modos de falla que generan mayor indisponibilidad y alto grado de criticidad de este equipo:

Tabla 15. Análisis de indisponibilidad para el Horno 10

	Tipo de falla	Tiempo de reparaciones	MTTR	Tasa de fallas	F(t)
1	Falla de resistencia	6.18	6.18	0.000583	0.360%
2	Falla en el aislante térmico	27.81	5.56	0.002915	1.622%
3	Falla operativa	10.30	5.15	0.001166	0.601%
4	Cortocircuito eléctrico	17.51	5.84	0.001749	1.021%
5	Falla porta resistencias	7.21	7.21	0.000583	0.420%
6	Falla de panel de control	39.14	6.52	0.003499	2.282%
7	Falla del sistema neumático	16.48	5.49	0.001749	0.961%
8	Falla del sistema de mecánico	4.12	4.12	0.000583	0.240%

Se observa que en este equipó la falla 6 es la que genera mayor indisponibilidad, por lo que se proyectó a tomar medidas correctivas.

Parámetros de medición de la confiabilidad del horno 2.

Parámetros de Weibull H-2	
Forma	1.956
Constante	10.68
Escala	235.21

La fórmula de la confiabilidad de Weibull del Horno 2:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{235.21}\right)^{1.956}}$$

Parámetros de modelo de Crow Amsaa para el horno 2.

Donde:

Tq = 4481 horas

Nq = 22 obs

$$\beta = \frac{Nq}{\sum_1^n \ln\left(\frac{Tq}{Xi}\right)} = \frac{22}{19.639} = 1.1202$$

$$\lambda = \frac{Nq}{Tq^\beta} = \frac{22}{4481^{1.1202}} = 0.001787$$

La función para el cálculo de tasa de fallas w(t), en un tiempo t:

$$w(t) = 0.00046 * 1.447t^{0.447}$$

La función para el estimado de fallas esperadas W(t), en un tiempo t

$$W(t) = 0.00046t^{1.447}$$

Evaluación de la disponibilidad del horno 2:

Horno 2					
Número de fallas	Horas operativas	Horas de reparaciones	MTBF	MTTR	Disponibilidad
22	4481	106.09	203.68	4.82	98%

La frecuencia de mantenimiento preventivo está dado entre las 204 y las 235 horas como las recomendables para este equipo.

La confiabilidad se detalla en el siguiente gráfico:

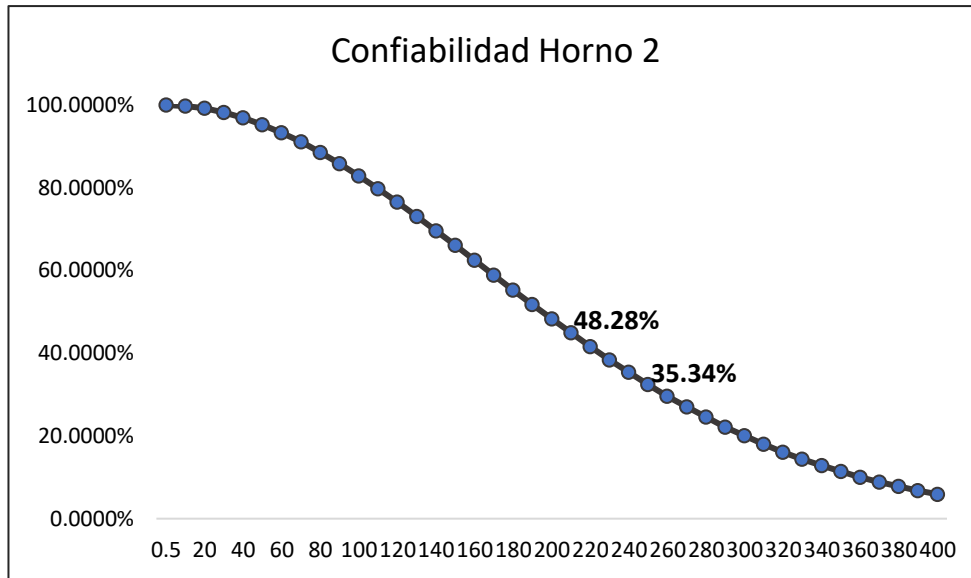


Figura 3.9. Confiabilidad Horno 02

En base a este análisis se detalla los modos de fallas que generan mayor indisponibilidad en este equipo.

Tabla 16. Análisis de indisponibilidad para el Horno 02

	Tipo de falla	Tiempo de reparaciones	MTTR	Tasa de fallas	F(t)
1	Falla de resistencia	9.27	4.63500	0.00045	0.207%
2	Falla en el aislante térmico	21.63	4.32600	0.00112	0.483%
3	Falla operativa	16.48	5.49333	0.00067	0.368%
4	Cortocircuito eléctrico	16.48	5.49333	0.00067	0.368%
5	Falla porta resistencias	8.24	4.12000	0.00045	0.184%
6	Falla de panel de control	11.33	5.66500	0.00045	0.253%
7	Falla del sistema neumático	8.24	4.12000	0.00045	0.184%
8	Falla del sistema de mecánico	14.42	4.80667	0.00067	0.322%

Las fallas 3, 4 y 8 representan mayor indisponibilidad en este equipo.

Parámetros de medición de la confiabilidad del horno 9.

Parámetros de Weibull H-9	
Forma	2.6757
Constante	13.868
Escala	178.218

La fórmula de la confiabilidad de Weibull del Horno 9:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{178.218}\right)^{2.6757}}$$

Parámetros de modelo de Crow Amsaa para el horno 9.

Donde:

Tq = 2807 horas

Nq = 18 obs

$$\beta = \frac{Nq}{\sum_1^n \ln\left(\frac{Tq}{X_i}\right)} = \frac{18}{17.182} = 1.0476$$

$$\lambda = \frac{Nq}{Tq^\beta} = \frac{18}{2807^{1.0476}} = 0.004395$$

La función para el cálculo de tasa de fallas w(t), en un tiempo t:

$$w(t) = 0.004395 * 1.0476t^{0.0476}$$

La función para el estimado de fallas esperadas W(t), en un tiempo t

$$W(t) = 0.004395t^{1.0476}$$

Evaluación de la disponibilidad del horno 9:

Horno 9					
Número de fallas	Horas operativas	Horas de reparaciones	MTBF	MTTR	Disponibilidad
18	2807	108.12	155.94	6.01	96%

La frecuencia de mantenimiento recomendada está dada entre las 156 y 178 horas de trabajo para este equipo.

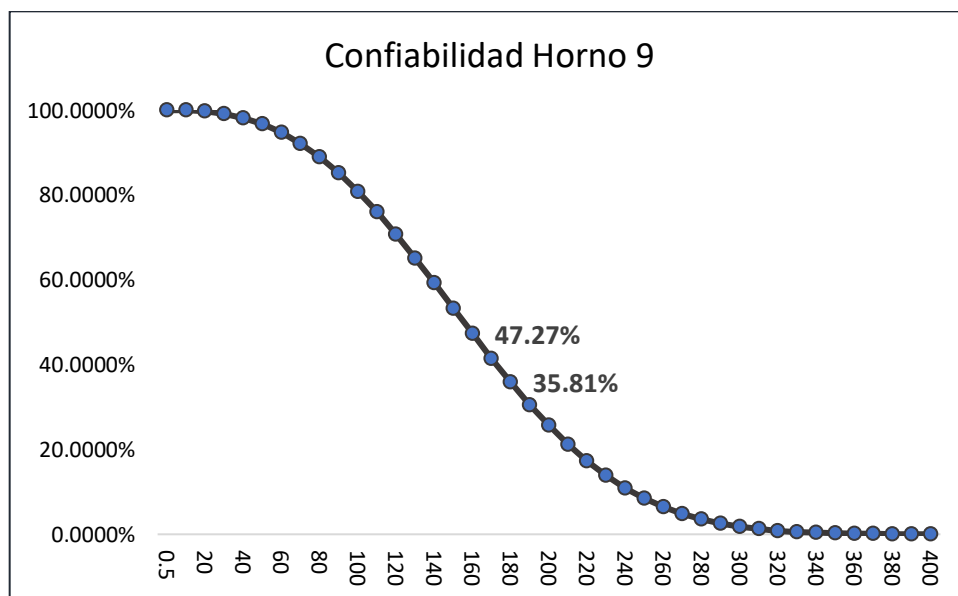


Figura 3.10. Confiabilidad Horno 09

En base a este análisis se detalla los modos de fallas que generan mayor indisponibilidad en este equipo.

Se evaluó los modos de fallas más críticos y que generaron mayor indisponibilidad en este equipo, se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla 17. *Análisis de indisponibilidad para el Horno 09*

	Tipo de falla	Tiempo de reparaciones	MTTR	Tasa de fallas	F(t)
1	Falla de resistencia	7.14	7.14000	0.00036	0.254%
2	Falla en el aislante térmico	10.2	5.10000	0.00071	0.363%
3	Falla operativa	17.34	5.78000	0.00107	0.618%
4	Cortocircuito eléctrico	6.12	6.12000	0.00036	0.218%
5	Falla porta resistencias	11.22	5.61000	0.00071	0.400%
6	Falla de panel de control	28.56	5.71200	0.00178	1.017%
7	Falla del sistema neumático	7.14	7.14000	0.00036	0.254%
8	Falla del sistema de mecánico	20.4	6.80000	0.00107	0.727%

El sistema mecánico es el que representa mayor indisponibilidad en este equipo.

Se detallan los parámetros de medición de los indicadores de evaluación inicial.

Tabla 18. *Parámetros de Confiabilidad.*

Equipos	Parámetros			
	Crow Amsaa		Weibull	
	β	λ	Forma	Escala
H - 11	1.0614	0.00962	5.785	66.910
H - 08	1.4057	0.000601	2.294	78.875
H - 10	1.4469	0.000459	1.762	89.923
H - 02	1.1202	0.001787	1.793	254.076
H - 09	1.0476	0.004395	2.676	178.218

El parámetro Beta para la medición de la tasa de fallas es mayor a 1 en todos los equipos, lo que se considera que presentan fallas por desgaste según la evaluación del modelo de la gráfica de la bañera.

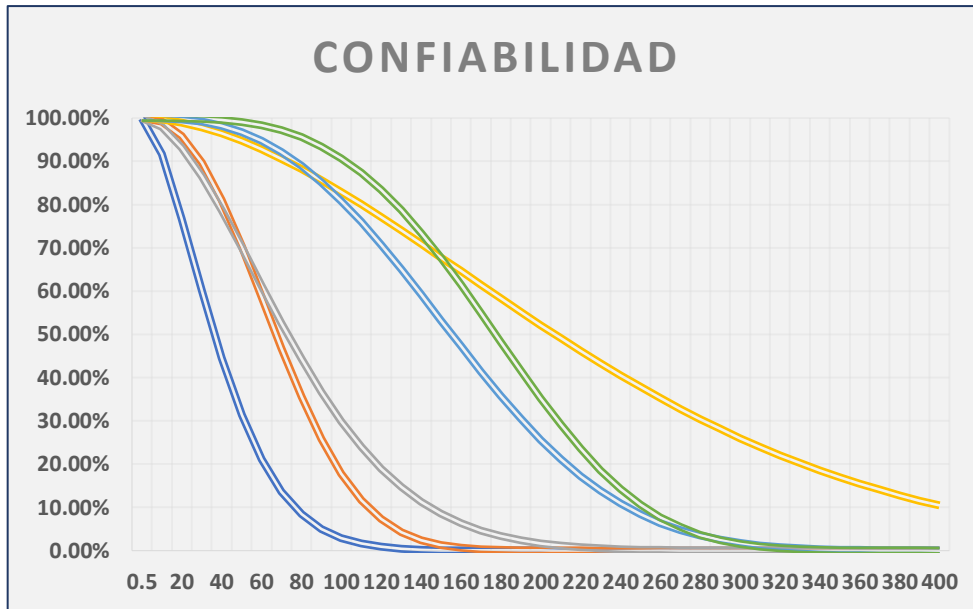


Figura 3.11. Confiabilidad de los equipos. Fuente: Elaboración propia

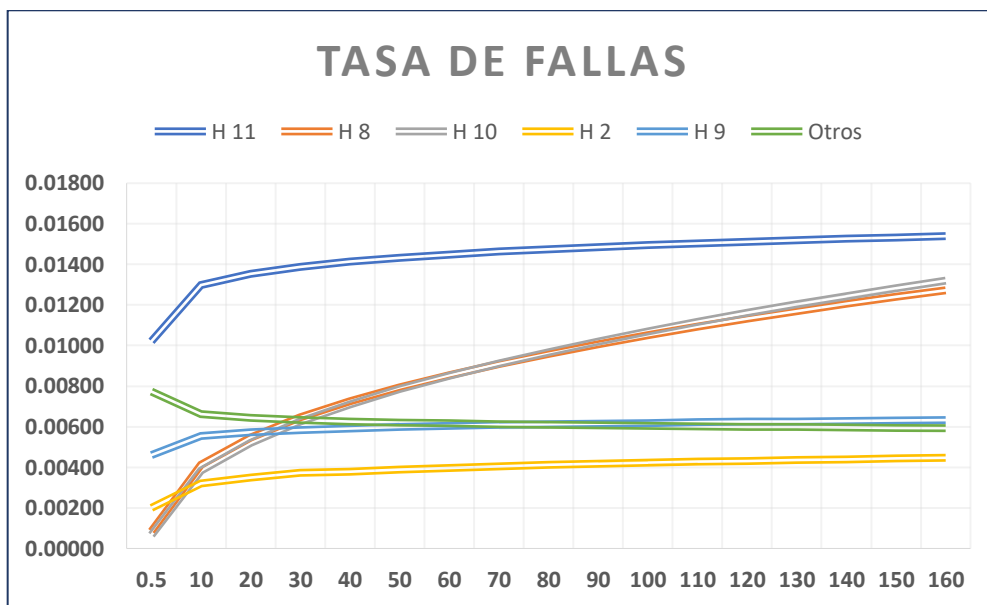


Figura 3.12. Tasa de fallas de los equipos. Fuente : Elaboración propia

La gráfica detalla un incremento de la tasa de fallas en función del tiempo, esto debido al valor del Beta mayor a 1 en todos los casos, se interpreta como la etapa de fallas por desgaste, este indicador nos ayudó a jerarquizar los modos de fallas y contemplar acciones de intervenciones preventivas enfocados en los puntos más críticos del análisis de la herramienta AMFE, para ello se evaluó otros indicadores como el MTTR, la tasa de falla y el porcentaje de indisponibilidad propia de cada falla en los equipos en evaluación.

Tabla 19. *Proyectado de cantidad de fallas esperada Horno 11.*

Año	T Acumula	w(t)	W(t)	MTBF	W(t)1- W(t)0
2023	7142	0.0176	118.49	56.790	43.5
2024	9642	0.0179	162.94	55.753	44.5
2025	12142	0.0182	208.11	54.969	45.2
2026	14642	0.0184	253.86	54.341	45.8
2027	17142	0.0186	300.09	53.818	46.2

Tabla 20. *Proyectado de la cantidad de fallas esperada Horno 8.*

Año	T Acumula	w(t)	W(t)	MTBF	W(t)1- W(t)0
2023	4954	0.0267	93.96	37.50	59.0
2024	7454	0.0315	166.86	31.78	72.9
2025	9954	0.0354	250.56	28.26	83.7
2026	12454	0.0388	343.32	25.80	92.8
2027	14954	0.0417	444.00	23.95	100.7

Tabla 21. *Proyectado de la cantidad de fallas esperada Horno 10.*

Año	T Acumula	w(t)	W(t)	MTBF	W(t)1- W(t)0
2023	4215	0.0277	80.82	36.043	58.8
2024	6715	0.0342	158.55	29.270	77.7
2025	9215	0.0394	250.64	25.409	92.1
2026	11715	0.0438	354.73	22.824	104.1
2027	14215	0.0478	469.30	20.933	114.6

Tabla 22. *Proyectado de la cantidad de fallas esperada Horno 2.*

Año	T Acumula	w(t)	W(t)	MTBF	W(t)1- W(t)0
2023	8981	0.0060	47.94	167.246	25.9
2024	13481	0.0063	75.56	159.276	27.6
2025	17981	0.0065	104.33	153.855	28.8
2026	22481	0.0067	133.99	149.779	29.7
2027	26981	0.0068	164.37	146.530	30.4

Tabla 23. *Proyectado de la cantidad de fallas esperada Horno 9.*

Año	T Acumula	w(t)	W(t)	MTBF	W(t)1- W(t)0
2023	5607	0.0069	37.16	144.037	19.2
2024	8407	0.0071	56.80	141.287	19.6
2025	11207	0.0072	76.76	139.367	20.0
2026	14007	0.0073	96.96	137.896	20.2
2027	16807	0.0073	117.36	136.705	20.4

Para la evaluación de la estadística descriptiva el cual permite interpretar la data procesada y resumida para un mejor análisis, en este caso el desarrollo del proyecto de investigación se basa en estudiar los tiempos medios entre fallas de los equipos de proceso como son los hornos de inducción eléctrica de la empresa Rabbit Glass S.A.

Para su interpretación se apoyó del uso del software Excel, el cual permitió observar las dimensiones de la tendencia central, siendo estos la media, moda y mediana, además de la desviación estándar, el valor mínimo y máximo de cada observación, entre otros parámetros. Para su mejor estudio es que nos apoyamos de tablas de frecuencia e histogramas, además de gráficos de densidad de fallas propias del modelo de distribución de Weibull.

De igual modo el análisis de la estadística inferencial se realizó en primer orden las pruebas de normalidad para la data procesada, el cual evidencio que los datos no siguen una distribución normal, por lo cual se evalúa las hipótesis con pruebas paramétricas.

Para la contrastación de la hipótesis general y la hipótesis específica número 1, se realizó la prueba de rangos de Wilcoxon para determinar la significancia entre la data antes y después de la ejecución de mantenimiento.

Para la contrastación de la hipótesis específica número 2, se realiza la no paramétrica de correlación de RHO de Spearman para interpretar la relación entre las variables de medición como son los tiempos entre fallas, tiempos de reparaciones y la disponibilidad general de todos los equipos

3.7 Aspectos éticos.

La relevancia del presente proyecto de investigación está basada en aportar conocimientos adquiridos para solucionar un problema específico en beneficio de la comunidad, por ello se sigue los lineamientos de transparencia y responsabilidad, las referencias y citas se hacen respetando todos los derechos de los autores, sin duda alguna sirvieron de guía para la elaboración del presente trabajo. De igual manera los datos presentados son verídicos y se cuenta con la total autorización de la empresa en estudio, que se verá beneficiada con el desarrollo de la investigación. La autenticidad de este documento se vio reflejada en los porcentajes de similitud hechos en el software turnitin.

IV. RESULTADOS

La empresa de estudio Rabbit Glass S.A., es una empresa que tiene por rubro la fabricación de cristales de seguridad templados y laminados para la industria automotriz en general. Cuenta con más de 10 años de experiencia. Fundado el 30 de agosto del 2009, ubicado en distrito de Comas, partiendo de la iniciativa del fundador y Gerente General, el de formar una empresa que pueda competir en este mercado y con el apoyo de un grupo de colaboradores que tienen experiencia sobre el rubro.

La Misión: La Empresa Rabbit Glass S.A. se impuso como misión, brindar la seguridad y velar por el bienestar de nuestros clientes. Así mismo el compromiso de responder a los desafíos, teniendo como principal eje de crecimiento, la exigencia y conformidad de nuestros productos.

La Visión: Ser una empresa afianzada en el rubro, manteniendo una variedad de productos buscando generar nuevas inversiones que nos permitan proyectarse, mediante alianzas estratégicas, el crecimiento de los negocios a nivel internacional.

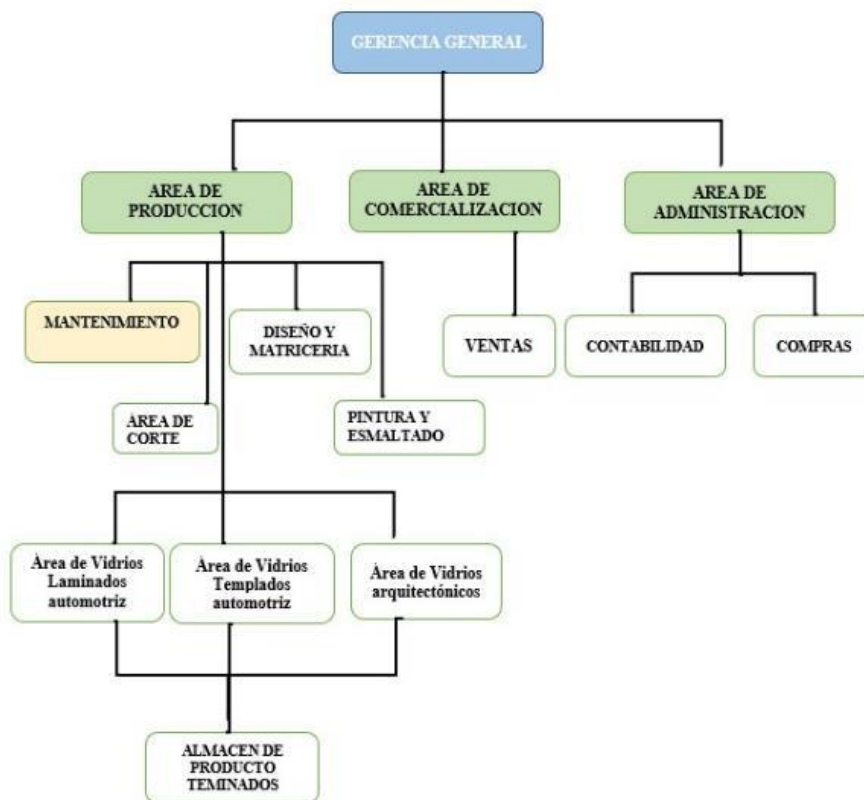


Figura 4.1. Organigrama de la Empresa Rabbit Glass S.A.

“Mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad en los hornos de producción de parabrisas de la empresa Rabbit Glass S.A., Comas, 2022 “

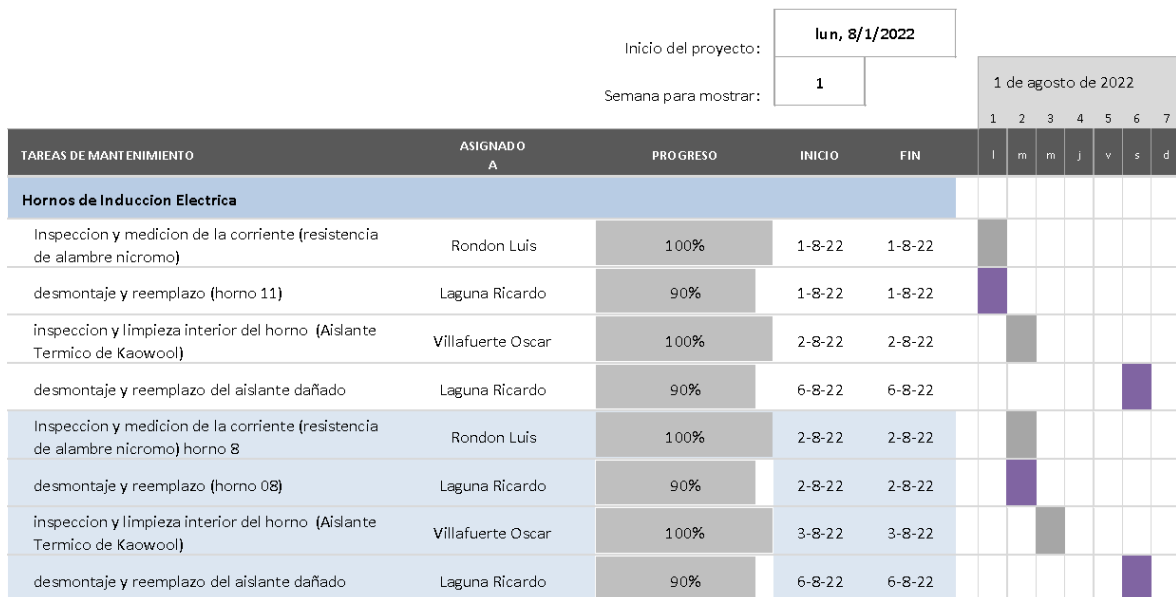


Figura 4.2. Cronograma de mantenimiento preventivo. Fuente: Elaboración Propia

4.1 Resultados de la disponibilidad

La investigación actual basa sus evaluaciones en analizar la disponibilidad de los equipos en estudio para ello se evaluó el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparaciones antes y después de la ejecución del modelo de plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

Se detalla en los siguientes cuadros:

Tabla 24. Indicadores antes de la ejecución del mantenimiento.

Antes	MTBF	MTTR	Disponibilidad
Horno 2	203.68	4.82	97.69%
Horno 8	70.11	6.09	92.01%
Horno 9	155.94	6.01	96.29%
Horno 10	77.95	5.85	93.02%
Horno 11	61.89	4.56	93.13%
Otros	176.21	6.83	96.27%

Tabla 25. Indicadores después de la ejecución del mantenimiento.

Después	MTBF	MTTR	Disponibilidad
Horno 2	205.14	4.14	98.02%
Horno 8	114.50	4.44	96.27%
Horno 9	274.33	4.16	98.51%
Horno 10	202.50	4.21	97.97%
Horno 11	85.50	4.10	95.43%
Otros	280.56	4.43	98.45%

4.2 Resultados de la confiabilidad proyectada para cada horno de inducción

Posteriormente se calculó los parámetros de la confiabilidad de cada equipo en estudio, para lo cual se siguió el mismo procedimiento descrito en líneas anteriores, con la ayuda del software Excel, se hace un análisis proyectado de la confiabilidad de cada horno de inducción y se comparó los resultados antes y después del plan de mantenimiento propuesto, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 26. Parámetros estadísticos de Weibull equipo 11.

Parámetros de Weibull Horno 11		
	Después	Antes
Beta (β)	2.899	5.785
Eta (η)	96.938	66.910

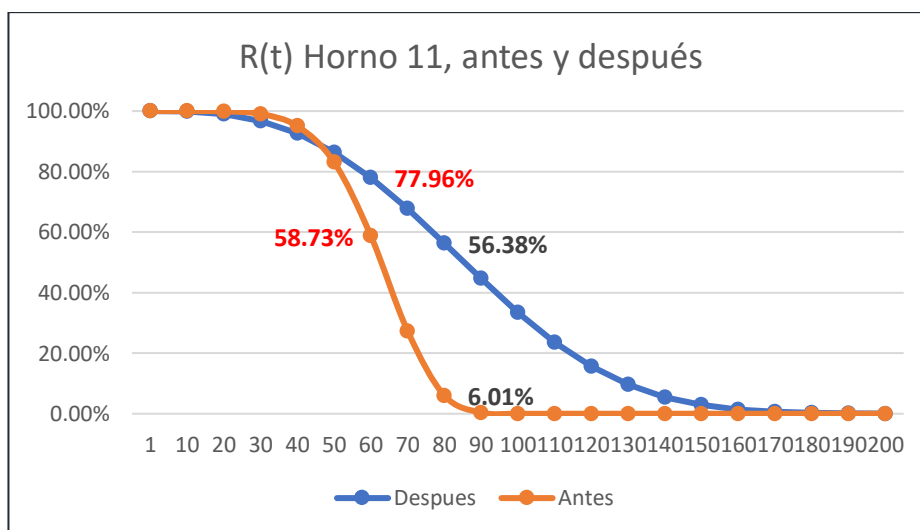


Figura 4.3. Resultados de la confiabilidad Horno 11

La mejora de la confiabilidad tras los cambios efectuados al plan de mantenimiento indica una mejora de la misma como se observa en los puntos de horas acumuladas proyectadas, a las 60 horas se observa un incremento de la confiabilidad de 58.73% a 78% aproximadamente.

Tabla 27. *Parámetros estadísticos de Weibull equipo 08.*

Parámetros de Weibull Horno 08		
	Después	Antes
Beta (β)	2.601	2.294
Eta (η)	131.629	78.875

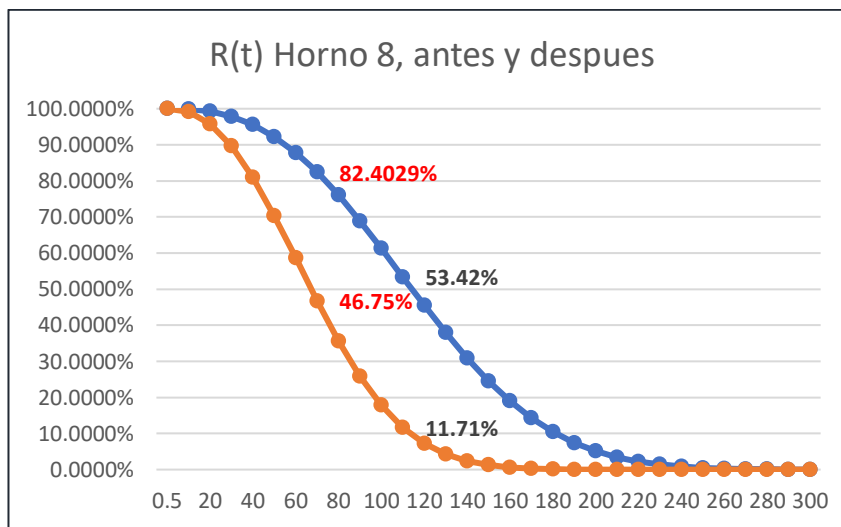


Figura 4.4. Resultados de la confiabilidad Horno 8

La mejora de la confiabilidad tras los cambios efectuados al plan de mantenimiento indica una mejora de la misma para este equipo en estudio, como se observa en los puntos de horas acumuladas proyectadas, a las 80 horas se observa un incremento de la confiabilidad de 46.75% a 82.4% aproximadamente.

Tabla 28. *Parámetros estadísticos de Weibull equipo 10.*

Parámetros de Weibull Horno 10		
	Después	Antes
Beta (β)	2.69	1.762
Eta (η)	236.146	89.923

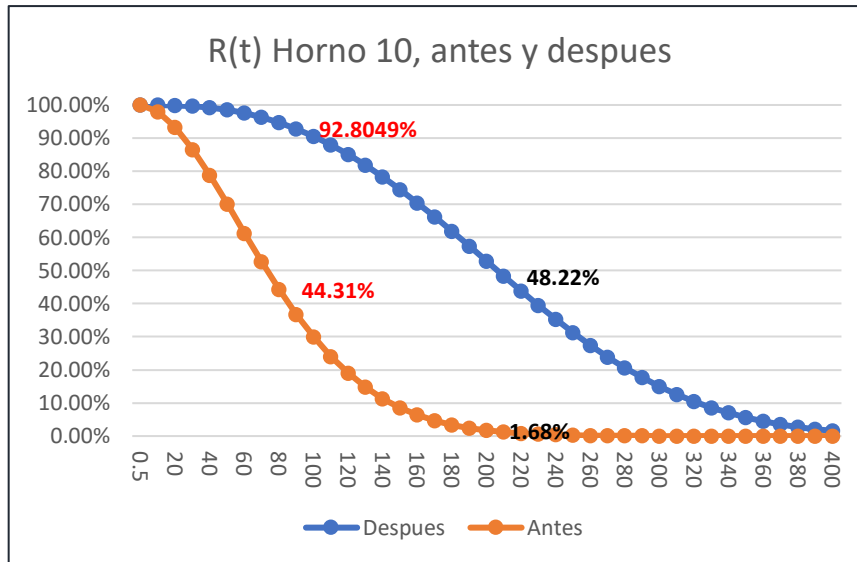


Figura 4.5. Resultados de la confiabilidad Horno 10

La mejora de la confiabilidad en los puntos de evaluación de horas acumuladas, tras los cambios efectuados al plan de mantenimiento, como se observa en los puntos de horas proyectadas, a las 90 horas se observa un incremento de la confiabilidad de 44.31% a 92.8% aproximadamente.

Tabla 29. Parámetros estadísticos de Weibull equipo 02.

Parámetros de Weibull Horno 2		
	Después	Antes
Beta (β)	3.143	1.956
Eta (η)	310.024	235.21

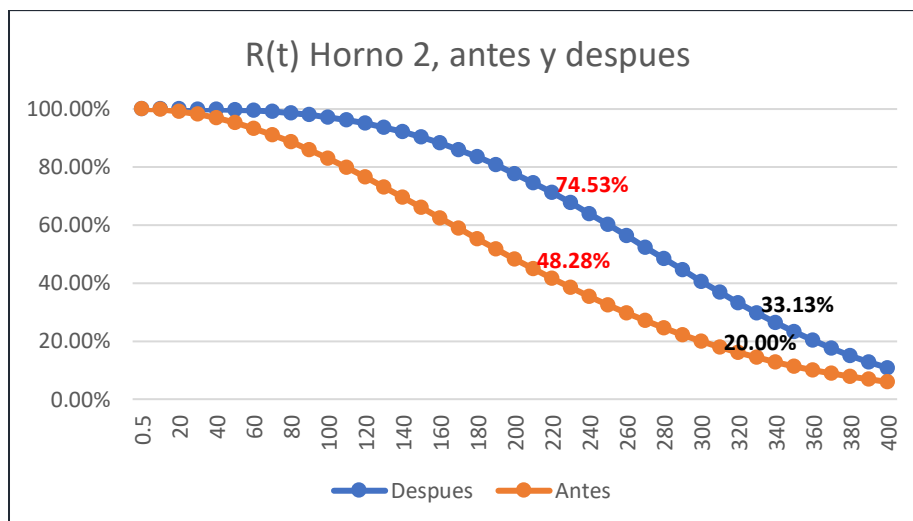


Figura 4.6. Resultados de la confiabilidad Horno 2

La mejora de la confiabilidad para el horno 2 en los puntos de evaluación de horas acumuladas, tras los cambios efectuados al plan de mantenimiento, como se observa en los puntos de horas proyectadas, a las 220 horas se observa un incremento de la confiabilidad de 48.28% a 74.53% aproximadamente.

Tabla 30. *Parámetros estadísticos de Weibull equipo 09.*

Parámetros de Weibull Horno 9		
	Después	Antes
Beta (β)	2.680	2.676
Eta (η)	328.014	178.218

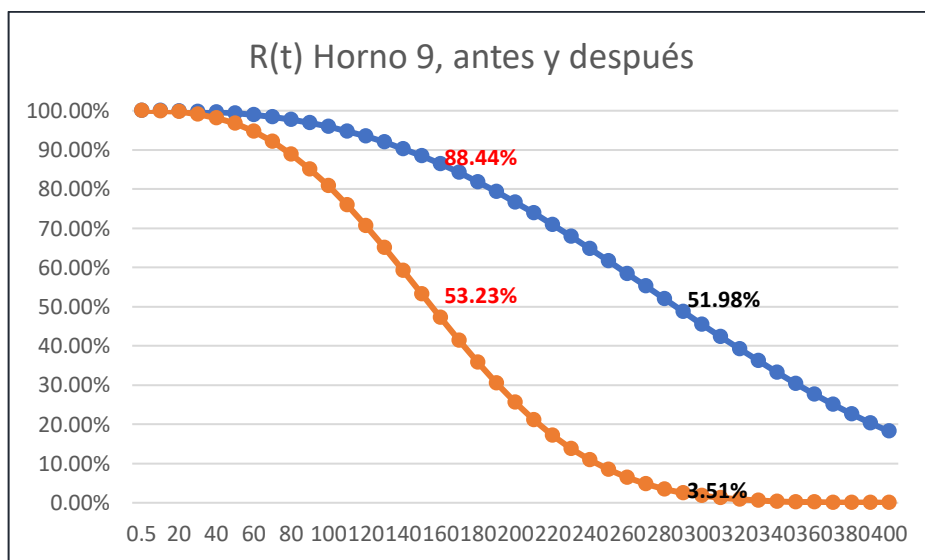


Figura 4.7. Resultados de la confiabilidad Horno 9

La mejora de la confiabilidad para el horno 9 en los puntos de evaluación de horas acumuladas, tras los cambios efectuados al plan de mantenimiento, como se observa en los puntos de horas proyectadas, a las 160 horas se observa un incremento de la confiabilidad de 53.23% a 88.44% aproximadamente.

Estadística Descriptiva

Se realizó la estadística descriptiva en función de la data recolectada, en ese sentido se realiza el análisis estadístico para la disponibilidad general, los tiempos entre fallas y los tiempos de reparaciones.

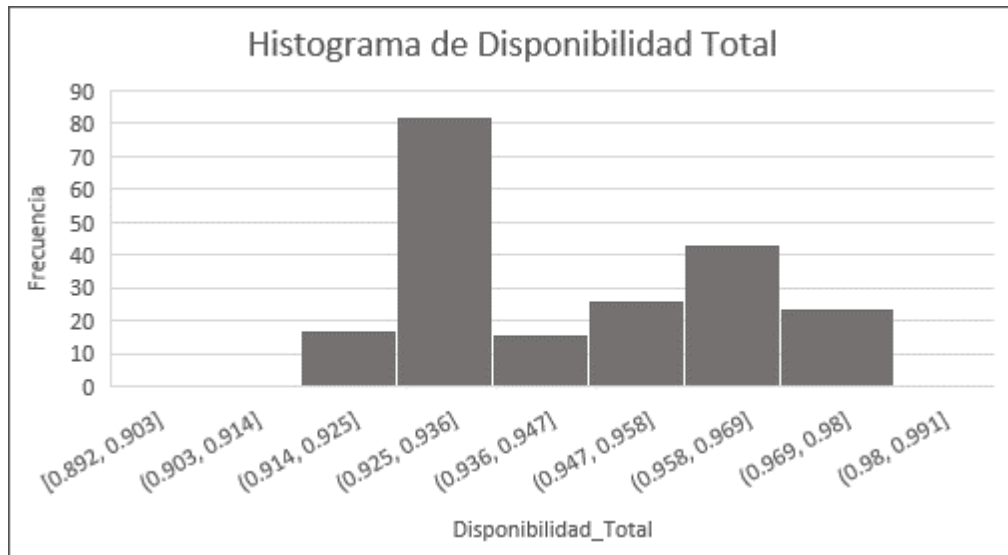


Figura 4.8. Histograma de frecuencias de la Disponibilidad.

Los datos agrupados de la disponibilidad indican una media de 94.52 %, cuyos límites de intervalos de confianza están entre el mínimo de 94.26% y el máximo de 94.78%, la moda está dada por el dato de 93.60% como la que se repite con mayor frecuencia. La media mejorada de la disponibilidad general está dada en 97.44%. Siguiendo la evaluación descriptiva en segundo orden se analiza la data de tiempos entre fallas para evaluar las medidas de tendencia central.

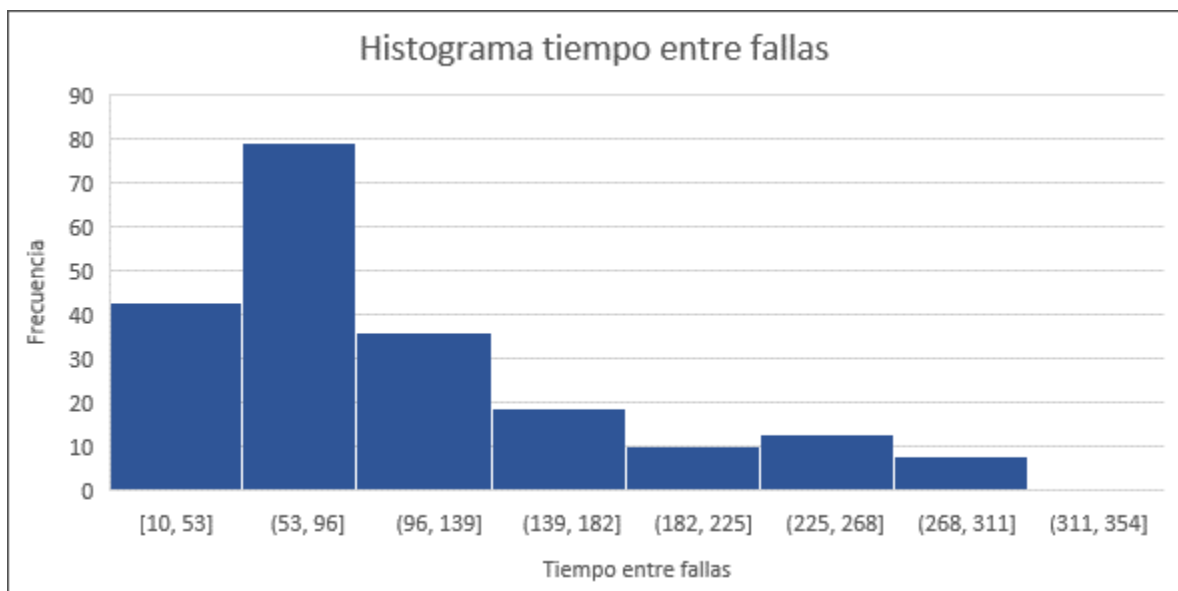


Figura 4.9. Histograma de frecuencias de los tiempos entre fallas.

Los datos agrupados de la disponibilidad indican una media de 108.82 horas, cuyos límites de intervalos de confianza están entre el mínimo de 98.88 horas y el máximo

de 118.77 horas, la moda está dada por el dato de 96 horas como la que se repite con mayor frecuencia. La mediana es de 75.50 horas.

Finalmente se procesa la data de tiempos de reparaciones para medir el grado de eficiencia del área de mantenimiento y su respuesta ante las fallas correctivas.

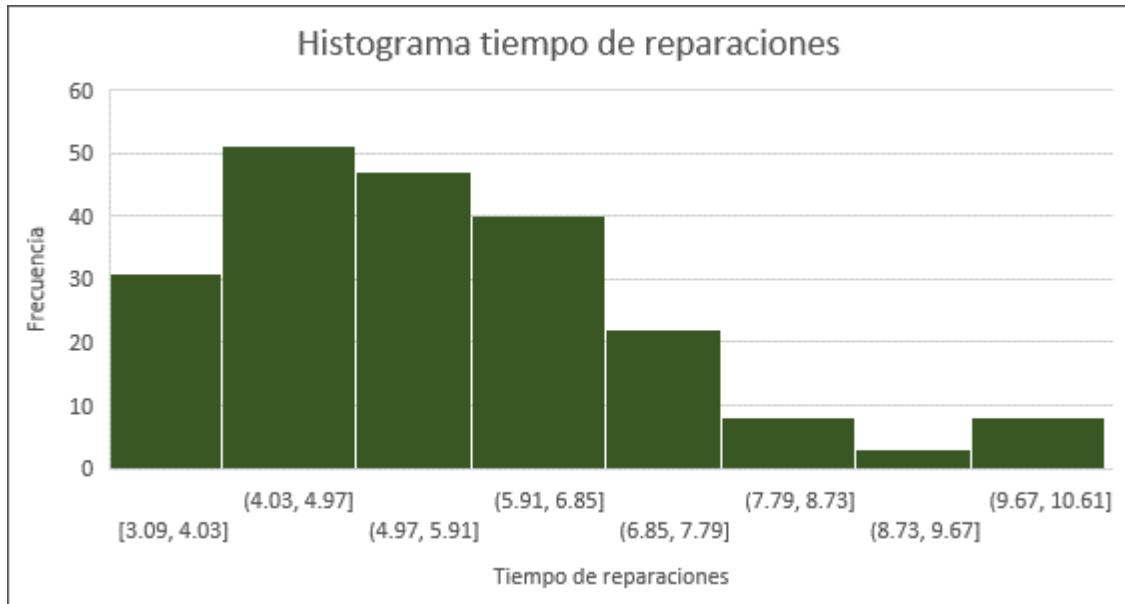


Figura 4.10. Histograma de frecuencias de los tiempos entre fallas.

Los datos agrupados de los tiempos de reparaciones, indican una media de 5.51 horas, cuyos límites de intervalos de confianza están entre el mínimo de 5.29 horas y el máximo de 5.73 horas, la moda está dada por el dato de 4.97 horas como la que se repite con mayor frecuencia, la mediana es de 5.15 horas.

El resultado de la estadística descriptiva de cada horno en estudio, destacan la media que representa el MTBF de cada equipo, además de evaluar la frecuencia de fallas para identificar los rangos de mayor frecuencia de fallas acumuladas, además de analizar las medidas de tendencia central de cada uno de los equipos en estudio, los resultados se detallan en los anexos.

Estadística Inferencial

El desarrollo de la estadística inferencial inicio con las pruebas de normalidad para elegir entre un modelo paramétrico o no paramétrico, del cual se procede a la elección del más conveniente para la contrastación de las hipótesis, para ello se analiza la cantidad de data procesada el cual es mayor de 30 observaciones, por lo

tanto, se sigue el criterio de la prueba de normalidad con el test de Kolmogorov – Smirnov.

Pruebas de hipótesis general

El presente trabajo de investigación planteó la siguiente hipótesis general:

El mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad influye significativamente en aumentar la disponibilidad de los hornos de producción de parabrisas de la empresa Rabbit Glass S.A. 2022.

Como se describió en líneas anteriores, se realizó la medición de la confiabilidad a los equipos en estudio antes y después de la ejecución del programa de mantenimiento, se pudo observar una mejora notable en todos los hornos evaluados.

Por lo tanto, se evalúa si esta mejora es significativa en temas estadísticos, se procesó la data de la disponibilidad de ambos periodos y la prueba de normalidad respectiva a la diferencia de las mediciones de la disponibilidad.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Disponibilidad	,176	210	,000	,909	210	,000
Tiempo entre fallas	,183	210	,000	,844	210	,000
Tiempo de reparaciones	,113	210	,000	,930	210	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 4.11. Pruebas de normalidad para las variables.

HIPOTESIS

Hipótesis nula (Ho) : los datos siguen una distribución normal

Hipótesis Alternativa (H1) : los datos no siguen una distribución normal

Valor P > 0.05 se acepta la hipótesis nula

Valor P < 0.05 se rechaza la hipótesis nula

Figura 4.12. Hipótesis estadística de prueba de normalidad.

Se observa que el P-valor es menor al 5% de la significancia evaluada por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa; los datos no siguen una distribución normal, se utiliza la prueba no paramétrica de rangos de Wilcoxon para la evaluación de la hipótesis general.

HIPOTESIS GENERAL	
Hipótesis nula (Ho) :	El mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad NO influye significativamente en aumentar la disponibilidad de los hornos de producción.
Hipótesis Alternativa (H1) :	El mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad influye significativamente en aumentar la disponibilidad de los hornos de producción
Valor P > 0.05 se acepta la hipótesis nula	
Valor P < 0.05 se rechaza la hipótesis nula	

Figura 4.13. Hipótesis general de investigación

Estadísticos de prueba	
	Disponibilidad después - Disponibilidad antes
Z	-5,234 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	,000
a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon	
b. Se basa en rangos negativos.	

Figura 4.14. Prueba de Wilcoxon de la hipótesis general

Se observa que el P-valor es menor al 5% de la significancia evaluada por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa; El mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad influye significativamente en aumentar la disponibilidad de los hornos de producción.

Pruebas de hipótesis específicas

Se evaluó la prueba de normalidad para las hipótesis específicas y siguiendo los mismos criterios de evaluación.

Se planteó las siguientes hipótesis específicas:

Como hipótesis específica número uno; El proyectado de la confiabilidad influye significativamente en la tasa y número de fallas de los hornos en la empresa Rabbit Glass S.A. Comas ,2022.

Para la prueba se utiliza la prueba no paramétrica de rangos de Wilcoxon para la evaluación de la hipótesis específica 1.

HIPOTESIS ESPECÍFICA 1	
Hipótesis nula (Ho): La confiabilidad NO influye significativamente en la tasa y número de fallas de los hornos.	
Hipótesis Alterna (H1): La confiabilidad influye significativamente en la tasa y número de fallas de los hornos.	
Valor P > 0.05 se acepta la hipótesis nula	
Valor P < 0.05 se rechaza la hipótesis nula	

Figura 4.15. Hipótesis específica 1.

Estadísticos de prueba, tasa de fallas (antes – después)					
	Post_Tas a_fallas_ H11 -	Post_tasa _fallas_H 8 -	Post_tasa _fallas_H 10 -	Post_tasa _fallas_H 2 -	Post_tasa _fallas_H9 -
	Pre_Tasa _fallas_H 11	Pre_tasa _fallas_H 8	Pre_tasa _fallas_H 10	Pre_tasa _fallas_H 2	Pre_tasa _fallas_H9
Z	-3,298 ^b	-5,566 ^b	-3,674 ^c	-5,462 ^b	-5,566 ^c
Sig. asintótica(bilateral)	,001	,000	,000	,000	,000
a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon					
b. Se basa en rangos negativos.					
c. Se basa en rangos positivos.					

Figura 4.16. Prueba de Wilcoxon Hipótesis específica 1.

El P-valor resultante es menor al 5% de la significancia en todos los equipos en evaluación, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación, la medición de la tasa de fallas antes y después sufre una notable mejoría en todos los hornos en evaluación.

Estadísticos de prueba, número de fallas esperado en un periodo (antes-después)	
	Num_esperado_fallas_despues - Num_esperado_fallas_antes
Z	-5,511 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	,000
a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon	
b. Se basa en rangos positivos.	

Figura 4.17. Prueba Estadístico Número de fallas esperado en un periodo (antes y después)

El P-valor resultante es menor al 5% de la significancia, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación, el proyectado de la confiabilidad influye significativamente en la medición de las fallas esperadas en un periodo antes y después.

Como segunda hipótesis específica; El resultado de los tiempos medios entre fallas y el tiempo medio de reparaciones influye significativamente en la disponibilidad de los hornos de producción de parabrisas de la empresa Rabbit Glass S. A. en Comas, 2022.

Para la evaluación de la hipótesis específica 2 se usa la prueba de correlación de Rho de Spearman para variables continuas, se busca interpretar el grado de relación de las variables en estudio es decir el MTTR y el MTBF y su correlación con la Disponibilidad.

Se sigue los siguientes criterios de evaluación:

HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2	
Hipótesis nula (Ho): Los tiempos medios entre fallas y el tiempo medio de reparaciones NO influye significativamente en la disponibilidad de los hornos de producción.	
Hipótesis Alterna (H1): Los tiempos medios entre fallas y el tiempo medio de reparaciones influye significativamente en la disponibilidad de los hornos de producción.	
Valor P > 0.05 se acepta la hipótesis nula	
Valor P < 0.05 se rechaza la hipótesis nula	

Figura 4.18. Hipótesis específica 2.

Además, se contempla el nivel de correlación en base a la siguiente tabla:

Grado de relación	
Valores	Interpretación
0 – 0.05	Nula
0.06 – 0.25	Baja
0.26 – 0.50	Media
0.51 – 0.75	Moderada
0.76 – 1.00	Alta

Correlaciones (Disponibilidad – MTTR)				
			Disponibilidad Total	MTTR
Rho de Spearman	Disponibilidad Total	Coefficiente de correlación	1,000	,309**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	210	210
	MTTR	Coefficiente de correlación	,309**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	210	210

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Figura 4.19. Correlaciones (disponibilidad – MTTR).

El P – valor resultante es menor al 5% de la significancia, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación, el resultado del tiempo medio de reparaciones influye en resultado de la disponibilidad en un nivel medio con un coeficiente de 0.309.

Correlaciones (Disponibilidad – MTBF)				
			Disponibilidad Total	MTBF
Rho de Spearman	Disponibilidad Total	Coefficiente de correlación	1,000	,908**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	210	210
	MTBF	Coefficiente de correlación	,908**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	210	210

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Figura 4.20. Correlaciones (disponibilidad – MTBF).

El P – valor resultante es menor al 5% de la significancia, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación, el resultado del tiempo medio entre fallas influye en resultado de la disponibilidad en un nivel alto con un coeficiente de 0.908.

Este resultado indica que mientras mayor sea el tiempo entre fallas mayor será el nivel de disponibilidad de los equipos.

V. DISCUSIÓN

Una vez ejecutado el modelo propuesto de mantenimiento tras el análisis de la confiabilidad, se pudo determinar un crecimiento de la misma en los diferentes equipos en estudio, para mencionar un ejemplo y enfocándonos en el horno 11 por ser el más crítico, se logra incrementar su confiabilidad de 58.73% a 77.96% para una evaluación de 70 horas proyectadas, en ese sentido se proyecta continuar con la frecuencia de mantenimiento a las 90 horas para una confiabilidad de 56.38%, esto en términos de disponibilidad indica un aumento de tiempo de 20 horas efectivas para este equipo, siendo el resultado obtenido similar al del autor Osorio (2021), el cual estima la frecuencia de mantenimiento en 45 horas de trabajo para una confiabilidad de 64%.

El análisis de la confiabilidad con el uso del modelo de Weibull fue determinante para evaluar la relevancia de los tiempos medios entre fallas, el cual está directamente relacionado con el aumento de la disponibilidad. Al evaluar la información histórica y analizando los indicadores de tiempos entre fallas, se puede llevar un análisis de confiabilidad que ayude a evaluar los procesos, se concluye que la metodología usada es útil en cualquier equipo o proceso, tomando decisiones más efectivas para pronosticar las fallas y acciones a considerar, tal como lo demuestra el autor Yarin (2021), obteniendo resultados similares, el cual toma la data histórica sobre el funcionamiento, fallas, frecuencia de fallas, causas de las fallas, utiliza modelos de confiabilidad para analizar las probabilidades de falla, logrando medir las frecuencias de tiempos para la ejecución del mantenimiento preventivo, garantizando de esta manera una buena gestión de mantenimiento. Los autores Conde y Mosquera (2022), usaron el modelo de Weibull para medir la confiabilidad a una flota de transporte previo a un análisis de los tiempos entre fallas.

En cuanto al desarrollo de los objetivos específicos, el modelo estocástico de Crow Amsaa fue determinante en la proyección de las tasas de fallas y el número de fallas que se puede esperar en un determinado tiempo, tal como se describe en las tablas 16 al 20, se proyectó la cantidad de fallas del modelo de mantenimiento anterior en base de encontrar los parámetros de su análisis, relacionando estos resultados con el autor Casilla (2018) el cual parte de analizar la frecuencia de fallas

para obtener en base al modelo de Crow Amsaa para medir el $W(t)$ y el $w(t)$ en función del tiempo, para una evaluación de 15000 horas acumuladas de trabajo proyecto de 452 a 438 fallas pronosticadas, esto bajo un análisis de los dos escenarios de evaluación antes y después de las mejoras en el plan de mantenimiento.

Así mismo Pazmiño (2018) de Ecuador, el cual propone un estudio en base a una data de historial de fallas en los sistemas de inyección de los equipos de bombeo de agua, con un análisis de parámetros de la confiabilidad y mantenibilidad, obteniendo valores del Beta y Eta, el MTBF, MTTR, este trabajo permitió proponer una buena ejecución y planeación del mantenimiento, mediante la predicción de la tendencia de fallas, de esta manera se evitar pérdidas por paradas de producción.

Los resultados obtenidos en la investigación guardan relación, con los autores: Valverde (2021), el mantenimiento basado en la confiabilidad, permite proyectar las fallas en base a un modelo matemático, el cual toma bases estadísticas y de probabilidad para pronosticar en base a una data histórica de fallas o averías como será su comportamiento en un determinado tiempo futuro, realizando un proyectado y de esta manera tomar medidas que reduzcan las pérdidas económicas ocasionadas por paradas de producción e influye en la rentabilidad de la empresa. De igual forma se analiza los resultados guardan similitud con el autor Verá (2019) indica que esta relación es inversamente proporcional, a menores fallas mayor es el indicador de la confiabilidad de una máquina. Un plan adecuado para garantizar la funcionalidad de los equipos, evaluando indicadores de mantenimiento como tiempo de reparación de las fallas, números de paradas por correctivos, disponibilidad de las máquinas. Ayudaron a determinar la probabilidad de ocurrencia de las fallas, mediante el método probabilístico de Weibull.

En la investigación se diseñó e implementó un plan de mantenimiento preventivo para cada horno de inducción, determinando las actividades y tareas programadas para el personal involucrado, donde el mantenimiento preventivo se debe realizar antes de las 70 horas de funcionamiento empezando por los más críticos. Los autores Aulestia y Guerrero (2022), cuyo trabajo estuvo enfocado en el análisis de las fallas y costos mediante el diagrama de Jackknife aplicado a una flota de transporte logra clasificar las fallas más críticas que provocaron una baja disponibilidad, logrando determinar las prioridades del mantenimiento dando mayor

énfasis a las de mayor criticidad y menor disponibilidad. Así mismo Lozano y Valencia (2021) en Colombia, cuyo trabajo estuvo basado en un modelo de mantenimiento que parte de emplear una matriz de análisis modal de fallos y efectos (AMFE), estableció los lineamientos y estandarización de los procesos del mantenimiento para su ejecución, dicho programa se ayudó de un sistema para la planificación y control del mantenimiento. El aporte de esta investigación guarda relación con el presente estudio ya que en ambos trabajos se evalúa la situación en que se encuentran los equipos mediante el análisis de criticidad como base de un modelo de mantenimiento a partir de las necesidades de las máquinas, los indicadores evaluados tales como efectos de fallas, consecuencia de las fallas, ocurrencia de las fallas, severidad y criticidad ayudaron a la evaluación primaria de los equipos.

Además, el autor Reaño (2017) en su investigación sobre un plan de mantenimiento cuya técnica de análisis está basada en la confiabilidad. Se tuvo que identificar las paradas de máquinas y los costos utilizados en el mantenimiento, comenzó con un análisis de criticidad realizados a todos los equipos que intervienen el proceso de producción que dio la manera de clasificar los equipos, alta, media y baja.

Luego de la ejecución del plan de mantenimiento, la disponibilidad aumentó entre 1% a 4% en los distintos equipos de estudio, se evalúa la disponibilidad media antes de la ejecución del mantenimiento preventivo, como se detalla en la figura 4.7 de la estadística descriptiva el cual indica una disponibilidad media de 94.52% y luego de la aplicación del modelo de mantenimiento este indicador resulta con una nueva media de disponibilidad de 97.37%, lo cual representa un incremento del 3% de la disponibilidad general, por lo tanto se reafirma que el análisis de la confiabilidad influye en aumentar la disponibilidad en base de evaluar los tiempos en el cual es más probable que ocurra una falla.

Según el resultado de la investigación los indicadores de la disponibilidad nos mostraron, que al aumentar el tiempo entre fallas la disponibilidad de los equipos aumenta, que trata de la operatividad que presenta los equipo o máquinas durante la jornada laboral y en condiciones normales, este indicador nos permitió analizar y evaluar los niveles de relevancia de las fallas en el proceso, este indicador se mide evaluando los tiempos promedio que pueden ocurrir entre fallas y el tiempo promedio de reparaciones. Este resultado va de acuerdo con los obtenidos por el

autor Castro (2021) donde en su investigación para aumentar la disponibilidad al implementar un plan de mantenimiento preventivo, que tuvo una población y muestra de 31 bombas sumergibles, empleando como una prueba de hipótesis la prueba T de student de muestras relacionadas.

De acuerdo al plan de mantenimiento establecido se incrementó las horas de servicio de mantenimiento de 72.74% a 89.58%, y se completó la programación de tareas de 67.96% a 89.99%, por lo cual mejoró la disponibilidad de las bombas que al inicio era 90% en 94% .

También contrasta con los resultados obtenidos por el autor Campos (2018) donde el autor logra elevar la disponibilidad en los activos en estudio en base a analizar el MTBF y el MTTR registrados en su data de ocurrencias de fallas, su propuesta se basa en la metodología RCM de mantenimiento. Su disponibilidad luego de las mejoras queda en 76,85%, antes se evaluó en 41,57%.

VI. CONCLUSIONES

Tras la aplicación del plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad se tiene las siguientes conclusiones:

1. En relación al objetivo general se concluye que la frecuencia en la inspección de los mantenimiento preventivos se basan en el resultado del análisis del modelo de Weibull y se contempla los tiempos de intervención según el resultado del parámetro de escala y el valor del MTBF de cada equipo en estudio, los resultados indican un incremento de la disponibilidad de los hornos de inducción tal como se puede reafirmar con la prueba de hipótesis de evaluación de rangos de Wilcoxon con una significancia del 0%.
2. Así mismo para el objetivo específico número uno, el modelo de Crow Amsaa fue de gran ayuda para la interpretación de las tendencias tanto de las tasas de fallas, como el pronóstico de ocurrencias de estas averías en función del tiempo, todo parte de analizar la data obtenida de cada equipo de manera individual y en función de las horas acumuladas de ocurrencias de fallas. se comparó con el proyectado de los mismos indicadores obteniendo una mejora muy significativa y reafirmando la hipótesis específica número uno, mediante la prueba de rangos de Wilcoxon con un P-valor del 0%.
3. De igual manera para el objetivo específico número dos, la mejora de la disponibilidad se logra al aumentar los tiempos entre fallas, tal como queda demostrado en el análisis antes y después de la ejecución del plan de mantenimiento propuesto, se logra disminuir la cantidad de fallas esperadas en un determinado período de tiempo en todos los equipos en estudio. La medición de la disponibilidad indica una media de 94.52 % y la media mejorada de la disponibilidad general está dada en 97.44%, se reafirma la hipótesis de investigación específica número dos mediante la prueba no paramétrica de RHO de Spearman el cual indica una correlación alta entre los datos de los tiempos entre fallas y la disponibilidad.

4. El proyectado de las tareas asignadas se basa en atacar los modos de fallas más relevantes para el proceso de curvado de parabrisas y que generan mayor indisponibilidad en los equipos, para ello se contempla la jerarquización de la criticidad según el análisis de las fallas, obteniendo como resultado que los problemas eléctricos como fallas de resistencias y cableado generan mayor grado de criticidad según la herramienta de diagnóstico AMFE, luego de la ejecución de las tareas programadas se obtuvo un incremento de la disponibilidad para todos los equipos en estudio.
5. La tasa de fallas evaluada indica que los equipos presentan fallas por desgaste (Beta mayor a 1), esto guarda relación con la frecuencia de averías y el año de antigüedad de los equipos en estudio.
6. Se logra interpretar la relación inversa de las tasas de fallas y el MTBF para un determinado tiempo de evaluación, a menor tasa de fallas mayor será el tiempo medio entre fallas, por ejemplo para el equipo número 11 se proyectó para un acumulado de 15690 horas un número esperado de fallas de $W(t) = 512$, con una tasa de fallas $w(t) = 0.0394$ con un MTBF de 25 horas, mientras que la evaluación tras la aplicación del mantenimiento arrojaron una proyección $W(t)$ de 276 fallas, con una tasa de fallas $w(t) = 0.02003$ con un MTBF proyectado de 49 horas con el mismo periodo de horas acumuladas de trabajo.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se debe de actualizar constantemente la data de ocurrencias de fallas para hacer el seguimiento de las mejoras al mantenimiento, esta permitirá proyectar en base a un nuevo análisis de la disponibilidad y la tasa de fallas, de esta manera se podrá tomar decisiones acertadas mediante una nueva evaluación y proyección de la confiabilidad y del número esperado de fallas para los distintos equipos implicados.
2. Un análisis más detallado como parte de la mejora en la gestión del mantenimiento implica usar técnicas eficientes y análisis más detallados en temas de rentabilidad, en la presente investigación no se contempla los costos involucrados, sin embargo se puede recomendar algunas metodologías que busquen el beneficio en temas de planificación de mantenimiento en ese sentido se podría realizar una evaluación del tiempo óptimo de reemplazo en los equipos cuya frecuencia de fallas impacte directamente al costo de mantenimiento, esto debido a la evaluación de las tasas de fallas de los equipos, específicamente en el equipo número once, cuyo valor del parámetro Beta mayor a uno indica fallas por desgaste.
3. Para garantizar que haya mayor tiempo entre las ocurrencias de las averías se propone hacer una evaluación de análisis predictivos de los principales componentes que generan mayor criticidad de fallas para los equipos en estudio, de esta manera se puede contemplar inspecciones periódicas de los componentes eléctricos y el material de las resistencias de alambre de nicromo.
4. Parte de la aplicación del mantenimiento preventivo implica asignar tareas a los miembros del equipo, de esta manera no habrá confusión cuando llegue el momento de cumplir con las reparaciones, de esta forma se logra eficiencia en el área asignada a los trabajos de mantenimiento, esto en base de mejorar el tiempo medio de reparaciones y por ende mejoraría la disponibilidad futura, buscando siempre la mejora constante involucrando

tanto al personal de mantenimiento, procesos y gerencia. Por lo tanto, se recomienda evaluar constantemente las demoras en el tema de reparaciones correctivas, centrándose siempre en actualizar los modos de fallas de los equipos.

5. Las tasas de fallas en todos los equipos son de tipo desgaste, en ese sentido se debe de contemplar un análisis a futuro de las frecuencias de reemplazo de los principales modos de fallas que generan mayor criticidad, además se debe de contemplar las especificaciones técnicas del fabricante, así como las sugerencias del personal técnico y operario de los equipos, para ello se debe de contemplar un procedimiento de trabajo y operación para un fácil diagnóstico y control de las fallas.

6. Un correcto filtrado de datos teniendo en cuenta sólo los tiempos entre fallas acumulados es relevante para las futuras evaluaciones de las tasas de fallas y cantidad de fallas esperadas, por lo que al realizar un plan de mantenimiento general el conteo de dicha data se vuelve a cero para una futura evaluación, de esta manera se tendrá actualizada y se verá las mejoras tanto en la confiabilidad y la disponibilidad, la data obtenida no debe de contemplar los tiempos de mantenimiento preventivo planificado, solo los de tipo correctivo de esta manera no se altera el resultado del análisis.

REFERENCIAS

ABERNETHY Robert. El nuevo manual de Weibull, Confiabilidad y análisis estadístico para predecir reclamos de vida, seguridad, capacidad de soporte, riesgo, costo y garantía. 5a ed.[en línea] USA, Florida, 2006. pp. 350. [fecha de Consulta: 10 de mayo de 2022]. ISBN 0965306232

AGUIRRE Canción, Alain. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los equipos críticos de producción de comprimidos de un laboratorio farmacéutico. Tesis (Licenciatura en ingeniería industrial). Huancayo: Universidad Continental. Perú, 2021.

AULESTIA Espinosa, Juan Diego y Guerrero Romero Ángel Fernando. Desarrollo de una Herramienta Informativa Basada en el Método Jack Knife para el análisis de fallas y costos en flotas de transporte. Tesis (Titulación en ingeniería Mecánica Automotriz). Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador ,2022.

ARANGO Marín J. A., Rosero Otero S. L., y Montoya Arias M. E., “Programación de mantenimiento preventivo usando algoritmos genéticos”, Lámpsakos, (23), pp. 37-44. (enero-junio, 2020).<https://doi.org/10.21501/21454086.3112>

ASTIGARRAGA Urquiza, Julio. Hornos Industriales De Resistencias. Madrid: McGraw-Hill / Interamericana De España, 1994.320 pp. ISBN 9788448119379

BERRIOS Barreto, Mirella Lisseth y Ruiz Sánchez, Nicolt Vitalia. Propuesta De Mejora En Las Áreas De Producción Y Mantenimiento Para Reducir Los Costos Operativos De La Línea De Chifles En Bananitos Crunchy S. A., Trujillo 2020.Tesis (Titulación Ingeniería Industrial).Trujillo: Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería Industrial , Peru.2021.

BLOOM Neil. Reliability Centered Maintenance (RCM): Implementation Made Simple.1.^a ed. United States: McGraw Hill. 2005. 312 pp. ISBN 0071460691

BORROTO Pentón, Caraza Morales, M. A., Alfonso Llanes, A. y Marrero Delgado, F. Herramientas de optimización aplicadas a la gestión del mantenimiento de activos físicos: estado del arte , DYNA, 88(219), pp. 162–170, 2021 . doi: 10.15446/dyna.v88n219.96981.

CAMPOS Vera, Illarec Anabeli. Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad para incrementar la rentabilidad en la empresa de transporte Sayvan E.I.R.L.. Tesis (Titulación de ingeniería industrial). Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Perú, 2018.

CANAHUA Apaza, Nohemy. Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica. 2021. *Revista Industrial Data*, Pages 49-76. ISSN: 18109993, DOI: <https://dx.doi.org/10.15381/idata.v24i1.18402>.

CASILLA Vargas, Adolfo. Confiabilidad de una flota de cargadores de bajo perfil aplicando el modelo estocástico de Crow Amsaa - unidad minera Arcata, Arequipa. Tesis (Licenciatura en ingeniería mecánica). Callao: Universidad Nacional del Callao. Perú, 2018.

CASTILLO Abarca, Loreto, VEGA Zepeda, Vianca, MENESES Villegas, Claudio. Alineando el ciclo de vida de un proyecto con un modelo de madurez BI: una propuesta para la etapa de análisis preliminar. *Revista chilena de ingeniería*. Vol 28, (4): 629 - 644, 2020.

CHÁVEZ Cárdenas, Jhan Carlos y Polo Arqueros, Henry. Plan de mantenimiento preventivo a equipos de presurización con alta criticidad para aumentar su disponibilidad, empresa Sociedad Agrícola Drokasa Barranca. Tesis (Licenciatura en ingeniería industrial). Chimbote: Universidad César Vallejo. Perú, 2020.

CHOQUE Pereyra, Alfredo. Determinación Del Tiempo Optimo De Overhaul De Cargadores Subterráneos Lh202, Aplicando Modelos De Vida Económica De Sistemas Reparables Y Overhaul Imperfecto. Tesis (Licenciatura en ingeniería mecánica). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú, 2021.

CHUNGA More Davis, Hidalgo Delgado Gustavo y Pacherez Vincés Karla. Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de la chancadora giratoria. Tesis (Ingeniería Mecatrónica). Piura: Universidad Nacional de Piura, Facultad de Ingeniería Industrial, Perú .2020.

CONDE Luna, Alexis Absalón y Mosquera Muñoz Cristhian Abrahán. Desarrollo de un Herramienta Informática para el estudio de la Confiabilidad en Flotas de Transporte basado en el método de Weibull. Tesis (Titulación en ingeniería Mecánica Automotriz). Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador ,2022.

DÍAZ Concepción, Armando et al. Formulación de un nuevo concepto de confiabilidad operacional. *Ingeniare. Rev. Chile. ing.* [online]. 2021, vol.29, n.1 .pp.87-93. ISSN 07183305. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052021000100087>.

DUANE James T. 1981[online]. Disponible : <https://rcmingeneria.com/wp-content/uploads/2021/05/01.-CROWN-AMSAA-crecimiento-en-la-confiabilidad-modelo-de-planta-de-Agua-May-2021.pdf>

ECHEVARRÍA Yepes, Alejandro. Metodología de mantenimiento preventivo para máquinas de baja utilización. Tesis (Titulación en ingeniería Mecánica). Universidad de los Andes . Facultad de Ingeniería Mecánica, Colombia.2020. disponible en : <https://www.researchgate.net/publication/342957214>

ESPINOSA Martínez, José, et al. Contribución Del Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad Para El Estudio De Fallos A Equipos Consumidores De Energía Eléctrica. *Centro Azúcar* 47, no. 1 (2020).

FOLLMAN Pieretti, Rafael, et al. Análisis de indicadores de desempeño individuales aplicados al mantenimiento industrial. *Research, Society and Development*. 6. Vol 9. 2020. ISSN 2525-3409.

FUCHS, M.V., et al, 2020. Propuesta De Mejora Del Plan De Gestión De Mantenimiento Basado En RCM y Lean Office En El Proceso De Inyección De Polímeros. *Revista Ibérica De Sistemas y Tecnologías De Información*, 11, pp. 41-51 ProQuest Central. ISSN 16469895.

GÁLVEZ Ulloa César Anthony, et al .18ª Multiconferencia Internacional LACCEI de Ingeniería, Educación y Tecnología: Ingeniería, Integración y Alianzas para un Desarrollo Sostenible y Cooperación Hemisférica para la Competitividad y la Prosperidad en una Economía Basada en el Conocimiento, 29-31 de julio de 2020, Buenos Aires, <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.154> ISBN: 9789585207189.

GARCÍA Palencia , Oliverio. Gestión Moderna Del Mantenimiento Industrial Principios.1.^a ed. Colombia, Ediciones De La U, 2012 ISBN 9587620518

GASCA, Maira C; Camargo, Luis L. Y Medina, Byron. Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial. Inf. tecnol. [online]. 2017, vol.28, n.4, pp.111-124. ISSN 0718-0764. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000400014>.

GAZCÓN Rivera Ariana, Nosedal Sánchez Jenaro y Trigos Federico. Análisis de modo y efecto de falla transaccional: una aplicación para mapear riesgos en la industria de servicios, caso de estudio sobre Política de Transporte, Volumen 9, (4) 1467-1475 .2021.ISSN 2213-624X , <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.07.004>.

GONZÁLEZ Sosa, Jesús, LOYO Quijada, Jesús, LOPEZ Ontiveros, Miguel, PEREZ Montoya, Pedro, CRUZ Hernández, Alfredo. MANTENIMIENTO INDUSTRIAL EN MÁQUINAS HERRAMIENTAS POR MEDIO DE AMFE. *Revista Ingeniería Industrial*. (3): 209 - 225, 2018. ISSN 0717-9109

HERNÁNDEZ Dávila, Eduardo Segundo et al. Analysis of the efficacy of operational availability equations on series and parallel systems. *DYNA*(2018),85(207):269. <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v85n207.71658>

HERNANDEZ Callejo, Luis, Merizalde, Yuri Humberto, Duque Pérez, Oscar Et Al. Wind Turbine Maintenance. A Review. *DYNA*, Julio 2018, vol. 93, no. 4, p.435-441. DOI: <https://doi.org/10.6036/8622>

HUAMÁN William ,Garay Fernando, Limaco Juan y Atoche Wilmer . Análisis Y Propuesta De Mejora Del Proceso De Servicio De Mantenimiento Preventivo Usando Herramientas Lean: Caso De Estudio. 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology , Buenos Aires, July 21-23, 2021. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.317> ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

IRANPOOR, M., Fatemi Ghomi, SMT Planificación periódica de mantenimiento flexible en un entorno de producción de una sola máquina. *J Ind Eng Int* **15**, 627–635 (2019). <https://doi.org/10.1007/s40092-019-0314-x>

JASPREET Singh, Sanjeev Singh y Amanpreet Singh. Distribution transformer failure modes, effects and criticality analysis (FMECA), *Engineering Failure Analysis*, Volume 99, 2019,180-191.ISSN 1350-6307, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.02.014>.

LOZANO Abadía, Bayrón y Valencia Albornoz, Jhon. Propuesta de un modelo de mantenimiento para el área de corte en una compañía productora y comercializadora de empaques de cartón corrugado. Tesis (Licenciatura en ingeniería industrial). Universidad del Valle. México, 2021.

LLANOS, M. A. (2020). Diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo, kárdex y MRP para reducir costos en una empresa embotelladora de agua tratada. *Repositorio de la Universidad Privada del Norte*. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/25249>

LUNA Pérez Miguel Ángel, Badillo Piña Isaías y Vázquez Álvarez Graciela. Diseño de una metodología de mantenimiento predictivo para asegurar procesos de producción de la industria. *South Florida Journal of Development* 4.0. Vol. 2 No. 1 (2021);, Miami, v. 2, n. 1, Jan./mar. 2021

MAGO Ramos, M. y Rocha Pachón, S. (2021). Diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo de los equipos de la empresa Granitos y Mármoles Acabados SAS. *Ciencia y Poder Aéreo*, 16(2), 98-111. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.703>

MARTÍNEZ Murillo Laura y Olaya Morales Yris. Estimación de costos del ciclo de vida para la estabilización de vías terciarias en Colombia con subproductos industriales, *Lecturas de economía*. (91): 241 - 277. 2019
. <https://doi:10.17533/udea.le.n91a08>

MEDINA Báez, Andrés. Técnicas de mantenimiento RCM y TPM, aplicando RCM al mantenimiento eléctrico. Tesis (Licenciatura en ingeniería eléctrica). Medellín: Universidad de Antioquia. Colombia, 2019.

MICHEL Tornyeviadzi, Hadi Mohammed y Razak Seidu. Dynamic segment criticality analysis: A precursor to scheduling of maintenance routines in water

distribution networks. Alexandria Engineering Journal. Volume 61, Issue 12, 2022, 9261-9272. ISSN 1110-0168 . <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.03.012>.

MOUBRAY John. Mantenimiento Centrado En Confiabilidad (RCM) 2004. [en línea] Reino Unido . Aladon LLC. 2004.[fecha de Consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/RCM2%20EXPLICACION.pdf

MORA Gutiérrez Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. 1a ed. México, D.F.: Alfaomega Grupo Editor S.A., 2009. pp. 528. ISBN: 9789586827690

NORMA ISO/DIS 14224. Petróleo, petroquímico e industrias de gas natural, la colección y el cambio de la fiabilidad y datos de mantenimiento para el equipo, 2016. 189 pp.

NUNES, Anderson de Souza y de Oliveira Andrade, Jairo José. Uso de análisis de falla y criticidad en una herramienta de gestión de mantenimiento Para Una Empresa De Distribución De Energía Eléctrica. Dyna, vol. 86, no. 208, pp. 199-205, 2019. ProQuest Central. ISSN 00127353. DOI <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.69794>.

OBANDO García, María del Carmen y Quiliche Paredes, Daniel. Determinación de parámetros de diseño del vidrio laminado, para garantizar su comportamiento estructural. Tesis (Licenciatura en ingeniería civil). Trujillo : Universidad Privada del Norte. Perú , 2018.

OLIVEIRA Marcelo, Batista Samuel, Reis Dércio, Veroneze Gabriela y Maciel, Raíssa. (2019). Application Of FMEA For Improvement In The Manufacturing Process Of Mobile Phones In A Factory Of The Industrial Pole Of Manaus. International Journal for Quality Research. 13. 1021-1036. 10.24874/IJQR13.04-18.

OSORIO López , Adriham Jesús. Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad para envasadora rotativa automática haver & boecker de cemento para reducir las paradas imprevistas en la empresa Unacem – Atocongo. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Mecánico). Lima: Universidad Tecnológica del Perú, 2021.

ORTIZ Yáñez, Jesús Francisco y PIÑA Monárrez, Manuel Román. Discrimination between the lognormal and Weibull distributions by using multiple linear regression. Revista Dyna[online]. 2018, vol.85, n.205, pp.9-18. ISSN 0012-7353. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.66658>.

PARRA Márquez Carlos A. y Crespó Márquez. Ingeniería De Mantenimiento Y Fiabilidad Aplicada En La Gestión De Activos. 1.^a ed. Sevilla: INGEMAN, Asociación Española de Ingeniería de Mantenimiento. 2012. ISBN: 9786495499677

PARRA Carlos, et al.. Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Caso de estudio: Unidad de Craqueo Catalítico. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31889.15209/1> pp. 37-44. (enero-junio, 2020). 2021.DOI: 10.21501/21454086.3112

PARRA Carlos, Viveros Pablo, Kristjanpoller Fredy, Crespo Adolfo, Gonzales Vicente y Gómez Juan. Técnicas De Auditoría Para Los Procesos De: Mantenimiento, Fiabilidad Operacional Y Gestión De Activos (Amorms & Ams-Iso 55001). *Ingeman*, (17), 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.35842.61124/4

PAZMIÑO Morales, Diego. Análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (cmd) del sistema de reinyección de agua de formación de la empresa Petroamazonas. Tesis (Licenciatura en ingeniería industrial). Chimborazo: Escuela superior politécnica de Ecuador, 2018.

PECHT Michael. Product Reliability, Maintainability & Supportability Handbook . 2.^a ed, Reino Unido :Taylor & Francis,2009. 480 pp. ISBN 9780849398797

PILLACA Faustino, Luis. Implementación del mantenimiento preventivo de maquinaria pesada para incrementar la productividad, área de servicio técnico empresa Komatsu Mitsui. Tesis (Licenciatura en ingeniería industrial). Callao: Universidad César Vallejo, 2017.

QUISIGÜIÑA Reyes Luis Gerardo, Arteaga Linzan Ángel Rafael y Rodríguez Ramos Pedro Antonio. Determinación de Indicadores de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad. Caso de Estudio: Industria de Elaboración de Conservas de Atún. Revista Cubana de Ingeniería Vol. XII (2) e276 (2021) ISSN: 2223-1781

REMUZGO Tovar, Henry Willy. Diseño de experimentos aplicado al proceso de curvado de vidrio para incrementar la productividad en la fabricación de parabrisas. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Escuela Profesional de Ingeniería Industrial. 2018.

REAÑO Ramos, Leonardo. Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad en una empresa procesadora de subproductos de arroz para minimizar el número de averías. Tesis (Licenciatura en ingeniería industrial). Tesis (Licenciatura en ingeniería industrial). Lima: Universidad Tecnológica del Perú, 2017.

RODRÍGUEZ Piñeiro, et al. Metodología para la gestión del mantenimiento basada en criterios de diagnóstico», DYNA, 86(211), pp. 208–214, 2019. doi: 10.15446/dyna.v86n211.77704.

SALAZAR Moreno Raquel, et al . Confiabilidad y Análisis de Fallas utilizando la Distribución Weibull .[en línea].2017. disponible en :https://dicea.chapingo.mx/wp-content/uploads/2018/05/MEMORIA_MESA_1A_CONGRESO2017.pdf

TRADE MAP ITC (international trade center) , Lista de los importadores para el producto seleccionado , Producto: 7005 Vidrio flotado y vidrio desbastado o pulido. [fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.trademap.org>

VALVERDE Arellano, Alfredo Daniel. Implementación Del Método De Confiabilidad Weibull Para Determinar El Tiempo De Reemplazo De Los Motores Diesel En El Yacimiento Minero Jangas en La Provincia De Huaraz. Tesis (Licenciatura en ingeniería industrial). Lima: Universidad Privada del Norte, 2021.

VÍLCHEZ Torres, M. et al.,2020. Optimización del tiempo de reemplazo de componentes críticos reparables, DYNA, 87(214), pp. 93–99. doi: 10.15446/dyna.v87n214.84509.

VERA Arceles, Jorge. Plan de mantenimiento basado en la metodología del tpm para la optimización de la producción de bebidas gasificadas de la empresa Ajeper s.a. Tesis (ingeniero mecánico) .Universidad César Vallejo , Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica , Chiclayo , Perú.2019.

VÍLCHEZ, Mylena, et al. Enfoque Holístico en la Priorización de Componentes Críticos Reparables. *18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*: pp 27 - 31. 2020. ISSN: 2414-6390

WANG, Yangshuo. (2020). Use Crow-AMSAA Method to predict the cases of the Coronavirus 19 in Michigan and U.S.A. 10.1101/2020.04.03.20052845.

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 Operativa Eco System S.A.C. . Tesis para Licenciado en Investigación. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Lima, Perú .2021.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Título de Investigación	Problema General	Hipótesis General	Objetivo General
Mantenimiento Preventivo Basado En La Confiabilidad Para Mejorar La Disponibilidad En Los Hornos De Producción De Parabrisas De La Empresa Rabbit Glass S.A., Comas, 2022 “	¿De qué manera la aplicación del mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad mejora la disponibilidad en los hornos de fabricación de parabrisas de la empresa RABBIT GLASS S. A., Comas ,2022?	El mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad influye significativamente en aumentar la disponibilidad de los hornos de producción de parabrisas de la empresa Rabbit Glass S.A. 2022.	Proponer un programa de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los hornos de inducción de la línea de producción de parabrisas de la empresa Rabbit Glass S.A.
	Problemas Específicos	Hipótesis Específicos	Objetivos Específicos
	¿Cuál es la consecuencia de evaluar la tasa y número de fallas del proyectado en la confiabilidad de la empresa RABBIT GLASS S. A., comas ,2022?	El proyectado de la confiabilidad influye significativamente en la tasa y número de fallas de los hornos en la empresa RABBIT GLASS S.A. Comas ,2022.	Proyectar la tasa y el número de fallas para los hornos de producción de parabrisas de la empresa Rabbit Glass S. A. en Comas 2022.
	¿En qué manera afecta los tiempos medios entre fallas y el tiempo medio de reparaciones en la disponibilidad de los hornos en la empresa RABBIT GLASS S. A.?	El resultado de los tiempos medios entre fallas y el tiempo medio de reparaciones influye significativamente en la disponibilidad de los hornos de producción de parabrisas de la empresa Rabbit Glass S. A. Comas, 2022.	Comparar la disponibilidad antes y después de la aplicación de mantenimiento en los hornos de producción de parabrisas de la empresa Rabbit Glass S. A. en Comas 2022.

Matriz de operacionalización de variables

Variables	Conceptualización	Operacionalidad	Dimensionalidad	Indicadores	Medida
Variable Independiente: Mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad.	Es un estudio de diagnóstico que mide el grado de servicio que pueda tener el equipo, máquina o cualquier activo en un determinado periodo de tiempo.	Maximizar el tiempo de buen funcionamiento del sistema, minimizando el tiempo necesario	Confiabilidad	$e^{-\left(\frac{t}{n}\right)^\beta}$	porcentaje

	La confiabilidad es una herramienta que usa análisis estadísticos y probabilísticos, permitiendo usar planes de mantenimiento a futuro para predecir fallas y averías. CASTILLO(2020),	para reparar los equipos.	tasa de fallas	$w(t) = \lambda\beta t^{\beta-1}$	nominal
			Cant. de fallas en un tiempo	$W(t) = \lambda T^\beta$	nominal
Variable Dependiente: La Disponibilidad	Es una metodología que ha sido usada para predecir el nivel o capacidades de un sistema basada en la averías y reparaciones de las máquinas que intervienen en un proceso. Su evaluación permitirá tomar decisiones sobre el equipo o máquina a partir de su desempeño, o programar los mantenimientos preventivos para minimizar averías o fallas. (Souza y Oliveira)	la disponibilidad será obtenida en función de la fórmula. dividir la MTBF (Mean Time Between Failures) sobre la suma de MTBF y MTTR (Medium Time To Repair)	tiempo medio entre fallas MTBF	Disponibilidad = MTBF / (MTBF + MTTR)	porcentaje
			tiempo medio de reparaciones MTTR		

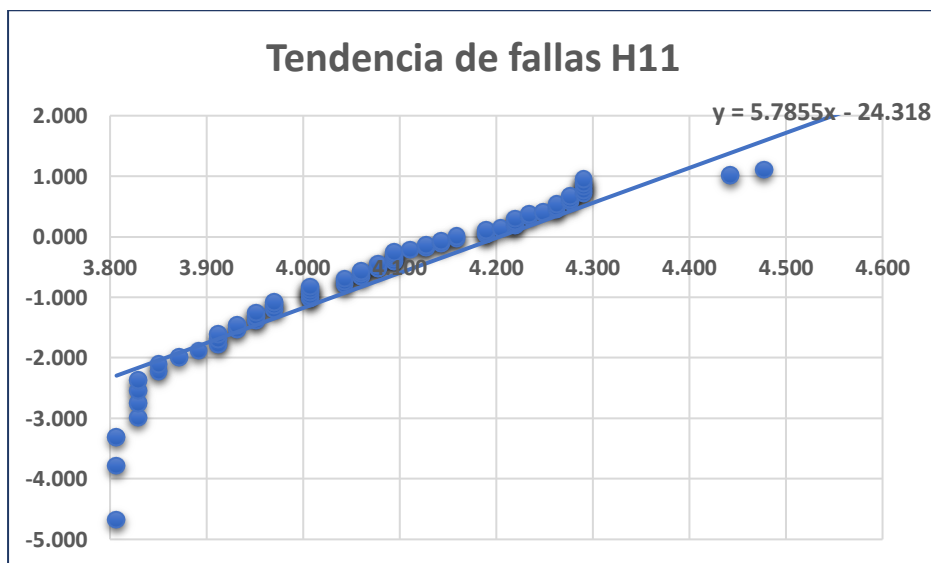
Anexo 2: Obtención de parámetros de Weibull para el horno 11:

Observación	Horas entre fallas	Orden ascendente	RM = F(t)	X = Lnt	Y = Ln(-Ln(1-RM))
1	53	45	0.0093	3.807	-4.675
2	71	45	0.0225	3.807	-3.781
3	58	45	0.0358	3.807	-3.311
4	59	46	0.0491	3.829	-2.989
5	55	46	0.0623	3.829	-2.743
6	62	46	0.0756	3.829	-2.543
7	66	46	0.0889	3.829	-2.375
8	110	47	0.1021	3.850	-2.228
9	64	47	0.1154	3.850	-2.099
10	58	48	0.1286	3.871	-1.983
11	47	49	0.1419	3.892	-1.877
12	64	50	0.1552	3.912	-1.780
13	68	50	0.1684	3.912	-1.690

14	70	50	0.1817	3.912	-1.607
15	68	51	0.1950	3.932	-1.528
16	72	51	0.2082	3.932	-1.455
17	105	52	0.2215	3.951	-1.385
18	73	52	0.2347	3.951	-1.318
19	85	52	0.2480	3.951	-1.255
20	52	53	0.2613	3.970	-1.195
21	55	53	0.2745	3.970	-1.136
22	53	53	0.2878	3.970	-1.081
23	52	55	0.3011	4.007	-1.027
24	50	55	0.3143	4.007	-0.975
25	71	55	0.3276	4.007	-0.924
26	50	55	0.3408	4.007	-0.875
27	47	55	0.3541	4.007	-0.828
28	55	57	0.3674	4.043	-0.781
29	61	57	0.3806	4.043	-0.736
30	69	57	0.3939	4.043	-0.692
31	57	58	0.4072	4.060	-0.648
32	72	58	0.4204	4.060	-0.606
33	51	58	0.4337	4.060	-0.565
34	46	59	0.4469	4.078	-0.524
35	57	59	0.4602	4.078	-0.484
36	53	59	0.4735	4.078	-0.444
37	60	60	0.4867	4.094	-0.405
38	68	60	0.5000	4.094	-0.367
39	45	60	0.5133	4.094	-0.328
40	55	60	0.5265	4.094	-0.291
41	46	60	0.5398	4.094	-0.254
42	55	61	0.5531	4.111	-0.217
43	60	62	0.5663	4.127	-0.180
44	69	62	0.5796	4.127	-0.143
45	62	63	0.5928	4.143	-0.107
46	52	63	0.6061	4.143	-0.071
47	63	64	0.6194	4.159	-0.035
48	88	64	0.6326	4.159	0.001
49	72	66	0.6459	4.190	0.037
50	68	66	0.6592	4.190	0.074
51	73	66	0.6724	4.190	0.110
52	59	67	0.6857	4.205	0.146

53	49	68	0.6989	4.220	0.183
54	45	68	0.7122	4.220	0.220
55	51	68	0.7255	4.220	0.257
56	46	68	0.7387	4.220	0.294
57	71	69	0.7520	4.234	0.332
58	58	69	0.7653	4.234	0.371
59	59	70	0.7785	4.248	0.410
60	63	71	0.7918	4.263	0.451
61	102	71	0.8050	4.263	0.492
62	67	71	0.8183	4.263	0.534
63	66	72	0.8316	4.277	0.577
64	50	72	0.8448	4.277	0.622
65	45	72	0.8581	4.277	0.669
66	73	73	0.8714	4.290	0.718
67	46	73	0.8846	4.290	0.770
68	60	73	0.8979	4.290	0.825
69	48	73	0.9111	4.290	0.884
70	57	73	0.9244	4.290	0.949
71	73	85	0.9377	4.443	1.021
72	60	88	0.9509	4.477	1.103
73	73	102	0.9642	4.625	1.203
74	60	105	0.9775	4.654	1.333
75	66	110	0.9907	4.700	1.543

Anexo 2 :Tendencia de fallas H11



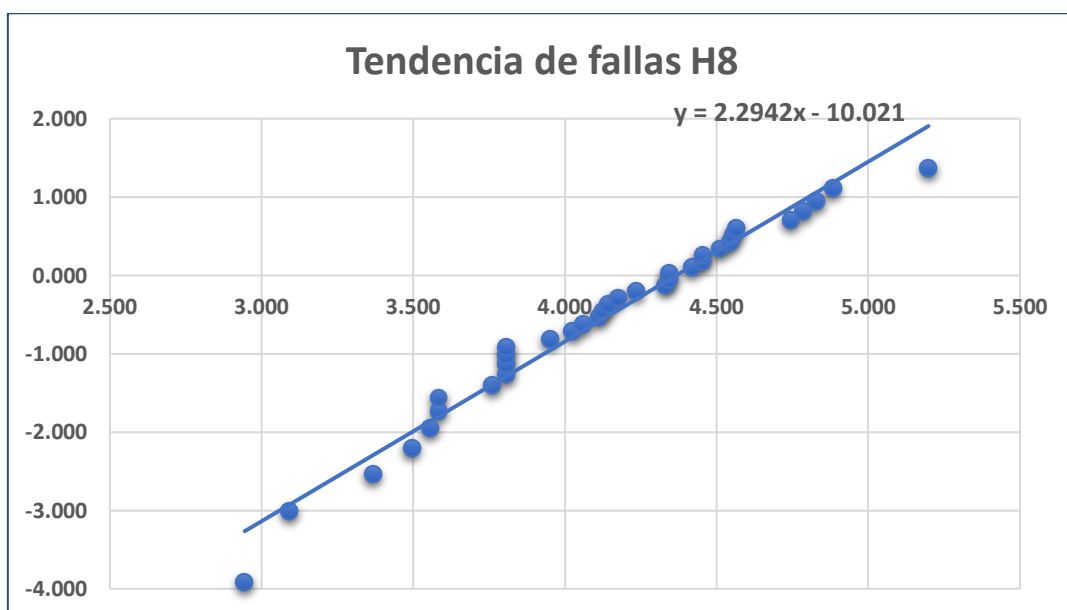
Anexo 3: Parámetros del modelo de Crow Amsaa para el Horno 11:

Fallas: N(t)	Tiempo Acumulado	Ln(Tq/Xi1)
1	53	4.473
2	124	3.623
3	182	3.239
4	241	2.958
5	296	2.753
6	358	2.562
7	424	2.393
8	534	2.163
9	598	2.049
10	656	1.957
11	703	1.888
12	767	1.800
13	835	1.715
14	905	1.635
15	973	1.563
16	1045	1.491
17	1150	1.395
18	1223	1.334
19	1308	1.267
20	1360	1.228
21	1415	1.188
22	1468	1.151
23	1520	1.116
24	1570	1.084
25	1641	1.040
26	1691	1.010
27	1738	0.982
28	1793	0.951
29	1854	0.918
30	1923	0.881
31	1980	0.852
32	2052	0.816
33	2103	0.792
34	2149	0.770
35	2206	0.744
36	2259	0.720
37	2319	0.694
38	2387	0.665
39	2432	0.646
40	2487	0.624
41	2533	0.606
42	2588	0.584
43	2648	0.561
44	2717	0.536
45	2779	0.513
46	2831	0.495
47	2894	0.473
48	2982	0.443
49	3054	0.419
50	3122	0.397
51	3195	0.374
52	3254	0.355
53	3303	0.340
54	3348	0.327
55	3399	0.312
56	3445	0.298
57	3516	0.278
58	3574	0.261
59	3633	0.245
60	3696	0.228
61	3798	0.201
62	3865	0.183
63	3931	0.166
64	3981	0.154
65	4026	0.142
66	4099	0.124
67	4145	0.113
68	4205	0.099
69	4253	0.088
70	4310	0.074
71	4383	0.057
72	4443	0.044
73	4516	0.028
74	4576	0.014
75	4642	0.000

Anexo 4: Obtención de parámetros de Weibull para el horno 8:

Observación	Horas entre fallas	Orden ascendente	RM = F(t)	X = Lnt	Y = Ln(-Ln(1-RM))
1	77	19	0.0198	2.944	-3.913
2	181	22	0.0480	3.091	-3.012
3	120	29	0.0763	3.367	-2.534
4	115	33	0.1045	3.497	-2.204
5	86	35	0.1328	3.555	-1.949
6	125	36	0.1610	3.584	-1.740
7	132	36	0.1893	3.584	-1.562
8	29	43	0.2175	3.761	-1.405
9	45	45	0.2458	3.807	-1.266
10	63	45	0.2740	3.807	-1.139
11	69	45	0.3023	3.807	-1.022

12	91	45	0.3305	3.807	-0.913
13	94	52	0.3588	3.951	-0.811
14	86	56	0.3870	4.025	-0.715
15	83	58	0.4153	4.060	-0.623
16	65	61	0.4435	4.111	-0.534
17	45	62	0.4718	4.127	-0.449
18	95	63	0.5000	4.143	-0.367
19	58	65	0.5282	4.174	-0.286
20	43	69	0.5565	4.234	-0.207
21	56	76	0.5847	4.331	-0.129
22	19	77	0.6130	4.344	-0.052
23	36	77	0.6412	4.344	0.025
24	45	83	0.6695	4.419	0.102
25	33	86	0.6977	4.454	0.179
26	45	86	0.7260	4.454	0.258
27	62	91	0.7542	4.511	0.339
28	77	94	0.7825	4.543	0.422
29	22	95	0.8107	4.554	0.510
30	36	96	0.8390	4.564	0.602
31	35	115	0.8672	4.745	0.703
32	61	120	0.8955	4.787	0.815
33	52	125	0.9237	4.828	0.945
34	96	132	0.9520	4.883	1.111
35	76	181	0.9802	5.198	1.367

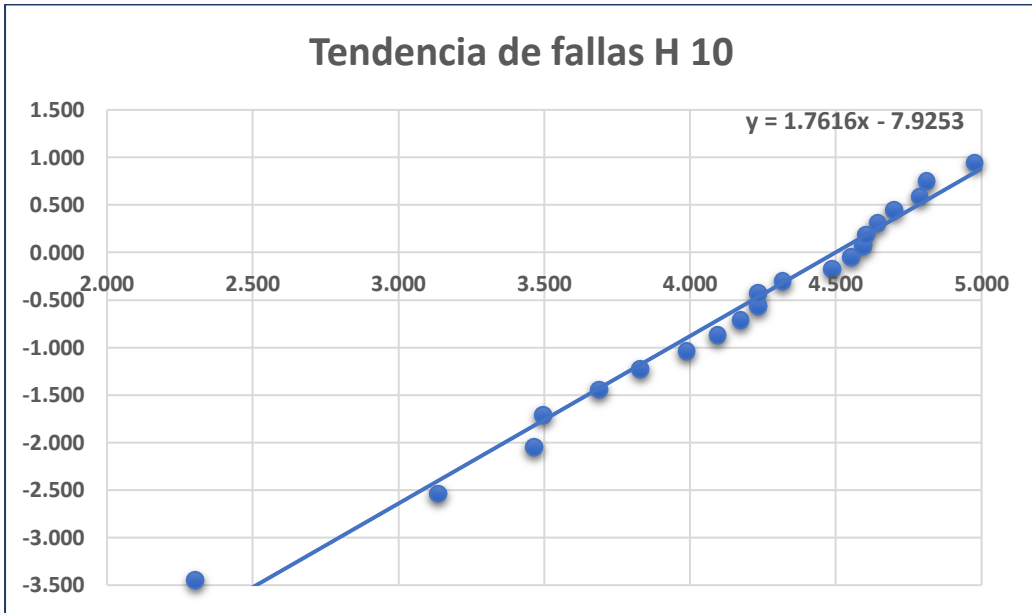


Anexo 5: Parámetros del modelo de Crow Amsaa para el Horno 8:

Fallas: N(t)	Tiempo Acumulad o	ln(Tq/Xi1)			
1	77	3.462	17	1538	0.467
2	154	2.769	18	1583	0.438
3	335	1.991	19	1678	0.380
4	455	1.685	20	1736	0.346
5	570	1.460	21	1779	0.322
6	656	1.319	22	1835	0.291
7	781	1.145	23	1854	0.280
8	913	0.989	24	1890	0.261
9	942	0.957	25	1935	0.238
10	987	0.911	26	1968	0.221
11	1050	0.849	27	2013	0.198
12	1119	0.785	28	2075	0.168
13	1210	0.707	29	2152	0.131
14	1304	0.632	30	2174	0.121
15	1390	0.568	31	2210	0.105
16	1473	0.510	32	2245	0.089
			33	2306	0.062
			34	2358	0.040
			35	2454	0.000

Anexo 6: Obtención de parámetros de Weibull para el horno 10:

Observación	Horas entre fallas	Orden ascendente	RM = F(t)	X = Lnt	Y = Ln(-Ln(1-RM))
1	145	10	0.0313	2.303	-3.450
2	120	23	0.0759	3.135	-2.539
3	152	32	0.1205	3.466	-2.052
4	46	33	0.1652	3.497	-1.712
5	110	40	0.2098	3.689	-1.446
6	104	46	0.2545	3.829	-1.225
7	95	54	0.2991	3.989	-1.035
8	69	60	0.3438	4.094	-0.865
9	99	65	0.3884	4.174	-0.710
10	40	69	0.4330	4.234	-0.567
11	100	69	0.4777	4.234	-0.432
12	123	75	0.5223	4.317	-0.303
13	10	89	0.5670	4.489	-0.178
14	23	95	0.6116	4.554	-0.056
15	69	99	0.6563	4.595	0.066
16	60	100	0.7009	4.605	0.188
17	89	104	0.7455	4.644	0.314
18	54	110	0.7902	4.700	0.446
19	32	120	0.8348	4.787	0.588
20	33	123	0.8795	4.812	0.749
21	65	145	0.9241	4.977	0.947

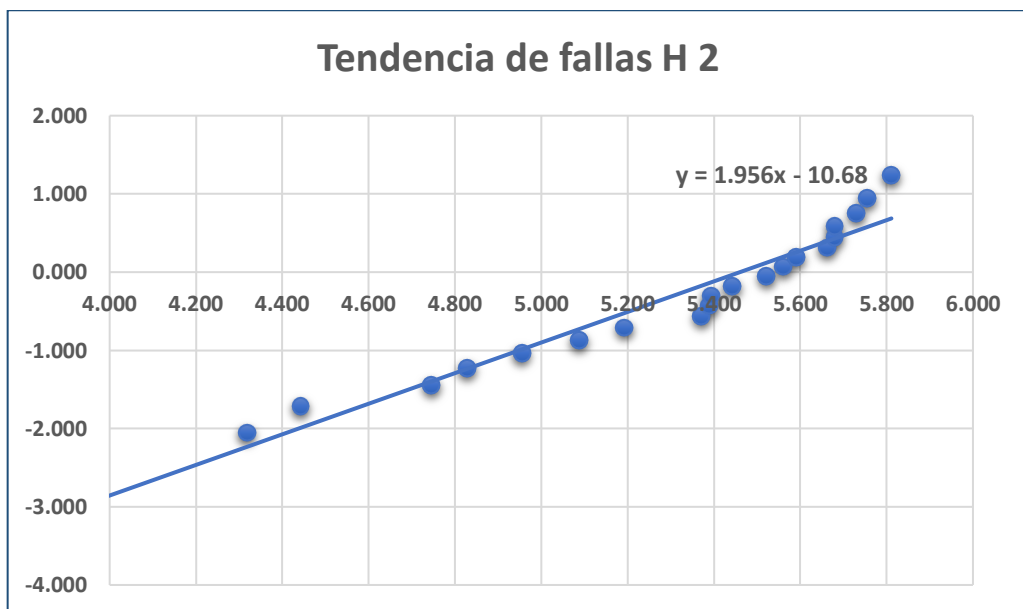


Anexo 7: Parámetros del modelo de Crow Amsaa para el Horno 10:

Fallas: N(t)	T Acumula	ln (Tq/Xi1)
1	77	3.103
2	222	2.044
3	342	1.612
4	494	1.245
5	540	1.156
6	650	0.970
7	754	0.822
8	849	0.703
9	918	0.625
10	1017	0.523
11	1057	0.484
12	1157	0.394
13	1280	0.293
14	1290	0.285
15	1313	0.267
16	1382	0.216
17	1442	0.173
18	1531	0.113
19	1585	0.079
20	1617	0.059
21	1650	0.039
22	1715	0.000

Anexo 8: Obtención de parámetros de Weibull para el horno 2:

Observación	Horas entre fallas	Orden ascendente	RM = F(t)	X = Lnt	Y = Ln(-Ln(1-RM))
1	293	48	0.0313	3.871	-3.450
2	162	52	0.0759	3.951	-2.539
3	142	75	0.1205	4.317	-2.052
4	293	85	0.1652	4.443	-1.712
5	334	115	0.2098	4.745	-1.446
6	250	125	0.2545	4.828	-1.225
7	268	142	0.2991	4.956	-1.035
8	316	162	0.3438	5.088	-0.865
9	219	180	0.3884	5.193	-0.710
10	308	215	0.4330	5.371	-0.567
11	125	219	0.4777	5.389	-0.432
12	115	220	0.5223	5.394	-0.303
13	85	231	0.5670	5.442	-0.178
14	220	250	0.6116	5.521	-0.056
15	180	260	0.6563	5.561	0.066
16	231	268	0.7009	5.591	0.188
17	215	288	0.7455	5.663	0.314
18	288	293	0.7902	5.680	0.446
19	260	293	0.8348	5.680	0.588
20	48	308	0.8795	5.730	0.749
21	52	316	0.9241	5.756	0.947
22	75	334	0.9688	5.811	1.243



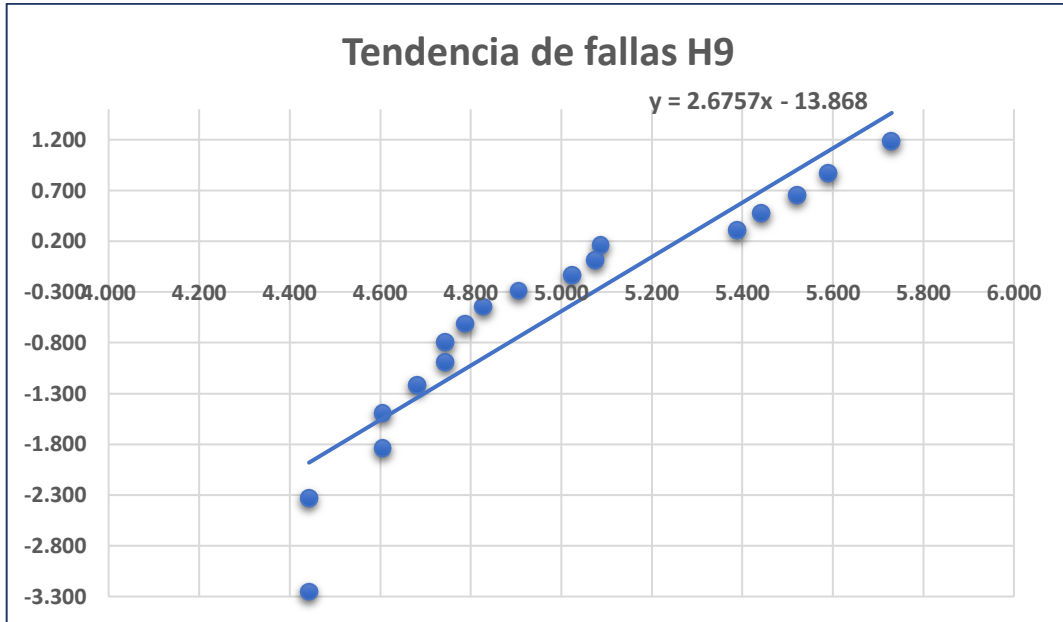
Anexo 9: Parámetros del modelo de Crow Amsaa para el Horno 2:

Fallas: N(t)	T Acumula	ln (Tq/Xi1)
1	77	4.064
2	370	2.494
3	532	2.131
4	674	1.894
5	967	1.533
6	1301	1.237
7	1551	1.061
8	1819	0.902
9	2135	0.741
10	2354	0.644
11	2662	0.521
12	2787	0.475
13	2902	0.434
14	2987	0.406
15	3207	0.335
16	3387	0.280
17	3618	0.214
18	3833	0.156
19	4121	0.084
20	4381	0.023
21	4429	0.012
22	4481	0.000

Anexo 10: Obtención de parámetros de Weibull para el horno 9:

Observación	Horas entre fallas	Orden ascendente	RM = F(t)	X = Lnt	Y = Ln(-Ln(1-RM))
1	160	85	0.0380	4.443	-3.250
2	162	85	0.0924	4.443	-2.334
3	152	100	0.1467	4.605	-1.841
4	100	100	0.2011	4.605	-1.494
5	85	108	0.2554	4.682	-1.221
6	250	115	0.3098	4.745	-0.992
7	268	115	0.3641	4.745	-0.792
8	115	120	0.4185	4.787	-0.612
9	219	125	0.4728	4.828	-0.446
10	308	135	0.5272	4.905	-0.289

11	125	152	0.5815	5.024	-0.138
12	115	160	0.6359	5.075	0.010
13	85	162	0.6902	5.088	0.159
14	100	219	0.7446	5.389	0.311
15	135	231	0.7989	5.442	0.473
16	231	250	0.8533	5.521	0.652
17	120	268	0.9076	5.591	0.868
18	108	308	0.9620	5.730	1.184



Anexo 11: Parámetros del modelo de Crow Amsaa para el Horno 9:

Fallas: N(t)	T Acumula	ln (Tq/Xi1)
1	77	3.596
2	237	2.472
3	399	1.951
4	551	1.628
5	651	1.461
6	736	1.339
7	986	1.046
8	1254	0.806
9	1369	0.718
10	1588	0.570
11	1896	0.392

12	2021	0.329
13	2136	0.273
14	2221	0.234
15	2321	0.190
16	2456	0.134
17	2687	0.044
18	2807	0.000

Anexo 12: Resultados de la confiabilidad

Confiabilidad						
---------------	--	--	--	--	--	--

Horas	H 11	H 8	H 10	H 2	H 9	Otros
1	99.55%	99.94%	99.95%	100%	100%	100%
50	60.43%	86.33%	87.63%	98%	96%	99%
100	31.30%	67.75%	69.76%	88%	80%	91%
150	15.05%	50.24%	52.33%	58%	53%	68%
200	6.86%	35.65%	37.46%	49%	26%	35%
250	3.00%	24.38%	25.77%	29%	9%	11%
300	1.27%	16.14%	17.11%	14%	2%	2%
350	0.52%	10.38%	11.01%	5%	0%	0%
400	0.21%	6.50%	6.88%	2%	0%	0%
450	0.08%	3.98%	4.18%	0%	0%	0%
500	0.03%	2.38%	2.48%	0%	0%	0%
550	0.01%	1.39%	1.44%	0%	0%	0%
600	0.00%	0.80%	0.81%	0%	0%	0%
650	0.00%	0.45%	0.45%	0%	0%	0%
700	0.00%	0.25%	0.24%	0%	0%	0%
750	0.00%	0.13%	0.13%	0%	0%	0%
800	0.00%	0.07%	0.07%	0%	0%	0%

Anexo 13: Resultados de las tasas de fallas de los hornos.

Horas	Tasa de fallas					
	H 11	H 8	H 10	H 2	H 9	Otros
1	0.00978	0.00084	0.00067	0.00200	0.00460	0.00773
10	0.01176	0.00413	0.00382	0.00320	0.00555	0.00662
20	0.01227	0.00547	0.00521	0.00348	0.00573	0.00644
30	0.01258	0.00645	0.00625	0.00374	0.00584	0.00634
40	0.01280	0.00725	0.00710	0.00378	0.00592	0.00627
50	0.01298	0.00794	0.00785	0.00389	0.00599	0.00621
60	0.01313	0.00855	0.00852	0.00397	0.00604	0.00617

70	0.01325	0.00910	0.00912	0.00405	0.00608	0.00613
80	0.01336	0.00960	0.00968	0.00411	0.00612	0.00609
90	0.01346	0.01007	0.01021	0.00417	0.00616	0.00607
100	0.01354	0.01051	0.01070	0.00423	0.00619	0.00604
110	0.01362	0.01093	0.01116	0.00427	0.00622	0.00602
120	0.01370	0.01132	0.01161	0.00432	0.00624	0.00600
130	0.01376	0.01170	0.01203	0.00436	0.00627	0.00598
140	0.01383	0.01205	0.01244	0.00440	0.00629	0.00596
150	0.01389	0.01239	0.01283	0.00444	0.00631	0.00594
160	0.01394	0.01272	0.01320	0.00447	0.00633	0.00593

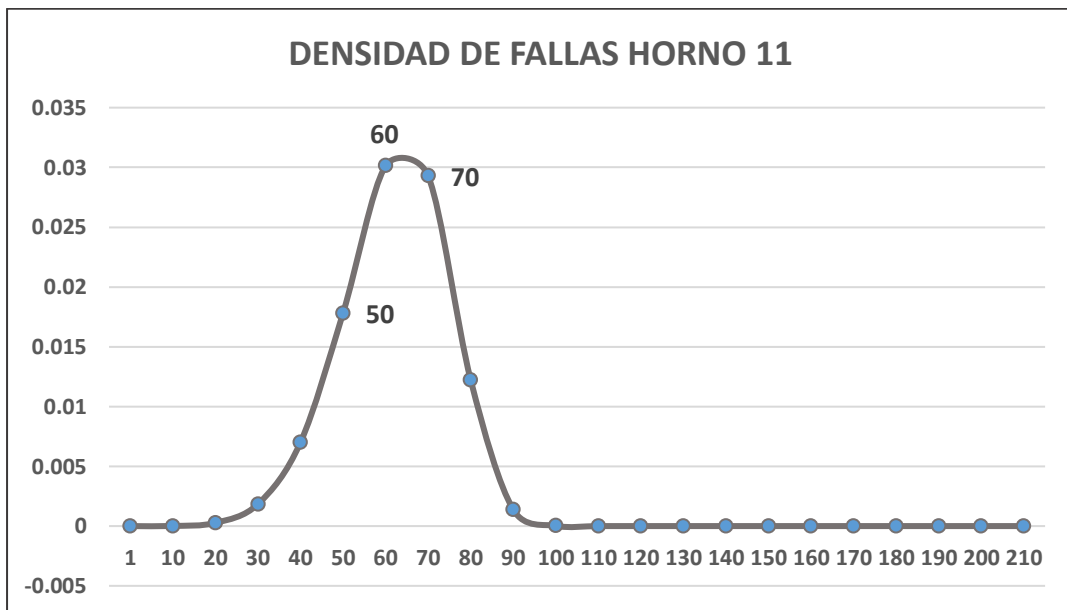
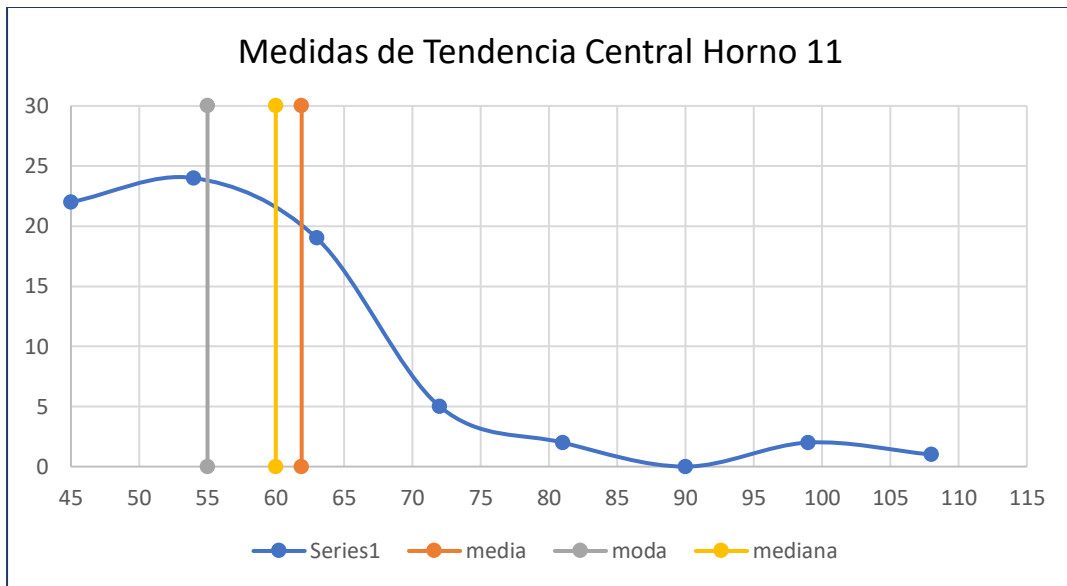
Anexo 14: Estadística descriptiva del horno 11

<i>Tiempo entre fallas Horno 11</i>	
Media	61.89
Error típico	1.52
Mediana	60.00
Moda	55.00
Desviación estándar	13.17
Varianza de la muestra	173.42
Curtosis	3.26
Coficiente de asimetría	1.48
Rango	65.00
Mínimo	45.00
Máximo	110.00
Suma	0
Cuenta	75.00
Mayor (1)	110.00
Menor (1)	45.00

El valor obtenido de la media corresponde al MTBF analizado anteriormente, el valor que más se repite es de 55 horas que corresponde a la moda y la mediana en 60 horas.

El valor de asimetría positivo se interpreta que los valores en mayor proporción están a la derecha de la media resultante.

El valor positivo de la curtosis indica una distribución de los datos de forma leptocúrtica en la gráfica resultante, tal como se puede observar en la gráfica de medidas de tendencia central.



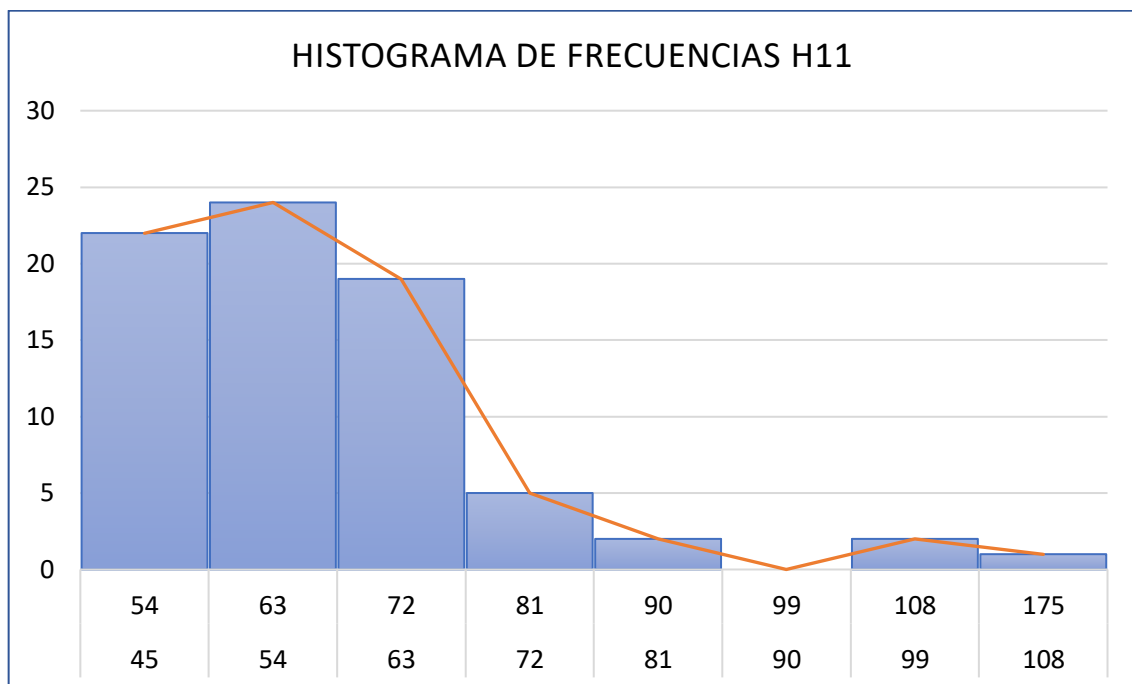
La tabla de distribución de frecuencias tiene como rango 65, número de clase 8 y amplitud de clase 9.

Anexo 15: Tabla de frecuencias H-11

TABLA DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS HORNO 11								
Clases		x_i	fa	fr	fp	Fa	Fr	Fp
45	54	49.5	22	0.293	29.33%	22	0.293	29.33%

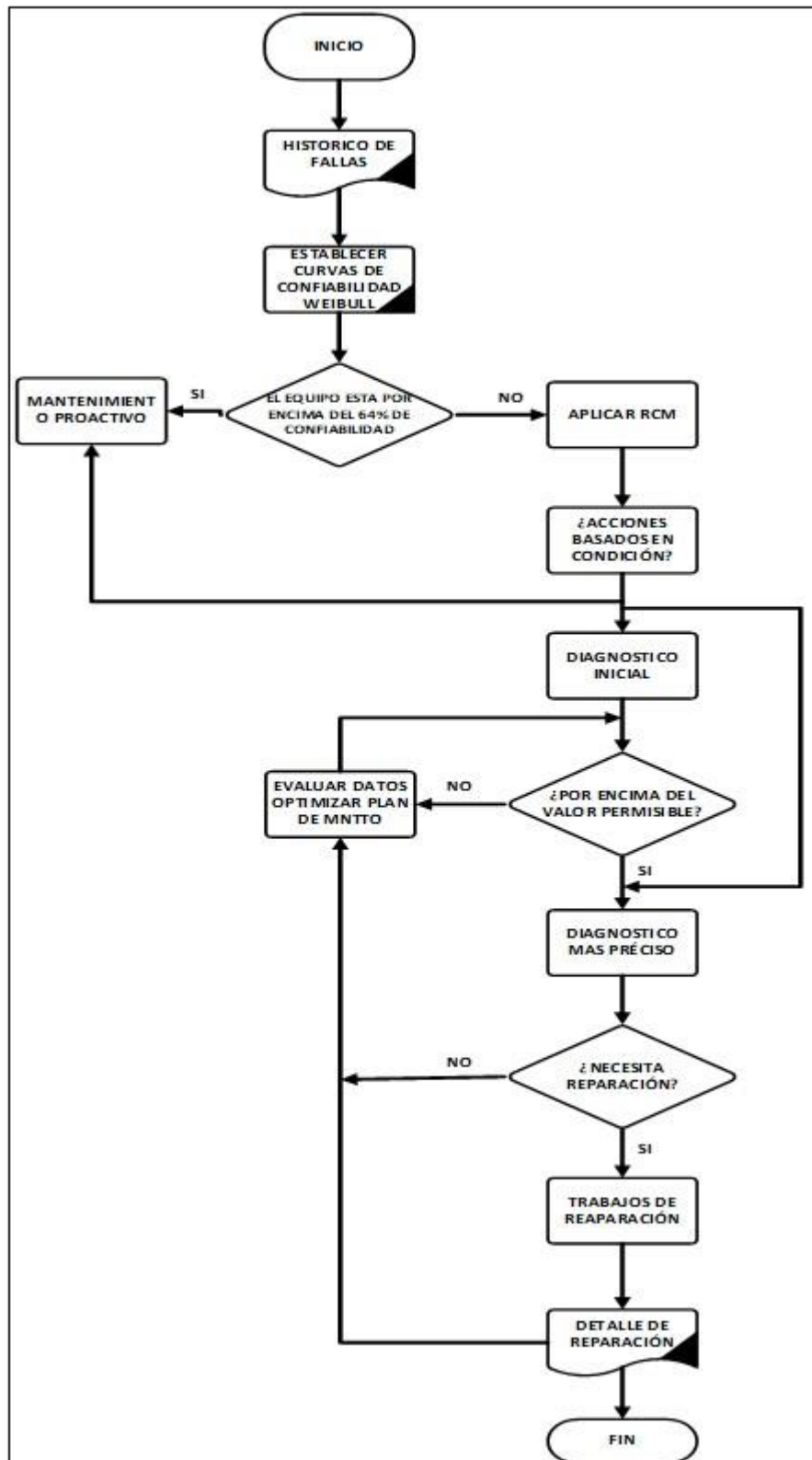
54	63	58.5	24	0.320	32.00%	46	0.613	61.33%
63	72	67.5	19	0.253	25.33%	65	0.867	86.67%
72	81	76.5	5	0.067	6.67%	70	0.933	93.33%
81	90	85.5	2	0.027	2.67%	72	0.960	96.00%
90	99	94.5	0	0.000	0.00%	72	0.960	96.00%
99	108	103.5	2	0.027	2.67%	74	0.987	98.67%
108	175	141.5	1	0.013	1.33%	75	1.000	100.00%

Se observa que en el nivel 2 de marcas de clase se concentra la mayor frecuencia de datos con 24 observaciones entre los valores de 54 y 63 horas, lo cual representa el 29.33% de la data general.



Los datos agrupados en el histograma de frecuencia indican una mayor acumulación entre las 50 y 70 horas de la data procesada.

Anexo 27: Secuencia de acción por falla



Anexo 28: Plan de mantenimiento

Plan De Mantenimiento							
Fecha		Hornos Que Intervienen En Proceso De Doblaje O Curvado De Las Láminas De Vidrio	Programa De Mantenimiento De Los Hornos Que Intervienen En Proceso De Doblaje O Curvado De Las Láminas De Vidrio				
Equipo			Periodo 2022 li				
Nombre Del Equipo	Componentes	Actividad	Frecuencia De Inspección	Frecuencia De Cambio	Responsable	Técnico	Horas De Trabajo
Horno De Inducción Eléctrica	Resistencia De Alambre Nicromo	Inspección Y Medición De La Corriente	Semanal	1 año	Técnico Electricista	1	1
		Desmontaje Y Reemplazo	Semestral		Técnico Electricista	1	2
	Aislante Térmico De Kaowool	Inspección Y Limpieza Interior Del Horno	Semanal	2 años	Técnico Operario	1	1
		Desmontaje Y Reemplazo Del Aislante Dañado	Semestral		Técnico Electricista	1	2
	Cableado # 12 Eléctrico De Fuerza	Inspección Del Cableado	Semanal	3 Años	Técnico Operario	1	1
		Desmontaje Y Reemplazo	3 años		Técnico Electricista	1	2
	Terminales Y Conectores Del Sistema Eléctrico	Inspección Y Ajuste De Contactos	Semanal	Semestral	Técnico Electricista	1	1
		Reemplazo De Bornes Y Terminales	Semestral			1	2
	Porta Resistencias Cerámicas	Inspección De Las Cerámicas	Semestral	Semestral	Técnico Electricista	1	1
		Desmontaje Y Reemplazo De Las	Mensual			1	2

		Cerámicas Dañadas					
	Contactor A32 Y Llaves Térmicas C63	Inspección Del Tablero Eléctrico	Semanal	3 Años	Técnico Electricista	1	1
		Reemplazo De Contactor O Llave Térmica	3 años			1	1
	Pirómetro Y Termocupla	Inspección Del Sensor Y Lector De Temperatura	Semanal	1 Año	Técnico Electricista	1	1
		Reemplazo De Termocupla Y Pirómetro	1 año			1	1
Sistema De Izaje De Tapa Superior	Tecele Eléctrico 500-1000 Kg	Inspección Y Engrase Del Cable Acerado	Semanal	5 Años	Técnico Operario	1	1
		Desmontaje Y Cambio De Cable De Acero	Semestral		Técnico Mecánico	1	2
		Desmontaje Y Reemplazo De Tecele	5 años		Técnico Mecánico	2	1
	Pistón De Aire	Inspección De Tensión O Fuerza	Semanal	1 Año	Técnico Operario	1	1
		Desmontaje Y Reemplazo	Semestral		Técnico Mecánico	1	1
	Cadena	Inspección Y Engrase	Semanal	4 Años	Técnico Operario	1	1
		Reemplazo	4 años		Técnico Mecánico	1	2
	Rodajes	Inspección Y Lubricación	Bimestral	6 Meses	Técnico Operario	1	1
		Reemplazo	Semestral		Técnico Mecánico	1	2

Anexo 29. DAP del proceso de fabricación de parabrisa.

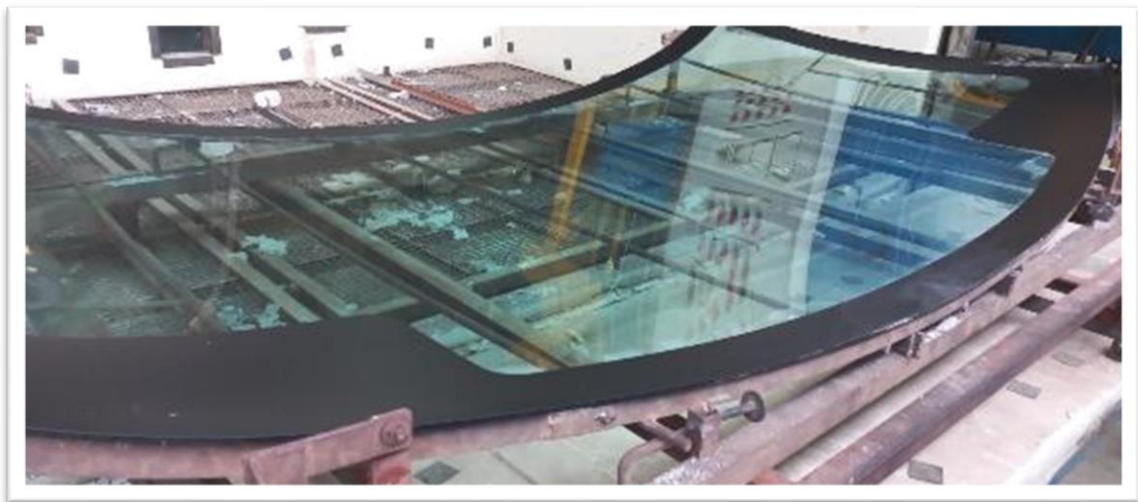
DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO DE FABRICACION DE PARABRISA										
Diagrama No.01	Hoja No.01	OPERARIO		MATERIAL		<input type="checkbox"/> EQUIPO <input type="checkbox"/>				
Objetivo: Parabrisa Laminado		RESUMEN								
		ACTIVIDAD	ACTUAL	PROPUESTO	ECONOMÍA					
Proceso analizado: Producción de Parabrisa		Operación	7							
		Transporte	7							
		Espera	3							
Método: Actual	Propuesto	Inspección	1							
		Almacenamiento	2							
Localización: PLANTA DE PRODUCCIÓN		Distancia (m)								
		Tiempo (hr/hombre)								
Operario: Oscar Villafuerte		Costo								
		Total								
Elaborado por: RICARDO LAGUNA	Fecha: 06/10/2022	Comentarios								
Aprobado por: Hugo Méndez	Fecha: 06/10/2022									
Descripción	Cantidad	Distancia	Tiempo	Símbolo					Observaciones	
				○	➡	D	□	▽		
Pedido al almacén			0.5							
Espera del pedido			3							
Inspección de las planchas de vidrio			0.5							
Traslado del material			0.2							
Corte y Pulido de las laminas			1							
Inspección			0.2							
Traslado del material			0.2							
Lavado			0.5							
Área de Serigrafía			2							
Traslado del material			0.2							
Horno de Curvado			3							
Traslado del material			0.2							
Área de laminado			1							
Traslado del material			0.2							
Pre autoclave y autoclave			5							
Traslado del material			0.2							
Inspección			0.2							

Etiquetar y proteger los bordes			0.2	●					
Traslado del material			0.2		●				
Almacén de productos terminados			1					●	
TOTAL			19.5	7	7	3	1	2	20

Anexo 30. Hornos de inducción



Horno de inducción en el proceso de curvado



Laminas curvadas de acuerdo al molde



Porta resistencias y resistencias (bobinas de alambre nicromo)



Diferentes sistemas de izajes de las tapas de los hornos



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, AÑAZCO ESCOBAR DIXON GROKY, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, asesor de Tesis titulada: "MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD EN LOS HORNOS DE PRODUCCIÓN DE PARABRISAS DE LA EMPRESA RABBIT GLASS S.A., COMAS, 2022.", cuyos autores son PAREDES LIZA MILTON ARTURO, LAGUNA ARANA RICARDO ANTONIO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 8.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 12 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
AÑAZCO ESCOBAR DIXON GROKY DNI: 08124462 ORCID: 0000-0002-2729-1202	Firmado electrónicamente por: DGAESCOBAR el 06- 12-2022 19:21:04

Código documento Trilce: TRI - 0439228