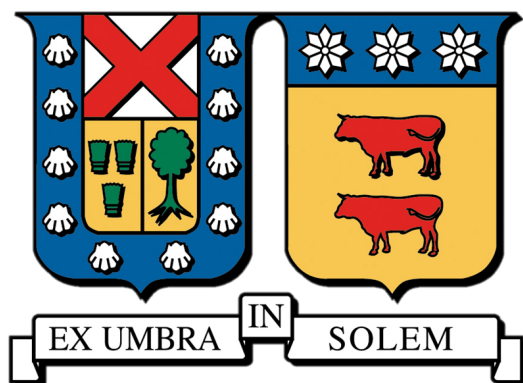


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



ANÁLISIS Y DESARROLLO DE ESTRATEGIA DE REPARACIÓN DE
COMPONENTES BASADO EN MODELO DE CONFIABILIDAD

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

AUTOR: ALVARO DARIO ALEGRE FRANCO

PROFESOR GUÍA: FREDY KRISTJANPOLLER

JUNIO-2023

Agradecimientos

Dedicado

A Pamela, mi soporte, mi compañera y mi vida, sin tu apoyo esto no sería posible,
Con amor a mis motores Franco y Joaquín, "Nunca Dejen de Soñar".
A mi Madre, a mis Hermanos gracias por estar siempre
y a mis Abuelos que me ven desde las estrellas.

Mi Agradecimiento

A mis profesores Fredy Kristjanpoller por su confianza,
Arturo Flores Franulic por su apoyo a la distancia
Carlos Peña por su apoyo y ayuda constante.
A Rodrigo Parra infaltable, y a Hector Tirado, su ayuda fue fundamental
A los amigos de siempre Peter, Gustavo-Angy, Pape
Gracias a mis compañeros Esteban M., Diego J., Cristian L., Claudia M.
Gracias a Mr. Andrews por su colaboración
A todas quienes sin saber para cumplir de una u otra forma aportaron a
este sueño, personas valiosas que conocí en estos años A Enrique Loggia Zuleta,
Mario Villanon, Pablo Galvez y en especial al Team Alto Rendimiento de MLP
Claudio Leiva, Ricardo Villa y Carlos Venegas.

Tabla de Contenidos

1	Introducción	9
2	Objetivos	13
2.1	Objetivo general	13
2.2	Objetivos Específicos	13
3	Alcances	15
4	Marco Teórico	17
4.1	Sistemas o Componentes Reparables	17
4.2	Tasas de Ocurrencia y Renovación	18
4.3	Distribución de Wibull	20
4.3.1	Intervalo de confianza	22
4.3.2	Función de densidad de falla $f(t)$	22
4.3.3	Probabilidad acumulada de falla $F(t)$	23
4.3.4	Confiabilidad $R(t)$	24
4.3.5	Tasa de falla $\lambda(t)$	25
4.4	Estrategia	27
4.4.1	Definición	27
4.5	Mantenimiento y Tipos de Contratos	28
4.5.1	Mantenimiento	28

4.5.2	Administración de Contratos	29
4.5.3	Tipos de Contratos	32
4.5.4	Riesgos de Contratos de Mantenimiento	33
5	Metodología Propuesta	36
6	Desarrollo	38
6.1	Módulo de Confiabilidad	38
6.1.1	Modelo de Confiabilidad en Excel	39
6.1.2	Resultados Modelo de Proyección Con Parámetros Excel	42
6.1.3	Modelo de Confiabilidad en Python	44
6.1.4	Resultados Modelo de Proyección Con Parámetros Python . . .	46
6.1.5	Confiabilidad e Intervalos de Confianza	49
7	Análisis de Resultados	51
7.1	Estrategias de Reparables	57
7.1.1	¿Que se requiere reparar?	58
7.1.2	Estrategia de Reparación	59
7.1.3	Matriz de Control de Calidad	61
7.1.4	Protocolos	62
8	Conclusiones y Recomendaciones	65
9	ANEXOS	68
9.1	Anexo A: Data Motores de Propulsión RH	68
9.2	Anexo B: Tabla de Valores Ranking Ajustado	72
9.3	Anexo C: Proyección Motores de Propulsión RH 12 Meses	76
9.4	Anexo D: Proyección Motores de Propulsión RH 24 Meses	77
9.5	Anexo E: Proyección Motores de Propulsión RH 36 Meses	78

9.6	Anexo F: Proyección Motores de Propulsión RH 12 Meses Parámetros	
	Python	79
9.7	Anexo G: Proyección Motores de Propulsión RH 24 Meses Parámetros	
	Python	80
9.8	Anexo G: Proyección Motores de Propulsión RH 36 Meses Parámetros	
	Python	81
9.9	Anexo H: Código Python Para Obtener Parámetros Weibull	82
9.10	Anexo I: Horas Entre Falla Para Python	83

Lista de Tablas

7.1	Resumen de Parámetros de Forma y Escala	52
7.2	Resumen Cambios Proyectados Excel $\alpha=28604.1$ $\beta=1.9$	53
7.3	Resumen Cambios Proyectados Python $\alpha=28511.39$ $\beta=1.81$	54
7.4	Tiempos Total de Proceso de Reparación	55
7.5	Costo de Reparación Anual en US\$	56
9.1	Data Motores de Propulsión RH	68
9.2	Data Motores de Propulsión RH	72
9.3	Tabla Horas Entre Falla Para Python	84

Lista de Figuras

3.1	Ubicación de Componentes a estudiar	15
4.1	Funciones de Confiabilidad y MTBF	24
4.2	Curva de la Bañera	25
4.3	Distribución del Riesgo	35
5.1	Diagrama Simplificado del Proceso	36
6.1	Flujo Para Modelo Excel	39
6.2	Formula para Constuir el Modelo en Excel	40
6.3	Gráfico de Dispersión	41
6.4	Resultado Proyección 12 Meses Modelado de Confiabilidad Excel . . .	42
6.5	Resumen Acumulado de Cambios de Motor de Propulsión	43
6.6	Resumen de Cambios Proyectados Wibull Excel	44
6.7	Flujo Para Modelo Python	44
6.8	Parámetros de Confiabilidad en Python	45
6.9	Gráfico de Dispersión Python	46
6.10	Resultado Proyección 12 Meses Parámetros Python	47
6.11	Resumen Acumulado de Cambios de Motor de Propulsión 2	48
6.12	Resumen de Cambios Proyectados Weibull PY	49
6.13	width=0.4	49
6.14	Proyección de Confiabilidad	50

7.1	Histograma Cambio de Motores Eléctricos RH	52
7.2	Porcentaje de Tipo de Cambio de Componentes	56
7.3	Aspectos Relevantes Para Un Proceso de Reparables	61
7.4	Propuesta de Estrategia de Reparables	64
9.1	Resultado Proyección 12 Meses Parámetros Excel	76
9.2	Resultado Proyección 24 Meses Parámetros Excel	77
9.3	Resultado Proyección 36 Meses Parámetros Excel	78
9.4	Resultado Proyección 12 Meses Parámetros Python	79
9.5	Resultado Proyección 24 Meses Parámetros Python	80
9.6	Resultado Proyección 36 Meses Parámetros Python	81
9.7	Código Python Para Obtener Parámetros	82

Resumen Ejecutivo

El siguiente trabajo muestra los resultados de un análisis de proyecciones de cambio de componentes reparables, del tipo Motores Eléctricos que pertenecen a un modelos de camión de extracción de propulsión eléctrica, utilizado en minería de rajo abierto.

Para el desarrollo de las proyecciones se utilizó la distribución de Weibull (por su versatilidad), donde los parámetros de dicha distribución se obtiene por medio de un modelo de ranking ajustado diseñado en Excel y también se obtuvieron con Python.

Con respecto a las proyecciones, estas se realizan sobre un modelo en Excel, con horizonte de tiempo de 12, 24 y 36 meses. El modelo entrega proyecciones de cambio de componentes de manera imprevista(por falla) y resultados para cambios programados por cumplimiento de TBO.

Para complementar las proyecciones, se incorpora la valorización en términos de costos de reparación de estos componentes, con lo que se proyecta un costo total de US\$3,230,000, fortalecer la importancia de la gestión de reparación de componentes y como cobra valor contar con una estrategia de reparaciones, que permita controlar y asegurar el funcionamiento de los equipos que utilizan este tipo de componentes.

Finalmente se entrega una propuesta de Estrategia de Reparables, cuya función es poder unificar todo lo mencionado en este estudio

Capítulo 1

Introducción

En el último tiempo, las grandes compañías mineras que operan en Chile se encuentran en un proceso transformación, buscando adaptar las nuevas tecnologías orientadas a la continuidad operacional de cada una de sus áreas, y en este estudio, se abordará un problema transversal para todas las operaciones mineras a rajo abierto, relacionado a los ítem de costos de mantenimiento de una de sus actividades, “la reparación de componentes”.

Dentro de las actividades de mantenimiento, la actividad de cambio y reparación (o sustitución) de componentes, que puede ser una actividad programada o por falla imprevista, se lleva a cabo en todas las áreas de operación, ya sea planta, carguío o extracción, y cada vez que se retira o desmonta un componente (definido como reparable) de un equipo, este debe ser gestionado para ser enviado a algunos de los centros o talleres de reparación, donde estos son reparados bajo la política de “reparar un componente con las condiciones de uno nuevo”, esto se establece como base para los análisis de confiabilidad de sus equipos y los Forecast anuales, porque cuando la sustitución (o cambio) ocurre, los tiempos de fallas serán independientes e idénticamente distribuidos, con lo cual pueden ser ordenados para ajustar alguna distribución estadística estándar (Pascual J (2020)), pero esta política solo es una promesa de valor por parte del presta-

dor del servicio de reparaciones.

Cada compañía cuenta con un departamento o área encargada de evaluar y gestionar las reparaciones o sustituciones de sus componentes, como también de revisar, evaluar y aprobar los presupuestos de reparación (lo que se define como gestión de reparación de componentes), ya que a medida que aumenta la utilización de sus equipos esto disminuye la vida útil o el ciclo de operación de sus componentes, dado que los equipos sufren un deterioro y desgaste a medida que acumulan horas de operación (Arata Andreani et al. (2005)), y con ello el aumentan los presupuestos de las reparaciones.

Por otro lado, a pesar de que la gestión de reparación de componentes es una actividad que realizan todas las compañías mineras, la metodología o el proceso de su toma de decisión es diferente para cada una de ellas, ya que cada una establece sus propios criterios para definir ciclos de cambios para sus componentes, y modelos de stock propios o de pooling, una vez que cumple el ciclo, el componente es retirado del equipo y se cambia por uno nuevo o uno reparado, a este ciclo se define como TBO, por sus siglas en ingles Time Between Overhaul (tiempo medio cambio), pero dependerá de la estrategia de cada compañía. Sin embargo, la problemática es la misma, ¿Como establecer un TBO adecuado, en términos de confiabilidad de reparación y costo de presupuesto?, donde lo principal para este análisis comparativo son los datos históricos que se tengan registro, ya que mientras mayor sea la calidad de los datos, más simple será su identificación, mejor será el control sobre los costos de intervención y de falla (Pascual J (2020)), y desde el punto de vista de los costos de ciclo de vida de un componente, se debe tener en cuenta siempre que los costos de operación pueden estar fuertemente influenciados por las detenciones no programadas (Arata Andreani et al. (2005)). Pero ahora desde el punto de vista de la confiabilidad, ¿existe algún procedimiento que permita evaluar cuanto stock se requiere de un tipo componente?, y si existe ¿cuáles son los criterios o requisitos que establecen la cantidad de reparaciones que puede soportar un componente?, esto último es de vital importancia, ya que en

ocasiones el criterio puede variar de acuerdo a las condiciones geográficas y climáticas de una faena minera, los que toman las decisiones deben tener en cuenta el entorno en el que se mueve el personal de mantenimiento (Knezevik (1996)), y finalmente ¿en términos de producción, es mejor un modelo de pooling o de stock propio?.

Para contar con un proceso asertivo de proyecciones de cambio de componente o un modelo consistente, debe considerar los factores mas relevantes que afectan directamente en su funcionamiento y confiabilidad, como por ejemplo:

- Fallas Prematuras
- Desgaste de piezas
- Obsolescencia
- Tiempo de funcionamiento sin falla

Para poder categorizar o analizar los eventos que afecta el funcionamiento de un componente se debe contar con tácticas que permitan mantener o controlar cualquier desviación posible en su correcto funcionamiento o extensión de su vida útil, como por ejemplo:

- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Proactivo
- Mantenimiento correctivo

Desde el punto de vista de la operación, los cambios de componentes traen un impacto significativo, ya sea negativo o positivo, en el cumplimiento de metas productivas, como en costos por perdida de negocio, en seguridad, por lo que se deben gestionar de manera efectiva y eficiente, para que de esta forma puedan aumentar la confiabilidad

o prolongar la vida útil de un activo, disminuyendo los impactos en disponibilidad y rendimiento de un equipo.

La reparación de componentes es un factor muy importante para mantener la confiabilidad y eficiencia de los equipos, ya que una identificación oportuna basado en las tácticas de mantenimiento mencionadas, orientadas a gestionar el activo, permite asegurar la continuidad operacional. Sin embargo el desafío crítico esta relacionado con tener una Estrategia de Reparables, que incluya a todas las áreas que participan del proceso, y que no permita que las contingencias operacionales de la operación propiamente tal, obligue a incumplir dicha estrategia. Desde lo contractual, cualquier ambigüedad genera conflictos en el funcionamiento del contrato, al no tener criterios claros para determinar cuándo se debe realizar una reparación, quién debe asumir los costos y cuál es el alcance de los servicios incluidos. Esto a menudo conduce a disputas entre las empresas mineras y los proveedores de servicios de reparación

Finalmente, es fundamental desarrollar una estrategia de Reparables transversal que integre la proyección de falla precisa, la claridad en los contratos de reparación y la colaboración interdepartamental. Esto garantizará que las reparaciones se realicen de manera eficiente, prolongando la vida útil de los componentes y reduciendo los costos operativos.

Capítulo 2

Objetivos

2.1 Objetivo general

- Desarrollar una estrategia de reparaciones de componentes mediante un método efectivo de proyección basado en un modelo de confiabilidad.

2.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información histórica de cambio de motores eléctricos
- Desarrollar un modelo de ranking ajustado en excel y Python, para obtener parámetros de Forma β y escala α para la distribución Weibull
- Desarrollar un modelo de proyección de cambio de componentes basado en un modelo de confiabilidad
- Comparar los resultados de proyecciones obtenidas mediante un modelo de ranking ajustado en excel y los parámetros obtenidos mediante programación en Python
- Estimar stock de componentes necesarios para cubrir demanda de cambio de

componentes, para la proyección realizadas con la confiabilidad obtenida

- Definir aspectos claves para el desarrollo de una estrategia de reparación de componentes reparables

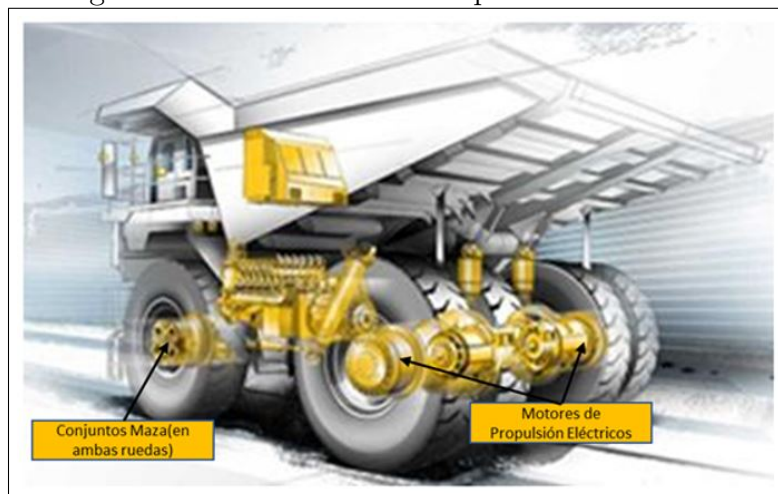
Capítulo 3

Alcances

Para este estudio, se consideran los datos históricos de cambios de Motores Eléctricos para de camiones de extracción de propulsión eléctrica (44 camiones en total), presentes en una compañía minera ubicada en la Cuarta Región, que presenta condiciones geográficas de gran altura geográfica.

Los Camiones de Extracción que serán estudiados, operan los 365 días del año, donde se estima como referencia, que estos equipos tienen una disponibilidad física $DF=84\%$ y una utilización igual al 80%

Figura 3.1: Ubicación de Componentes a estudiar



Fuente: www.google.com

El propósito de estudiar el comportamiento de cambio para este tipo de componentes, es por su alto costo de adquisición, ya que representa el 50% del valor de este tipo de camiones, lo que agrega mayor importancia para establecer una estrategia adecuada para asegurar la salud de estos componentes en particular. Adicionalmente, la condición geográfica de alta montaña donde operan estos camiones de extracción, agrega una nivel de desgaste diferente, como también las dificultades logísticas y de almacenamiento, asociadas a la condición climática desde abril a septiembre (de cada año calendario), lo que se define como operación invierno, y que aplica a todas las operaciones mineras.

En la actualidad, las operaciones mineras donde operan este tipo de camiones, cuentan sistema de pooling, donde las compañías mineras pagan cuotas de accesos a estos pool, lo que permite asegurar la disponibilidad de todo tipo de componentes, con niveles de servicios contractuados en contratos de tipo Marc, Full Marc o LPP, los cuales se definirán en el capítulo Marco Teórico. Cabe señalar que el propósito de este estudio no es el comparar que tipo de abastecimiento de componentes es mejor, el enfoque es en establecer estrategia de gestión de reparación basada en la confiabilidad y como puede ser modelado el tipo de cambio de componentes.

Capítulo 4

Marco Teórico

4.1 Sistemas o Componentes Reparables

La mayoría de los equipos modernos se diseñan considerando que necesitarán algún tipo de mantenimiento. En particular, los equipos complejos suelen operar durante largos períodos de tiempo, por lo que se asume que las actividades de mantenimiento y reparación son parte integral de la experiencia de funcionamiento de estos dispositivos. Un ejemplo común es el automóvil personal, que consta de numerosos componentes, tiene un costo elevado y generalmente se espera que funcione correctamente durante varios años si recibe el mantenimiento adecuado.

Un análisis exhaustivo del funcionamiento de sistemas reparables debe abarcar una amplia gama de comportamientos de equipos. En este contexto, se pueden identificar principalmente dos clases de mantenimiento: el preventivo y el correctivo. Para cada una de estas clases, existen numerosas políticas específicas, y los resultados de la actividad de mantenimiento pueden clasificarse en varias categorías. Además, la actividad de mantenimiento en sí misma se puede representar mediante modelos.

Para comenzar a explorar los modelos del funcionamiento de sistemas reparables, es necesario entender la siguiente definición fundamental:

”Un sistema reparable es una entidad de equipo capaz de ser restaurada a una condición operativa después de una falla. Esta definición, aunque sencilla, permite distinguir claramente entre los modelos que se enfocan en la duración de vida antes de una falla y aquellos que se desarrollan para representar períodos de funcionamiento que pueden abarcar varias fallas y múltiples duraciones de vida.”

4.2 Tasas de Ocurrencia y Renovación

A diferencia de los componentes no reparables, como los circuitos integrados, existe otro tipo de falla. Se puede definir una tasa de renovación que se aplica a sistemas como servidores de red que se reparan después de una falla. Por ejemplo, consideremos una computadora que falla y luego se restaura a su estado original reemplazando la pieza defectuosa por una nueva, que a su vez podría fallar en el futuro. Si la distribución de los tiempos entre fallos sucesivos, conocidos como tiempos entre ocurrencia, es independiente e idénticamente distribuida, entonces tenemos lo que se llama un proceso de renovación (Tobias and Trindade (2011)).

En un contexto de análisis de confiabilidad y reparación de componentes o sistemas, la noción de ”proceso de renovación” es fundamental. Este concepto se refiere a la situación en la que los intervalos de tiempo entre ocurrencias sucesivas de un evento, como las fallas de componentes en un sistema, provienen de la misma distribución de probabilidades que describe la vida útil o el tiempo hasta la falla de dichos componentes.

A modo de ejemplo, si se considera un sistema que consta de varios componentes, como piezas electrónicas en un servidor de red. Cuando uno de estos componentes falla, se lleva a cabo una reparación reemplazando la pieza defectuosa con una nueva. Lo que caracteriza un proceso de renovación es que, después de cada reparación, el

sistema vuelve a su estado original, funcionando como si fuera completamente nuevo. Esto significa que no hay acumulación de efectos de fallas anteriores, y el sistema tiene la misma probabilidad de fallar como lo haría en su primera operación.

La idea detrás de un proceso de renovación es que, en un entorno estable donde los repuestos utilizados para las reparaciones son siempre piezas nuevas de la misma población que los componentes originales, el sistema mantiene su confiabilidad y comportamiento como si estuviera comenzando desde cero cada vez que se realiza una reparación.

Una medida importante en este contexto es la "tasa de renovación" ($Tr(t)$), que representa el número promedio o esperado de fallas por unidad de tiempo en un sistema sujeto a este proceso de renovación. Tanto para contratos de renovación como para aquellos que no implican renovación, la literatura de confiabilidad a menudo utiliza una expresión equivalente llamada ROCOF (Rate of Occurrence of Failures o Tasa de Ocurrencia de Fallas) (Jardine and Tsang (2005)).

Sin embargo, surge una pregunta importante: ¿qué medida de falla es más apropiada utilizar? ¿Debemos emplear la tasa de riesgo, que es la tasa de fallo, o debemos utilizar la tasa de renovación o recurrencia? La elección depende del tipo de componentes que estamos analizando. La tasa de peligro (AFR) se debe utilizar para componentes no reparables, ya que describe la probabilidad de que un componente falle en un momento dado.

Por otro lado, las tasas de renovación son aplicables a situaciones donde se lleva a cabo un proceso de renovación, como en el caso de componentes reparables. En estos casos, se considera la posibilidad de que las piezas reparadas puedan provenir de diferentes lotes de fabricación o períodos, lo que puede resultar en una curva de distribución de vida diferente.

En resumen, la elección entre la tasa de fallo y la tasa de renovación depende del contexto y del tipo de componentes involucrados en el análisis de confiabilidad. La

tasa de renovación se aplica cuando se considera un proceso de renovación en el que los componentes se reparan y vuelven a un estado "como nuevo", mientras que la tasa de fallo se utiliza para componentes no reparables. Ambas medidas son esenciales para comprender y evaluar la confiabilidad de sistemas complejos.

4.3 Distribución de Wibull

La distribución de weibull es comúnmente utilizada para análisis de confiabilidad, ya que describe la evolución de las falla, y es capaz de asimilar varias hipótesis sobre los parámetros y magnitudes que causan las falla (Arata Andreani et al. (2005)).

Esta distribución es muy versátil, por lo que permite modelar una amplia gama de comportamientos de fallas, la distribución de Weibull también se utiliza para estimar la vida útil de equipos y componentes en diversos campos de aplicación. Su capacidad para adaptarse a datos reales y su flexibilidad la convierten en una herramienta esencial para evaluar la confiabilidad de los activos.

El análisis Weibull calcula la confiabilidad en base a tres parámetros como se muestra a continuación.

$$R(t) = e^{\left(\frac{-(t-\gamma)}{\alpha}\right)^\beta} \quad (4.1)$$

Donde:

- β : parámetro de lo forma, la pendiente de la curva, que señala en que segmento de la curva de la bañera se encuentra.
- γ : parámetro de localización inicial, momento a desde donde se genera la distribución.
- α : parámetro de escala, muestra que tan plana es la distribución.

Para obtener el modelo weibull se busca encontrar mediante un modelo de regresión simple los estimadores de MCO (Minimos Cuadrados Ordinarios) α y β , Este proceso se realiza con la finalidad de obtener una representación precisa de la distribución Weibull que caracteriza el comportamiento de los datos en estudio.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \quad (4.2)$$

- y : Variable dependiente,
- x : Variable explicativa,
- β_0 : intercepto,
- β_1 : pendiente y parámetro de forma β

Donde desde los datos historicos se obtiene:

$$\beta_1 = \frac{\sum xy}{\sum x^2} \quad (4.3)$$

Para obtener el parámetro de escala α , se calcula de la función de regresión lineal:

$$\alpha = e^{\left(\frac{\beta_0}{\beta_1}\right)} \quad (4.4)$$

$$\beta_0 = Y - \beta_1 X \quad (4.5)$$

Para el parámetro β_1 , es necesario saber si es significativo para el modelo y luego poder estimar el intervalo de confianza, en el cual podría encontrarse su valor real
Intervalo de confianza al 95% Para esto, se debe calcular el estadístico "t", donde:

Estadístico:

$$t = \frac{\hat{\beta}_1 - E[\hat{\beta}_1]}{\sqrt{var\hat{\beta}_1}} \quad (4.6)$$

Se debe comparar con t de la tabla T Student:

$$t_{\frac{\alpha}{2}}(n - k) \quad (4.7)$$

n: tamaño de la muestra = 86 k: número de parametros (para este estudio k=2) $\alpha=5$

4.3.1 Intervalo de confianza

Un intervalo de confianza nos va a permitir calcular dos valores alrededor de una media muestral (uno superior y otro inferior). Estos valores van a acotar un rango dentro del cual, con una determinada probabilidad, se va a localizar el parámetro poblacional. En el contexto de este estudio, se empleará la herramienta Minitab para calcular estos intervalos de confianza de manera confiable y respaldar las conclusiones basadas en datos estadísticos. La utilización de intervalos de confianza contribuye significativamente a la robustez y la solidez de los resultados obtenidos, permitiendo una comprensión más completa de la variabilidad y la incertidumbre en los datos analizados.

$$\left[\hat{\beta}_1 - t_{\frac{\alpha}{2}} * S_{\hat{\beta}_1} \leq \beta_1 \leq \hat{\beta}_1 + t_{\frac{\alpha}{2}} * S_{\hat{\beta}_1} \right] \quad (4.8)$$

La modalidad de falla de un componente varía según aumenta su vida útil, y es pertinente tener claro cómo y cuándo es posible realizar un análisis Weibull, y qué se necesita para comenzar el análisis. En un inicio, es fundamental calcular los parámetros clave que brindarán una visión completa del comportamiento del componente a lo largo del tiempo. Para la primera parte será necesario calcular función de densidad de falla $f(t)$, la probabilidad de falla acumulada $F(t)$, la confiabilidad $R(t)$ y la tasa de falla $\lambda(t)$, y se definen a continuación.

4.3.2 Función de densidad de falla $f(t)$

Se define como la tasa instantánea de falla en un momento específico de tiempo t.

En otras palabras, describe la probabilidad de que un componente falle en un intervalo de tiempo muy pequeño alrededor de t , considerando que el componente ha funcionado hasta ese momento sin fallar.

Para calcular la densidad de falla, se recopila el número o cantidad de fallos, representados como “ n_i ”, que ocurren durante un intervalo de tiempo particular, denominado “ i ”. En términos más sencillos, se analiza cuántos fallos se producen en un intervalo de tiempo específico en relación con el total de fallos registrados .

$$f(t) = \frac{n_i}{N} \quad (4.9)$$

La densidad de falla $f(t)$, proporciona una visión detallada de cómo evolucionan las probabilidades de fallo a medida que transcurre el tiempo. La función $f(t)$ es una herramienta utilizada para evaluar la confiabilidad de los componentes y sistemas a lo largo de su ciclo de vida útil.

4.3.3 Probabilidad acumulada de falla $F(t)$

Probabilidad de que un sistema o componente falle dentro de hasta un instante de tiempo t , o no tenga buen funcionamiento hasta ese instante, se refiere a la probabilidad de que un sistema o componente experimente una falla dentro de un período de tiempo específico, o bien, la probabilidad de que el componente no funcione de manera confiable hasta ese momento en particular. Esta medida se obtiene al acumular las probabilidades de falla a lo largo del tiempo, lo que permite evaluar el rendimiento de un componente en función de su vida útil

$$F(t) = \sum_{i=1}^n f(t) \quad (4.10)$$

En términos más amplios, $F(t)$ nos proporciona información sobre la confiabilidad de un componente en un instante dado t . Si $F(t)$ es cercano a 1, significa que el

componente tiene una alta probabilidad de estar funcionando sin problemas hasta ese momento. Por otro lado, si $F(t)$ es cercano a 0, implica que el componente tiene una alta probabilidad de haber experimentado una falla antes de t .

4.3.4 Confiabilidad $R(t)$

Es la probabilidad de que un elemento o sistema funcione sin averiarse durante un tiempo determinado t , o bien, $R(t)$ representa la probabilidad de que el elemento en cuestión opere de manera confiable y sin problemas en las condiciones de diseño durante un tiempo determinado.

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (4.11)$$

Desde una perspectiva matemática, $R(t)$ se calcula como el complemento de la probabilidad acumulada de falla $F(t)$. Esto significa que si conoce $F(t)$, entonces la probabilidad de que el componente funcione correctamente en el tiempo t , simplemente a 1 se resta $F(t)$ para obtener $R(t)$. Cuanto más cercano a 1 sea el valor de $R(t)$, mayor será la confiabilidad del elemento en estudio.

Tanto la Probabilidad acumulada de Falla $F(t)$, como la Función de Confiabilidad $R(t)$, varían según el parámetro de forma β . A continuación se muestran las expresiones para dichas funciones según el valor de β :

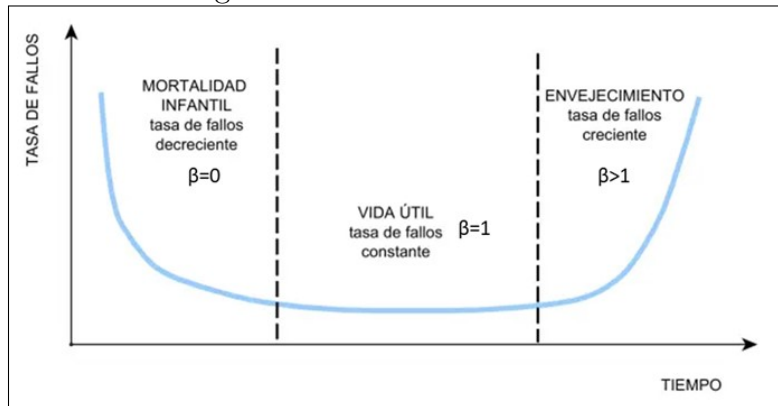
Figura 4.1: Funciones de Confiabilidad y MTBF

$0 < \beta < 1$	$\beta = 1$	$\beta > 1$
$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt$	$R(t) = e^{-\lambda t}$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$
$MTBF = \mu$	$MTBF = \frac{1}{\lambda}$	$MTBF = \alpha \Gamma\left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right)$

Fuente Elaboración Propia

El valor del parámetro β en la distribución Weibull, es únase utiliza para determinar en qué punto de la curva de la bañera se encuentra un activo. La curva de la bañera es una representación gráfica que muestra la tasa de fallas en función del tiempo, y se divide en tres regiones clave: la región de "falla temprana", la región de "vida útil aleatoria" y la región de "desgaste".

Figura 4.2: Curva de la Bañera



Fuente: [mantenimientoindustrialweb](http://mantenimientoindustrialweb.com)

4.3.5 Tasa de falla $\lambda(t)$

Es la probabilidad de que el componente o sistema que ha funcionado de manera correcta hasta un instante de tiempo " t " (definido), falle inmediatamente el periodo de tiempo sucesor " $t+\Delta t$ ".

La tasa de falla $\lambda(t)$, en el contexto de la distribución Weibull y el análisis de confiabilidad, representa la probabilidad instantánea de que un componente o sistema, que ha estado funcionando correctamente hasta un momento específico en el tiempo, falle inmediatamente en el siguiente intervalo de tiempo Δt .

En consecuencia, $\lambda(t)$ es una medida de la rapidez con la que se espera que ocurra una falla en el componente en el momento t . Si $\lambda(t)$ es alto en un momento dado, indica que la probabilidad de que ocurra una falla en ese momento es significativamente mayor.

Por el contrario, si $\lambda(t)$ es bajo, sugiere que la probabilidad de falla en ese momento es relativamente baja.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t-1)} \quad (4.12)$$

La elección de la distribución de Weibull como modelo de análisis es fundamentada por varias razones.

1. En primer lugar, la distribución de Weibull es una herramienta poderosa en el análisis de confiabilidad debido a su capacidad para adaptarse a una amplia gama de comportamientos de fallas
 2. se destaca por complementar a las distribuciones normales y exponenciales, que son casos particulares de la distribución Weibull.
- . El propósito de utilizar la distribución de weibull, es debido a que complementa a la distribución normal y exponencial, que son los casos particulares de esta, y por la independencia entre los datos de eventos sucesivos, lo que significa que cada evento de falla no depende de los anteriores. Esta suposición es fundamental para el análisis de la probabilidad de falla en diferentes momentos en el tiempo "t".

Sin embargo, para poder establecer la correlación entre sí, y asegurar que el parámetro de forma β_1 , pueda explicar el modelo en su conjunto, se realiza el arreglo para linealidad, y en ves de realizar una proyección lineal, lo que se hace es modelar la probabilidad de ocurrencia de fallas en diferentes instantes de tiempo "t", por lo que se realiza una transformación logarítmica utilizando los parámetros de la distribución Weibull (α y β)

$$\widehat{H.Op} = -\alpha * Ln(aleatorio)^{\left(\frac{1}{\beta}\right)} \quad (4.13)$$

Donde $\widehat{H.Op}$, corresponde a las Horas operacionales simuladas

4.4 Estrategia

4.4.1 Definición

La noción tradicional de estrategia se arraiga en el arte de la guerra, donde se delinean planes meticulosos para coordinar el movimiento de tropas y flotas con el objetivo de prevalecer sobre el enemigo. El término "estrategia" tiene sus raíces en el griego "strategos", que significa "guiar un ejército" (Rubin de Celis (2017)).

En el ámbito empresarial, se han acuñado diversas definiciones alternativas de estrategia, si bien la más común la concibe como un patrón que abarca objetivos, propósitos, metas, políticas y planes diseñados para la consecución de esos objetivos (Andrews (1987)). Si bien no existe un consenso universal respecto al concepto de estrategia. Sin embargo, es posible proponer una definición:

"Estrategia es el conjunto sinérgico de metas, objetivos, planes y programas, así como la asignación precisa, eficaz y eficiente de recursos, con la finalidad de obtener una Ventaja Competitiva Sustentable a lo largo del tiempo (Rubin de Celis (2017))."

La definición de estrategia presentada es aplicable y relevante en el ámbito de la estrategia de reparación de componentes, la importancia de establecer metas, objetivos, planes y programas, así como la asignación eficiente de recursos. Esto es esencial en la estrategia de reparación de componentes, ya que implica establecer objetivos claros para la reparación de componentes dañados o defectuosos, diseñar planes de acción específicos para lograr esas metas y asegurar la asignación efectiva de recursos, como mano de obra especializada, repuestos y herramientas.

4.5 Mantenimiento y Tipos de Contratos

4.5.1 Mantenimiento

Este estudio se enfoca en una de las actividades del proceso de mantenimiento, comenzar definiendo lo que significa mantenimiento. "El mantenimiento se define como un conjunto sistemático de actividades planificadas y ejecutadas con el propósito fundamental de garantizar que un sistema o equipo se conserve en un estado funcional óptimo durante su ciclo de vida. Estas actividades incluyen inspección, reparación, reemplazo de componentes, lubricación y otras tareas programadas. El mantenimiento se organiza en dos categorías principales: mantenimiento preventivo, que busca prevenir fallos y mantener la confiabilidad, y mantenimiento correctivo, que se enfoca en restaurar la operatividad después de una falla. El objetivo es maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los activos al tiempo que se minimizan los costos" (Palmer (2005)).

En la actualidad, la prestación de servicios de mantenimiento en la industria minera se encuentra predominantemente a cargo de los fabricantes conocidos como OEM (Original Equipment Manufacturer), quienes además ofrecen servicios de reparación de componentes. En el contexto de la minería, se considera como componente a cualquier elemento que posea un ciclo de vida definido, sea susceptible de ser reparado y cuyo reemplazo sea parte integral de las operaciones rutinarias.

Dentro del alcance de este estudio, se enfocará en las reparaciones cuya finalidad es restituir un componente a un estado de funcionamiento equivalente al de uno nuevo, sin comprometer la confiabilidad del equipo en el que será instalado.

En lo que respecta a los camiones de extracción utilizados en la industria minera, las empresas tienen a su disposición tres alternativas para llevar a cabo su mantenimiento:

1. **Mantención Internalizada:** personal 100% propio de la compañía minera ejecuta las labores de mantenimiento y cambio de componentes

2. Mantenimiento Externalizada: personal 100% externo de la compañía minera ejecuta las labores de mantenimiento y cambio de componentes

Asimismo, existe la posibilidad de optar por diversas combinaciones entre el mantenimiento interno y externo, así como la gestión de cambios de componentes. Estas combinaciones pueden variar y adaptarse según las necesidades y recursos de la empresa.

El objetivo central de este estudio radica en la creación de un modelo de proyección de cambio de componentes que permita visualizar la importancia de una estrategia de componentes reparables, que de ahora en adelante se describirá como "Estrategia de Reparables". Entonces, a través de este modelo, se busca proporcionar una estrategia de reparación sólidamente fundamentada que pueda satisfacer las necesidades y expectativas de todas las áreas involucradas en el proceso de reparación de componentes.

Este enfoque integral se orienta a garantizar que la estrategia de reparación no solo sea eficaz desde el punto de vista técnico, sino que también sea compatible con las metas y requisitos de todas las áreas y departamentos que participan en el proceso. La importancia de esta perspectiva radica en la necesidad de lograr un equilibrio entre la confiabilidad, los costos, los tiempos de inactividad y otros factores clave que influyen en el rendimiento general de la operación (Payant and Lewis (2007)).

Por lo tanto, el desafío de diseñar una estrategia de reparación que optimice el ciclo de vida de los componentes, minimice los costos y, al mismo tiempo, garantice la satisfacción y el cumplimiento de los objetivos de todas las áreas y partes interesadas involucradas en el proceso de reparación. En última instancia, se busca conciliar y armonizar los intereses y necesidades de todas las áreas para lograr un enfoque eficiente y efectivo en la gestión de reparación de componentes.

4.5.2 Administración de Contratos

La administración de contratos es una disciplina crucial en la gestión de servicios de

mantenimiento, y debe ser abordada con una comprensión clara de su naturaleza, la cual es principalmente técnica en lugar de legal. Su objetivo fundamental radica en asegurar que los contratos se ejecuten eficazmente y que los términos y condiciones acordados se cumplan rigurosamente. Este proceso se apoya en actividades de control y seguimiento, haciendo uso de indicadores clave de desempeño (KPIs) y evaluando el progreso y el cumplimiento de hitos contractuales, entre otras responsabilidades relacionadas. Sin embargo, es esencial resaltar que la determinación de si un contratista ha violado los términos del contrato de tal manera que justifique emprender acciones legales recae en la competencia del departamento legal, siempre y cuando el administrador de contratos haya presentado una documentación completa y precisa de todos los hechos relacionados con posibles infracciones.

La función de administración de contratos se descompone en seis áreas principales, cada una de las cuales desempeña un papel vital en el proceso de contratación y ejecución del contrato:

1. **Organizar y participar en el proceso de licitación o negociación:** En esta etapa inicial, se lleva a cabo la preparación y organización del proceso de licitación o negociación. El administrador de contratos desempeña un papel esencial al asegurar que se definan con claridad los requisitos, objetivos y condiciones del contrato antes de avanzar en la selección del contratista.
2. **Evaluación de las posturas u ofertas de precios negociados:** Durante esta fase, se realiza una evaluación detenida de las propuestas o posturas presentadas por posibles contratistas. Esto implica un análisis exhaustivo de los aspectos financieros y técnicos de las ofertas para determinar la opción más adecuada de acuerdo con los criterios establecidos.
3. **Selección de un contratista:** Basándose en una evaluación objetiva de las propuestas, se procede a seleccionar al contratista que mejor se ajuste a los requisitos

y condiciones del contrato. Esta elección debe estar respaldada por un proceso transparente y debidamente documentado.

4. **Negociación de órdenes de cambio y reclamos:** A lo largo de la ejecución del contrato, pueden surgir necesidades de modificar los términos o enfrentar reclamos por parte del contratista. El administrador de contratos desempeña un papel fundamental en la negociación de estas órdenes de cambio y en la resolución de reclamos de manera justa y eficiente.
5. **Procesamiento de comprobantes de progreso para pago:** Esta área se enfoca en la verificación y aprobación de los comprobantes de progreso presentados por el contratista para su correspondiente pago. Es de suma importancia asegurarse de que los entregables hayan sido cumplidos antes de autorizar los pagos.
6. **Supervisión del proceso de inspección:** El administrador de contratos supervisa el proceso de inspección para garantizar que el contratista cumpla con los estándares de calidad y los plazos establecidos en el contrato. Esto implica coordinar actividades de control y seguimiento, así como resolver posibles problemas en tiempo real.

Es crucial evitar que el administrador de contratos se involucre inadvertidamente en decisiones que son responsabilidad de los departamentos jurídico o contable. Para lograr una gestión efectiva, se requiere una colaboración estrecha entre todas las partes involucradas y una comprensión precisa de los límites de las responsabilidades de cada función.

Para asegurar que un contrato sea legalmente vinculante y cumpla con todos los requisitos aplicables de organizaciones, entidades estatales, federales, municipales y agencias reguladoras, se recomienda dividir los documentos contractuales en dos secciones: requisitos legales o "repetitivos" y requisitos técnicos o declaración de trabajo.

De esta manera, se pueden desarrollar formatos estándar para los requisitos legales que sean aplicables a diversos tipos de trabajo requeridos por la organización. Estos formatos se pueden incorporar posteriormente a las especificaciones técnicas preparadas por el administrador, resultando en un formato de contrato completo y satisfactorio.

En relación con la función de contabilidad, los administradores de contratos deben entender que su principal función es certificar que los servicios requeridos han sido ejecutados por el contratista de acuerdo con los términos contractuales y que el contratista tiene derecho a recibir una compensación justa por dicho trabajo.

4.5.3 Tipos de Contratos

Cada una de las opciones descritas, cuentan con un nivel de riesgo asociado, y este varía según el tipo de contrato de servicio de mantenimiento, y los principales modalidades de contratos son:

- **Contrato LPP (Labor Plus Parts):** La modalidad LPP consiste en un servicio para brindar mantenimiento integral. Este servicio incluye mano de obra y todo el equipo necesario para respaldar el servicio. Los repuestos necesarios dentro de las operaciones son adquiridos por cliente para lo cual la empresa que presta el servicio ofrece un respectivo convenio de repuestos acorde a los requerimientos que se pueda presentar. En este tipo de contrato, los costos por reparación de componentes son absorbidos por el cliente, y se cobran contra presupuesto. Para este tipo de contratos, el ciclo de cambio de componentes se denomina ACL, del inglés Average Component Life
- **Contratos Marc o Full Marc:** Un contrato MARC consiste en un servicio de mantenimiento y reparación integral para la flota de equipos. Este servicio incluye repuestos, mano de obra, reparación de componentes y todo el equipo necesario para respaldar el servicio. El prestador del servicio, a través de este acuerdo de

servicio tiene una mayor responsabilidad sobre el mantenimiento y reparación de los equipos y al mismo tiempo un compromiso garantizado de la disponibilidad de la flota, de tal forma que el cliente pueda maximizar su producción.

Un contrato Full Marc, le permite al cliente enfocarse en su operación, asignándole a la empresa prestadora del servicio, la responsabilidad total del mantenimiento y reparación de la flota, como también los recursos para conceptos como neumáticos, tolvas, lubricantes, etc. En estos tipos de contrato, el costo de reparación de los componentes se encuentra incluido dentro las tarifas del contrato, por lo cual el costo es absorbido por la empresa que presta el servicio, igual que el riesgo, y el ciclo de cambio de componentes se denomina TBO, del inglés Time Between Overhaul.

4.5.4 Riesgos de Contratos de Mantenimiento

Los riesgos asociados a los tipos de contratos de mantenimiento , tienen relación principalmente con los compromisos y responsabilidades asumidos por ambas partes (el proveedor de servicios de mantenimiento y cliente). A continuación, se definen los riesgos asociados a cada uno de estos tipos de contratos:

- **Riesgos Asociados a Contratos LPP (Labor Plus Parts):**

- Disponibilidad de Repuestos y Componentes: Uno de los riesgos principales de los contratos LPP es la disponibilidad oportuna de piezas de repuesto. Si el proveedor no puede suministrar las piezas necesarias a tiempo, podría causar retrasos en el mantenimiento y aumentar el tiempo de inactividad de los equipos.
- Calidad de la Mano de Obra: La calidad de la mano de obra proporcionada por el proveedor es otro riesgo. Si el personal de mantenimiento no está

calificado o no realiza un trabajo de alta calidad, podría llevar a reparaciones inadecuadas aumentando el riesgo de fallas prematuras o imprevistas.

- Costos Variables: Los costos pueden variar según las actividades de mantenimiento ejecutadas, lo que hace que el presupuesto sea menos predecible. Esto puede generar dificultades en la gestión financiera

- **Riesgos Asociados a Contratos MARC (Maintenance and Repair Contract):**

- Dependencia del Proveedor: Al externalizar completamente las actividades de mantenimiento y reparación, la organización se vuelve dependiente del desempeño del proveedor. Si el proveedor no cumple con las expectativas, hay un riesgo significativo de problemas operativos que impactan directamente en la continuidad operacional.
- Costos Fijos: Los contratos MARC a menudo implican costos fijos, lo que significa que la organización debe pagar una tarifa establecida independientemente de la cantidad de trabajo realizado. Esto puede resultar en costos innecesarios si los equipos requieren menos mantenimiento de lo previsto.
- Transferencia de Conocimiento: Cuando se externaliza el mantenimiento, existe el riesgo de que la organización pierda el conocimiento y la experiencia en la gestión de sus activos.

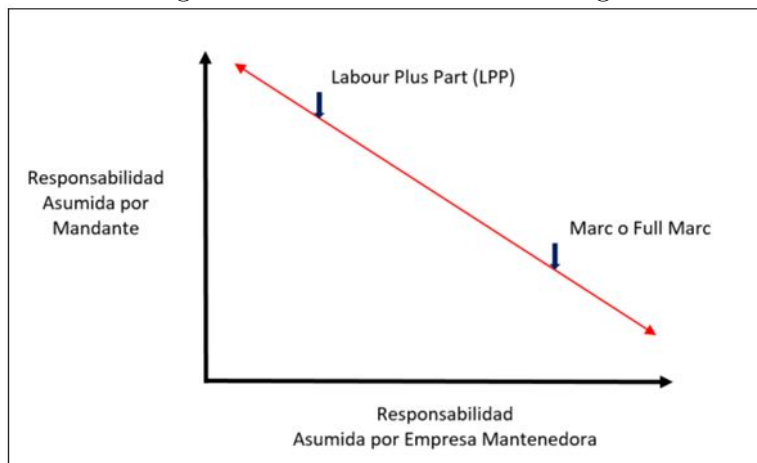
- **Riesgos Asociados a Contratos Full MARC (Full Maintenance and Repair Contract):**

- Dependencia Extrema del Proveedor: Al externalizar completamente la gestión de activos, la organización asume un alto nivel de dependencia del proveedor. Cualquier falla o incumplimiento del proveedor puede tener un impacto significativo en la operación y la continuidad operacional.

- Costos a Largo Plazo: Aunque los contratos Full MARC pueden ofrecer beneficios a largo plazo, como la gestión estratégica de activos, también pueden resultar en costos sustanciales a lo largo de la duración del contrato. La organización debe estar preparada para este compromiso financiero.
- Transferencia de Control: La organización puede perder cierto grado de control sobre sus activos, lo que puede generar preocupaciones sobre la calidad y el rendimiento a largo plazo y como estos impactan en la continuidad operacional.

Para los tipos de contratos de mantenimiento, se puede visualizar de mejor manera el tipo de riesgos según se muestra en la figura 3.1

Figura 4.3: Distribución del Riesgo



Fuente: Elaboración Propia

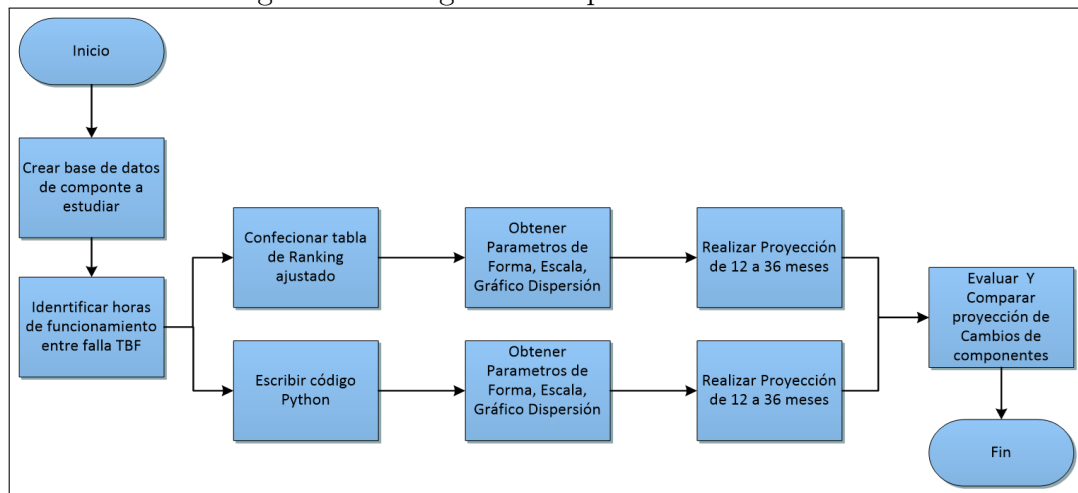
Cabe mencionar, que si bien existen riesgos asociados a los distintos tipos de contratos de servicio de mantenimiento, estos pueden ser minimizados o eliminados, si se establecen clausulas que aseguren el compromiso del proveedor con la continuidad operacional y también dependerá de una buena gestión en la administración de dichos contratos y se deben establecer mecanismos de seguimiento y supervisión para garantizar que el proveedor cumpla con sus obligaciones y que se aborden los riesgos de manera efectiva.

Capítulo 5

Metodología Propuesta

La metodología propuesta, es un simple algoritmo para utilizar la técnica de ranking ajustado, que permita obtener la función de regresión lineal correlacionada, que entregará el valor del parámetro β y el intercepto, con los cuales se obtendrá el parámetro de escala α , y con estos parámetros se obtendrá el MTBF asociado al componente definido. La obtención de estos resultados se obtendrán desde Excel y Python, con el objeto de presentar más de una opción de cálculo, para realizar un modelado de comportamiento del funcionamiento de Motores Eléctricos de Camiones de Extracción

Figura 5.1: Diagrama Simplificado del Proceso



Fuente: Elaboración Propia

Con los resultados obtenidos se procederá a realizar lo siguiente:

- Se entregaran recomendaciones generales para establecer el proceso para la estrategia gestión de reparación de componentes.
- Realizar las proyecciones de cambio, en base a los valores previamente normalizados, mediante valores aleatorios, en Excel y Python,
- Definir un TBO basado en los datos históricos, que permita asegurar una confiabilidad sobre el 60%.
- Calcular costos de reparación para la cantidad de motores eléctricos, que permita satisfacer una demanda anual
- Identificar aspectos claves que se deben considerar para una Estrategia de Reparables
- Definir los cuatro niveles que contiene la Estrategia de Reparables

En Resumen, la metodología se orienta a establecer un modelado que permita visualizar proyecciones para cambios de Motores Eléctricos, ya sea por cumplimiento de TBO o por fallas imprevistas, La información resultante de este modelo se utiliza como base para la formulación y definición de una estrategia de gestión de componentes reparables, en adelante se mencionará como "Estrategia de Reparables"

Capítulo 6

Desarrollo

6.1 Modelo de Confiabilidad

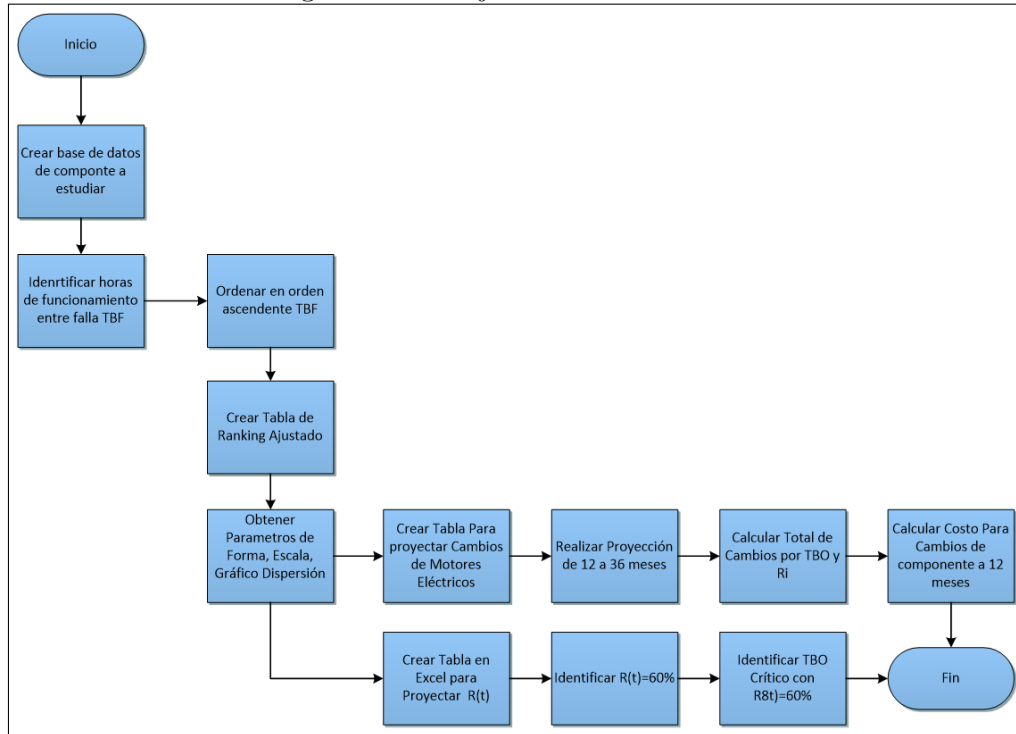
Para la obtención de los parámetros de Confiabilidad, se utilizará la información contenida en Anexo A, correspondiente a las horas de funcionamiento de Motores Eléctricos de Propulsión, de una compañía minera de la Cuarta Región, y tal como se indica en el alcance, los Camiones de Extracción a estudiar, operan los 365 días del año, donde se estima como referencia, que estos equipos tienen una disponibilidad física $DF=84\%$ y una utilización igual al 80%. La razón para tomar en cuenta estos datos de disponibilidad física y utilización es que influyen en la forma en que se registran los tiempos entre fallas. En este contexto, se asume que los tiempos entre fallas están directamente relacionados con los períodos de operación de los componentes.

Se toma como consideración que los tiempos entre falla corresponden a los tiempos de operación del componentes, ya que estos son instalados y retirados de distintos Camiones, y para cada camión en particular, el tiempo de trabajo entre falla corresponde al tiempo de operación del componente en cada camión.

6.1.1 Modelo de Confiabilidad en Excel

Para Desarrollar el modelo para obtener la confiabilidad respectivas para modelar la confiabilidad, se utilizaran los datos contenidos en el Anexo A, específicamente se toman los de horas de operación y se procede a:

Figura 6.1: Flujo Para Modelo Excel



Fuente: Elaboración Propia

A continuación se detalla el paso a paso del Flujo para el Modelo Excel

- Ordenar por Horas de operación entre falla, de mayor a menor
- Se procede a Rankear cada datos, siendo el primero el de menor Horas de operación entre falla R_j , $\forall j, 1 \leq j \leq n$, n =número de datos
- Se ajusta la correlación lineal, para generar la distribución de los datos para la probabilidad acumulada de falla (Rango de la mediana de Bernard): $F(t) = \left(\frac{R_j - 0.3}{n + 0.4} \right)$
- Luego se calcula la confiabilidad $R(t)$, como: $R(t) = 1 - F(t)$

- Posteriormente se linealiza los tiempos de operación entre falla, mediante la aplicación de logaritmo natural "LN", como: $\text{Ln}(t) = \text{Ln}(\text{Horas de operación entre falla})$
- A continuación se procede a linealizar la la función de confiabilidad mediante la aplicación de Logaritmo Natural "LN", para cada celda que contenga información de confiabilidad, de la siguiente forma: $\text{LN}(-\text{LN}(Rt))$ Para los datos de funcionamiento del componente en estudio, se aplican las siguientes formulas en Excel, con lo que finalmente se construye el Anexo B:

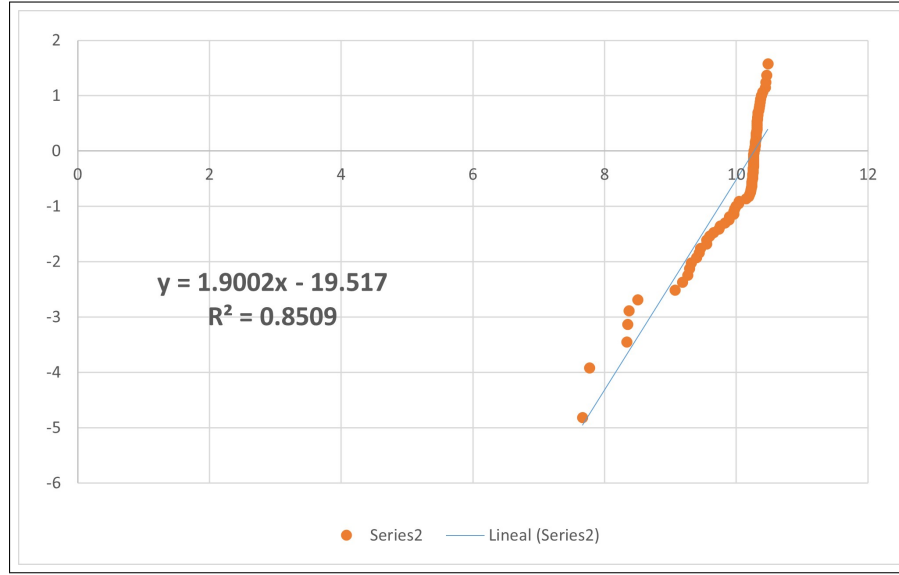
Figura 6.2: Formula para Constuir el Modelo en Excel

Ranking de Falla	F(t)	R(t)	LN(t)	LN(-LN(Rt))
n_i	$=+(n_i-0.3)/(N+0.4)$	$=1-F(t)$	$=\text{LN}(\text{Tiempo hasta la falla})$	$=\text{LN}(-\text{LN}(1-F(t)))$

Fuente: Elaboración Propia

- una vez realizado estos pasos se procede a graficar en dispersión, los valores lineales de confiabilidad en función del tiempo de operación entre falla, osea: $\text{Ln}(-\text{LN}(R(t)))$ v/s $\text{Ln}(t)$, obteniendo el gráfico de dispersión correlacionado.

Figura 6.3: Gráfico de Dispersión



Fuente: Elaboración Propia

- Del gráfico, se obtiene la pendiente que corresponde al parámetro de forma $\beta=1.9002$, y junto con el intercepto (-19.517), se procede a calcular el parámetro de escala α

$$\alpha = e^{\left(\frac{19.517}{1.9002}\right)} = 28604.1 \quad (6.1)$$

- Luego de obtener la confiabilidad, se procede a calcular el Tiempo Medio Entre Falla (MTBF), como

$$MTBF = \alpha * \Gamma\left(\frac{(\beta + 1)}{\beta}\right) = 23,851 \quad (6.2)$$

Como observación, solo para efectos de cálculo en la proyección de valores aleatorios se utiliza un valor de $\beta=1$. La elección de $\beta = 1$ en el análisis tiene un carácter puramente técnico y no debe interpretarse como un valor representativo de la distribución de Weibull en todos los contextos, para evitar que la función de generación de números aleatorios quede como indeterminada y el parámetro de escala se multiplica por la cantidad de camiones, para evitar que la función arroje falsos cambios por imprevistos. Es

importante tener en cuenta que esta elección técnica no afecta la validez del análisis ni su capacidad para proporcionar sobre la confiabilidad, por el contrario, garantiza resultados más confiables en el contexto de este estudio

6.1.2 Resultados Modelo de Proyección Con Parámetros Excel

A continuación se muestra como se distribuyen los resultados en el modelo de proyección desarrollado en Excel tal como se muestra en el Anexo C,

Figura 6.4: Resultado Proyección 12 Meses Modelado de Confiabilidad Excel

Equipo	TBO	Horas Actual	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
			Jan-24	Feb-24	Mar-24	Apr-24	May-24	Jun-24	Jul-24	Aug-24	Sep-24	Oct-24	Nov-24	Dec-24
TKD001	24000	4456	4956	5424	5924	6407	6907	7391	7891	8391	8875	9375	9859	10359
TKD002	24000	11556	12056	12524	13024	13507	14007	14491	14991	15491	15975	16475	16959	17459
TKD003	24000	16095	16595	17063	17563	18046	18546	19030	19530	20030	20514	21014	21498	21998
TKD004	24000	2834	3334	3802	4302	4785	5285	5769	6269	6769	7253	7753	8237	8737
TKD005	24000	14150	14650	15118	15618	16101	16601	17085	17585	18085	18569	19069	19553	20053
TKD006	24000	22095	22595	23063	23563	2	502	986	1486	1986	2470	2970	3453	3953
TKD007	24000	4633	5133	5601	6101	6584	7084	7568	8068	8568	9052	9552	10036	10536
TKD008	24000	712	1212	1680	2180	2663	3163	3647	4147	4647	5131	5631	6115	6615
TKD009	24000	2765	3265	3733	4233	4716	5216	5700	6200	6700	7184	7684	8168	8668
TKD010	24000	14042	14542	15010	15510	15993	16493	16977	17477	17977	18461	18961	19445	19945
TKD011	24000	22429	22929	23397	23897	2	502	986	1486	1986	2470	2970	3453	3953
TKD012	24000	20886	21386	21854	22354	22837	23337	23821	2	502	986	1486	1970	2470
TKD013	24000	852	1352	1820	2320	2803	3303	3787	4287	4787	5271	5771	6255	6755
TKD014	24000	15315	15815	16283	16783	17266	17766	18250	18750	19250	19734	20234	20718	21218
TKD015	24000	20328	20828	21296	21796	22279	22779	23263	23763	2	486	986	1470	1970
TKD016	24000	20010	20510	20978	21478	21961	22461	22945	23445	23945	2	502	986	1486
TKD017	24000	8748	9248	9716	10216	10699	11199	11683	12183	12683	13167	13667	14151	14651
TKD018	24000	15022	15522	15990	16490	16973	17473	17957	18457	18957	19441	19941	20425	20925
TKD019	24000	17993	18493	18961	19461	19944	20444	20928	21428	21928	22412	22912	23396	23896
TKD020	24000	15047	1	469	969	1453	1952	2436	2936	3436	3920	4420	4904	5404
TKD021	24000	1046	1546	2014	2514	2997	3497	3981	4481	4981	5465	1	485	985
TKD022	24000	6036	6536	7004	7504	7987	8487	8971	9471	9971	10455	10955	11439	11939
TKD023	24000	3400	3900	4368	4868	5351	5851	6335	6835	7335	1	501	985	1485
TKD024	24000	7939	8439	8907	9407	9890	10390	10874	11374	11874	12358	12858	13342	13842
TKD025	24000	11022	11522	11990	12490	12973	13473	13957	14457	14957	15441	15941	16425	16925
TKD026	24000	18759	19259	1	501	985	1485	1969	2469	2969	3452	3952	4436	4936
TKD027	24000	22936	23436	23904	2	486	986	1470	1970	2470	2953	3453	3937	4437
TKD028	24000	9893	10393	10861	11361	11844	12344	12828	13328	13828	14312	14812	15296	15796
TKD029	24000	19075	19575	20043	20543	21026	21526	22010	22510	23010	23494	23994	2	502
TKD030	24000	4016	4516	4984	5484	5967	6467	6951	7451	7951	8435	8935	9419	9919
TKD031	24000	22357	22857	23325	23825	2	502	986	1486	1986	2470	2970	3453	3953
TKD032	24000	19987	20487	20955	21455	21938	22438	22922	23422	23922	2	502	986	1486
TKD033	24000	11174	11674	12142	12642	13125	13625	14109	14609	15109	15593	16093	16577	17077
TKD034	24000	20675	21175	21643	22143	22626	23126	23610	2	502	986	1486	1970	2470
TKD035	24000	19033	19533	20001	20501	20984	21484	21968	22468	22968	23452	23952	2	502
TKD036	24000	24986	2	470	970	1454	1953	2437	2937	3437	3921	4421	4905	5405
TKD037	24000	9411	9911	10379	10879	11362	11862	12346	12846	13346	13830	14330	14814	15314
TKD038	24000	16119	16619	17087	17587	18070	18570	19054	19554	20054	20538	21038	21522	22022
TKD039	24000	15045	15545	16013	16513	16996	17496	17980	18480	18980	19464	19964	20448	20948
TKD040	24000	13934	14434	14902	15402	15885	16385	16869	17369	17869	18353	18853	19337	19837
TKD041	24000	23368	23868	2	502	986	1486	1970	2470	2970	3453	3953	4437	4937
TKD042	24000	12005	12505	12973	13473	13956	14456	14940	15440	15940	16424	16924	17408	17908
TKD043	24000	14907	15407	15875	16375	16858	17358	17842	18342	18842	19326	19826	20310	20810
TKD044	24000	7326	7826	8294	8794	9277	9777	10261	10761	11261	11745	12245	12729	13229

De este modo se extrae lo siguiente:

- **Valores = 1**, Representa los cambios asociados a falla del componente, son los casos en los cuales se proyecta que el componente falla antes de cumplir el TBO.

- **Valores = 2**, Representa los cambios realizados de forma programada por cumplimiento de TBO

Finalmente se obtiene los siguientes resultados acumulados, de las proyecciones de cambios programados e imprevistos, que entrega el modelo desarrollado en excel:

Figura 6.5: Resumen Acumulado de Cambios de Motor de Propulsión

Equipo	TBO	Horas Actual	#RI	#PM
TKD001	24000	4456.00	0.00	0.00
TKD002	24000	11556.00	0.00	0.00
TKD003	24000	16095.00	0.00	0.00
TKD004	24000	2834.00	0.00	0.00
TKD005	24000	14150.00	0.00	0.00
TKD006	24000	22095.00	0.00	1.00
TKD007	24000	4633.00	0.00	0.00
TKD008	24000	712.00	0.00	0.00
TKD009	24000	2765.00	0.00	0.00
TKD010	24000	14042.00	0.00	0.00
TKD011	24000	22429.00	0.00	1.00
TKD012	24000	20886.00	0.00	1.00
TKD013	24000	852.00	0.00	0.00
TKD014	24000	15315.00	0.00	0.00
TKD015	24000	20328.00	0.00	1.00
TKD016	24000	20010.00	0.00	1.00
TKD017	24000	8748.00	0.00	0.00
TKD018	24000	15022.00	0.00	0.00
TKD019	24000	17993.00	0.00	0.00
TKD020	24000	15047.00	1.00	0.00
TKD021	24000	1046.00	1.00	0.00
TKD022	24000	6036.00	0.00	0.00
TKD023	24000	3400.00	1.00	0.00
TKD024	24000	7939.00	0.00	0.00
TKD025	24000	11022.00	0.00	0.00
TKD026	24000	18759.00	1.00	0.00
TKD027	24000	22936.00	0.00	1.00
TKD028	24000	9893.00	0.00	0.00
TKD029	24000	19075.00	0.00	1.00
TKD030	24000	4016.00	0.00	0.00
TKD031	24000	22357.00	0.00	1.00
TKD032	24000	19987.00	0.00	1.00
TKD033	24000	11174.00	0.00	0.00
TKD034	24000	20675.00	0.00	1.00
TKD035	24000	19033.00	0.00	1.00
TKD036	24000	24986.00	0.00	1.00
TKD037	24000	9411.00	0.00	0.00
TKD038	24000	16119.00	0.00	0.00
TKD039	24000	15045.00	1.00	0.00
TKD040	24000	13934.00	0.00	0.00
TKD041	24000	23368.00	0.00	1.00
TKD042	24000	12005.00	0.00	0.00
TKD043	24000	14907.00	0.00	0.00
TKD044	24000	7326.00	0.00	0.00

(12 MESES)

Equipo	TBO	Horas Actual	#RI	#PM
TKD001	24000	4456.00	0.00	0.00
TKD002	24000	11556.00	1.00	0.00
TKD003	24000	16095.00	0.00	1.00
TKD004	24000	2834.00	0.00	0.00
TKD005	24000	14150.00	1.00	0.00
TKD006	24000	22095.00	0.00	1.00
TKD007	24000	4633.00	0.00	0.00
TKD008	24000	712.00	0.00	0.00
TKD009	24000	2765.00	0.00	0.00
TKD010	24000	14042.00	0.00	1.00
TKD011	24000	22429.00	0.00	1.00
TKD012	24000	20886.00	0.00	1.00
TKD013	24000	852.00	0.00	0.00
TKD014	24000	15315.00	0.00	1.00
TKD015	24000	20328.00	0.00	1.00
TKD016	24000	20010.00	0.00	1.00
TKD017	24000	8748.00	0.00	0.00
TKD018	24000	15022.00	0.00	1.00
TKD019	24000	17993.00	0.00	1.00
TKD020	24000	15047.00	1.00	0.00
TKD021	24000	1046.00	1.00	0.00
TKD022	24000	6036.00	1.00	0.00
TKD023	24000	3400.00	1.00	0.00
TKD024	24000	7939.00	0.00	0.00
TKD025	24000	11022.00	0.00	0.00
TKD026	24000	18759.00	1.00	0.00
TKD027	24000	22936.00	0.00	1.00
TKD028	24000	9893.00	0.00	0.00
TKD029	24000	19075.00	0.00	1.00
TKD030	24000	4016.00	1.00	0.00
TKD031	24000	22357.00	0.00	1.00
TKD032	24000	19987.00	0.00	1.00
TKD033	24000	11174.00	0.00	0.00
TKD034	24000	20675.00	0.00	1.00
TKD035	24000	19033.00	0.00	1.00
TKD036	24000	24986.00	1.00	1.00
TKD037	24000	9411.00	0.00	0.00
TKD038	24000	16119.00	0.00	1.00
TKD039	24000	15045.00	1.00	0.00
TKD040	24000	13934.00	0.00	1.00
TKD041	24000	23368.00	0.00	1.00
TKD042	24000	12005.00	0.00	0.00
TKD043	24000	14907.00	1.00	0.00
TKD044	24000	7326.00	0.00	0.00

(24 MESES)

Equipo	TBO	Horas Actual	#RI	#PM
TKD001	24000	4456.00	0.00	0.00
TKD002	24000	11556.00	1.00	0.00
TKD003	24000	16095.00	0.00	1.00
TKD004	24000	2834.00	0.00	0.00
TKD005	24000	14150.00	1.00	0.00
TKD006	24000	22095.00	0.00	1.00
TKD007	24000	4633.00	1.00	0.00
TKD008	24000	712.00	0.00	0.00
TKD009	24000	2765.00	1.00	0.00
TKD010	24000	14042.00	0.00	1.00
TKD011	24000	22429.00	0.00	1.00
TKD012	24000	20886.00	0.00	1.00
TKD013	24000	852.00	0.00	0.00
TKD014	24000	15315.00	0.00	1.00
TKD015	24000	20328.00	0.00	1.00
TKD016	24000	20010.00	0.00	1.00
TKD017	24000	8748.00	1.00	0.00
TKD018	24000	15022.00	0.00	1.00
TKD019	24000	17993.00	0.00	1.00
TKD020	24000	15047.00	1.00	0.00
TKD021	24000	1046.00	1.00	0.00
TKD022	24000	6036.00	1.00	0.00
TKD023	24000	3400.00	1.00	0.00
TKD024	24000	7939.00	0.00	1.00
TKD025	24000	11022.00	0.00	1.00
TKD026	24000	18759.00	1.00	0.00
TKD027	24000	22936.00	0.00	1.00
TKD028	24000	9893.00	0.00	1.00
TKD029	24000	19075.00	0.00	1.00
TKD030	24000	4016.00	1.00	0.00
TKD031	24000	22357.00	0.00	1.00
TKD032	24000	19987.00	0.00	1.00
TKD033	24000	11174.00	0.00	1.00
TKD034	24000	20675.00	0.00	1.00
TKD035	24000	19033.00	0.00	1.00
TKD036	24000	24986.00	1.00	1.00
TKD037	24000	9411.00	0.00	1.00
TKD038	24000	16119.00	0.00	1.00
TKD039	24000	15045.00	1.00	0.00
TKD040	24000	13934.00	0.00	1.00
TKD041	24000	23368.00	1.00	1.00
TKD042	24000	12005.00	0.00	1.00
TKD043	24000	14907.00	1.00	0.00
TKD044	24000	7326.00	0.00	1.00

(36 MESES)

Fuente: Elaboración Propia

En relación a la confiabilidad obtenidas a través del modelo en excel, es posible calcular la tasa de falla $\lambda_{weibull}$, para un periodo de tiempo $t=12$ meses:

$$\lambda_{Weibull} = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} = 0.0001167 \text{ por hora} \quad (6.3)$$

Este valor representa la probabilidad instantánea de falla en cualquier instante durante un periodo de 12 meses.

Se debe considerar que el camión utiliza 2 motores eléctricos, y para efectos de simplificación en el calculo, los resultados obtenidos para el componente en posición derecha(RH), multiplicaran por 2, obteniendo como resultado los siguiente:

Figura 6.6: Resumen de Cambios Proyectados Wibull Excel

$\Sigma\#RI$	$\Sigma\#PM$
8	26

(12 MESES)

$\Sigma\#RI$	$\Sigma\#PM$
14	44

(24 MESES)

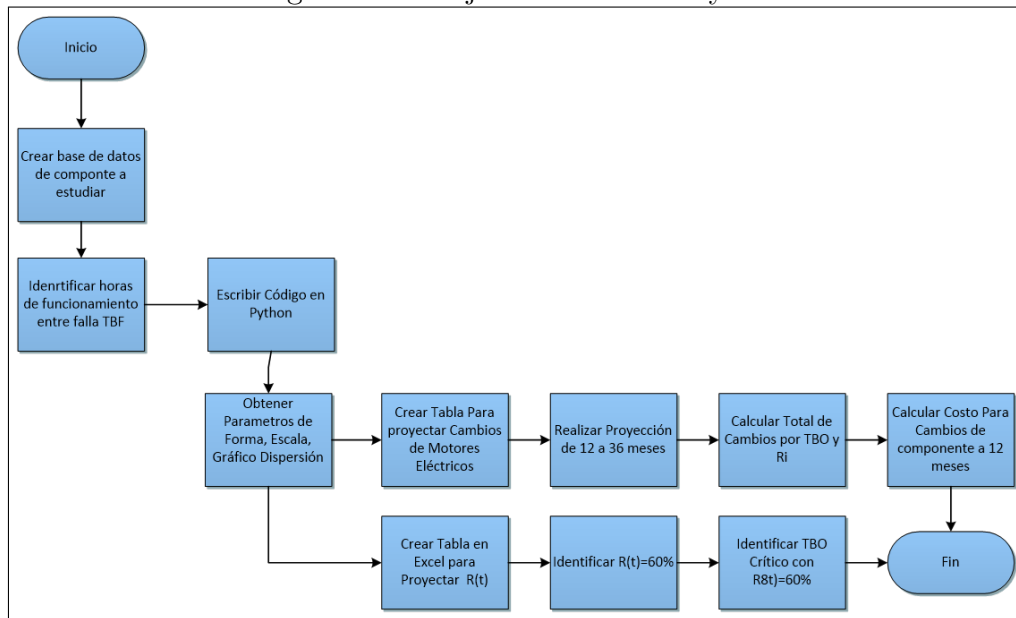
$\Sigma\#RI$	$\Sigma\#PM$
28	58

(36 MESES)

6.1.3 Modelo de Confiabilidad en Python

Para la utilización de Python, se considera la misma lógica que en excel relacionado con la proyección de horas de operación, se utilizara la Tabla contenida en el Anexo B, según el diagrama siguiente:

Figura 6.7: Flujo Para Modelo Python



Fuente: Elaboración Propia

El resumen de los pasos a seguir se muestran a continuación;

1. Se utilizará la tabla de Anexo B

2. luego se escribe el código Python que permita extraer los datos de la tabla
3. el código incluye entregar los resultados de los parámetros de confiabilidad, Función de regresión (MCO) y Gráfico dispersión
4. Luego los datos obtenidos se ingresan a la planilla de proyección
5. Finalmente se obtienen los datos proyectados

Los datos obtenidos desde Python, se muestran a continuación

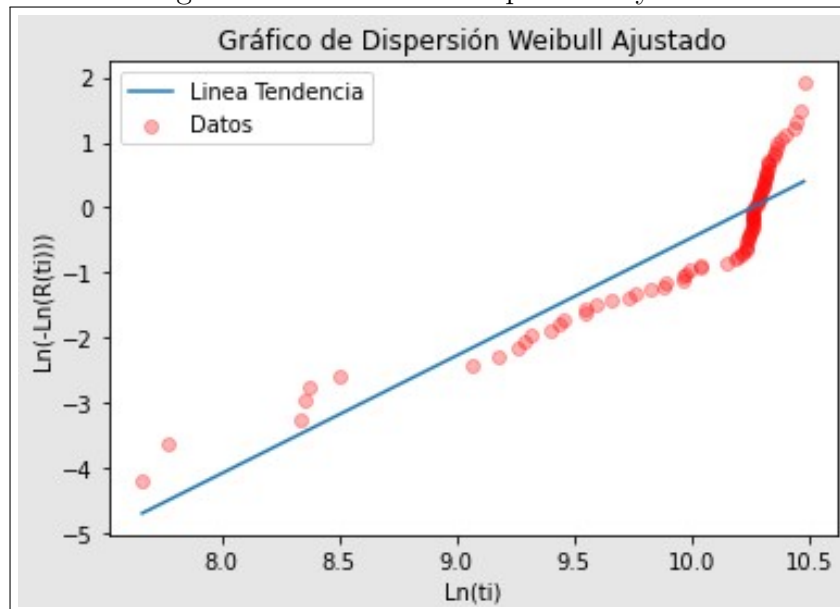
Figura 6.8: Parámetros de Confiabilidad en Python

```
RESULTADOS  
Ecuación de Regresión: 1.81 X + -18.55  
Alpha = 28511.39  
Beta = 1.81  
MTBF = 25349.03
```

Fuente: Elaboración Propia Con Python

Parámetro de forma $\beta=1.81$ y parámetro de escala $\alpha= 28511.39$, estos se utilizarán en el modelo de proyección desarrollado en Excel.

Figura 6.9: Gráfico de Dispersión Python



Fuente: Elaboración Propia

Al igual que en el caso anterior, solo para efectos de cálculo en la proyección de valores aleatorios se utiliza un valor de $\beta=1$, para evitar que la función de generación de números aleatorios quede como indeterminada, se utilizan la confiabilidad obtenida mediante Python y se agregan en el modelo de proyección excel.

6.1.4 Resultados Modelo de Proyección Con Parámetros Python

A continuación se muestra como se distribuyen los resultados en el modelo de proyección desarrollado en Excel tal como se muestra en el Anexo F.

Figura 6.10: Resultado Proyección 12 Meses Parámetros Python

Equipo	TBO	Horas Actual	#RI	#PM	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
					Jan-24	Feb-24	Mar-24	Apr-24	May-24	Jun-24	Jul-24	Aug-24	Sep-24	Oct-24	Nov-24	Dec-24
TKD001	24000	4456	0	0	4956	5424	5924	6407	6907	7391	7891	8391	8875	9375	9859	10359
TKD002	24000	11556	0	0	12056	12524	13024	13507	14007	14491	14991	15491	15975	16475	16959	17459
TKD003	24000	16095	0	0	16595	17063	17563	18046	18546	19030	19530	20030	20514	21014	21498	21998
TKD004	24000	2834	0	0	3334	3802	4302	4785	5285	5769	6269	6769	7253	7753	8237	8737
TKD005	24000	14150	1	0	14650	15118	15618	16101	16601	1	501	1001	1485	1985	2469	2969
TKD006	24000	22095	0	1	22595	23063	23563	2	502	986	1486	1986	2470	2970	3453	3953
TKD007	24000	4633	0	0	5133	5601	6101	6584	7084	7568	8068	8568	9052	9552	10036	10536
TKD008	24000	712	0	0	1212	1680	2180	2663	3163	3647	4147	4647	5131	5631	6115	6615
TKD009	24000	2765	0	0	3265	3733	4233	4716	5216	5700	6200	6700	7184	7684	8168	8668
TKD010	24000	14042	0	0	14542	15010	15510	15993	16493	16977	17477	17977	18461	18961	19445	19945
TKD011	24000	22429	0	1	22929	23397	23897	2	502	986	1486	1986	2470	2970	3453	3953
TKD012	24000	20886	1	0	21386	1	501	985	1485	1969	2469	2969	3452	3952	4436	4936
TKD013	24000	852	0	0	1352	1820	2320	2803	3303	3787	4287	4787	5271	5771	6255	6755
TKD014	24000	15315	0	0	15815	16283	16783	17266	17766	18250	18750	19250	19734	20234	20718	21218
TKD015	24000	20328	0	1	20828	21296	21796	22279	22779	23263	23763	2	486	986	1470	1970
TKD016	24000	20010	0	1	20510	20978	21478	21961	22461	22945	23445	23945	2	502	986	1486
TKD017	24000	8748	1	0	9248	9716	10216	1	501	985	1485	1985	2469	2969	3452	3952
TKD018	24000	15022	0	0	15522	15990	16490	16973	17473	17957	18457	18957	19441	19941	20425	20925
TKD019	24000	17593	0	0	18493	18961	19461	19944	20444	20928	21428	21928	22412	22912	23396	23896
TKD020	24000	15047	0	0	15547	16015	16515	16998	17498	17982	18482	18982	19466	19966	20450	20950
TKD021	24000	1046	0	0	1546	2014	2514	2997	3497	3981	4481	4981	5465	5965	6449	6949
TKD022	24000	6036	0	0	6536	7004	7504	7987	8487	8971	9471	9971	10455	10955	11439	11939
TKD023	24000	3400	0	0	3900	4368	4868	5351	5851	6335	6835	7335	7819	8319	8803	9303
TKD024	24000	7939	0	0	8439	8907	9407	9890	10390	10874	11374	11874	12358	12858	13342	13842
TKD025	24000	11022	0	0	11522	11990	12490	12973	13473	13957	14457	14957	15441	15941	16425	16925
TKD026	24000	18759	0	1	19259	19727	20227	20710	21210	21694	22194	22694	23178	23678	2	502
TKD027	24000	22936	0	1	23436	23904	2	486	986	1470	1970	2470	2953	3453	3937	4437
TKD028	24000	9893	0	0	10393	10861	11361	11844	12344	12828	13328	13828	14312	14812	15296	15796
TKD029	24000	19075	0	1	19575	20043	20543	21026	21526	22010	22510	23010	23494	23994	2	502
TKD030	24000	4016	0	0	4516	4984	5484	5967	6467	6951	7451	7951	8435	8935	9419	9919
TKD031	24000	22357	0	1	22857	23325	23825	2	502	986	1486	1986	2470	2970	3453	3953
TKD032	24000	19987	0	1	20487	20955	21455	21938	22438	22922	23422	23922	2	502	986	1486
TKD033	24000	11174	0	0	11674	12142	12642	13125	13625	14109	14609	15109	15593	16093	16577	17077
TKD034	24000	20675	0	1	21175	21643	22143	22626	23126	23610	2	502	986	1486	1970	2470
TKD035	24000	19033	0	1	19533	20001	20501	20984	21484	21968	22468	22968	23452	23952	2	502
TKD036	24000	24986	0	1	2	470	970	1454	1953	2437	2937	3437	3921	4421	4905	5405
TKD037	24000	9411	0	0	9911	10379	10879	11362	11862	12346	12846	13346	13830	14330	14814	15314
TKD038	24000	16119	0	0	16619	17087	17587	18070	18570	19054	19554	20054	20538	21038	21522	22022
TKD039	24000	15045	1	0	15545	16013	16513	16996	17496	1	501	1001	1485	1985	2469	2969
TKD040	24000	13934	0	0	14434	14902	15402	15885	16385	16869	17369	17869	18353	18853	19337	19837
TKD041	24000	23968	0	1	23968	2	502	986	1486	1970	2470	2970	3453	3953	4437	4937
TKD042	24000	12005	0	0	12505	12973	13473	13956	14456	14940	15440	15940	16424	16924	17408	17908
TKD043	24000	14907	0	0	15407	15875	16375	16858	17358	17842	18342	18842	19326	19826	20310	20810
TKD044	24000	7326	0	0	7826	8294	8794	9277	9777	10261	10761	11261	11745	12245	12729	13229

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos y análisis previos, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- **Valores = 1**, Representa los cambios asociados a falla del componente, son los casos en los cuales se proyecta que el componente falla antes de cumplir el TBO.
- **Valores = 2**, Representa los cambios realizados de forma programada por cumplimiento de TBO

Finalmente se obtiene los siguientes resultados acumulados, de las proyecciones de cambios programados e imprevistos, que entrega el modelo desarrollado en excel:

Figura 6.11: Resumen Acumulado de Cambios de Motor de Propulsión 2

Equipo	TBO	Horas Actual	#RI	#PM
TKD001	24000	4456.00	0.00	0.00
TKD002	24000	11556.00	0.00	0.00
TKD003	24000	16095.00	0.00	0.00
TKD004	24000	2834.00	0.00	0.00
TKD005	24000	14150.00	1.00	0.00
TKD006	24000	22095.00	0.00	1.00
TKD007	24000	4633.00	0.00	0.00
TKD008	24000	712.00	0.00	0.00
TKD009	24000	2765.00	0.00	0.00
TKD010	24000	14042.00	0.00	0.00
TKD011	24000	22429.00	0.00	1.00
TKD012	24000	20886.00	1.00	0.00
TKD013	24000	852.00	0.00	0.00
TKD014	24000	15315.00	0.00	0.00
TKD015	24000	20328.00	0.00	1.00
TKD016	24000	20010.00	0.00	1.00
TKD017	24000	8748.00	1.00	0.00
TKD018	24000	15022.00	0.00	0.00
TKD019	24000	17993.00	0.00	0.00
TKD020	24000	15047.00	0.00	0.00
TKD021	24000	1046.00	0.00	0.00
TKD022	24000	6036.00	0.00	0.00
TKD023	24000	3400.00	0.00	0.00
TKD024	24000	7939.00	0.00	0.00
TKD025	24000	11022.00	0.00	0.00
TKD026	24000	18759.00	0.00	1.00
TKD027	24000	22936.00	0.00	1.00
TKD028	24000	9893.00	0.00	0.00
TKD029	24000	19075.00	0.00	1.00
TKD030	24000	4016.00	0.00	0.00
TKD031	24000	22357.00	0.00	1.00
TKD032	24000	19987.00	0.00	1.00
TKD033	24000	11174.00	0.00	0.00
TKD034	24000	20675.00	0.00	1.00
TKD035	24000	19033.00	0.00	1.00
TKD036	24000	24986.00	0.00	1.00
TKD037	24000	9411.00	0.00	0.00
TKD038	24000	16119.00	0.00	0.00
TKD039	24000	15045.00	1.00	0.00
TKD040	24000	13934.00	0.00	0.00
TKD041	24000	23368.00	0.00	1.00
TKD042	24000	12005.00	0.00	0.00
TKD043	24000	14907.00	0.00	0.00
TKD044	24000	7326.00	0.00	0.00

(12 MESES)

Equipo	TBO	Horas Actual	#RI	#PM
TKD001	24000	4456.00	0.00	0.00
TKD002	24000	11556.00	0.00	0.00
TKD003	24000	16095.00	0.00	1.00
TKD004	24000	2834.00	0.00	0.00
TKD005	24000	14150.00	1.00	0.00
TKD006	24000	22095.00	0.00	1.00
TKD007	24000	4633.00	0.00	0.00
TKD008	24000	712.00	0.00	0.00
TKD009	24000	2765.00	0.00	0.00
TKD010	24000	14042.00	0.00	1.00
TKD011	24000	22429.00	0.00	1.00
TKD012	24000	20886.00	1.00	0.00
TKD013	24000	852.00	0.00	0.00
TKD014	24000	15315.00	0.00	1.00
TKD015	24000	20328.00	0.00	1.00
TKD016	24000	20010.00	0.00	1.00
TKD017	24000	8748.00	1.00	0.00
TKD018	24000	15022.00	0.00	1.00
TKD019	24000	17993.00	0.00	1.00
TKD020	24000	15047.00	0.00	1.00
TKD021	24000	1046.00	1.00	0.00
TKD022	24000	6036.00	0.00	0.00
TKD023	24000	3400.00	1.00	0.00
TKD024	24000	7939.00	0.00	0.00
TKD025	24000	11022.00	0.00	0.00
TKD026	24000	18759.00	0.00	1.00
TKD027	24000	22936.00	0.00	1.00
TKD028	24000	9893.00	0.00	0.00
TKD029	24000	19075.00	0.00	1.00
TKD030	24000	4016.00	0.00	0.00
TKD031	24000	22357.00	0.00	1.00
TKD032	24000	19987.00	1.00	1.00
TKD033	24000	11174.00	0.00	0.00
TKD034	24000	20675.00	0.00	1.00
TKD035	24000	19033.00	0.00	1.00
TKD036	24000	24986.00	0.00	1.00
TKD037	24000	9411.00	0.00	0.00
TKD038	24000	16119.00	0.00	1.00
TKD039	24000	15045.00	1.00	0.00
TKD040	24000	13934.00	0.00	1.00
TKD041	24000	23368.00	0.00	1.00
TKD042	24000	12005.00	0.00	0.00
TKD043	24000	14907.00	0.00	1.00
TKD044	24000	7326.00	0.00	0.00

(24 MESES)

Equipo	TBO	Horas Actual	#RI	#PM
TKD001	24000	4456.00	0.00	0.00
TKD002	24000	11556.00	0.00	1.00
TKD003	24000	16095.00	0.00	1.00
TKD004	24000	2834.00	0.00	0.00
TKD005	24000	14150.00	1.00	0.00
TKD006	24000	22095.00	0.00	1.00
TKD007	24000	4633.00	0.00	0.00
TKD008	24000	712.00	0.00	0.00
TKD009	24000	2765.00	1.00	0.00
TKD010	24000	14042.00	1.00	1.00
TKD011	24000	22429.00	0.00	1.00
TKD012	24000	20886.00	1.00	0.00
TKD013	24000	852.00	0.00	0.00
TKD014	24000	15315.00	0.00	1.00
TKD015	24000	20328.00	0.00	1.00
TKD016	24000	20010.00	0.00	1.00
TKD017	24000	8748.00	2.00	0.00
TKD018	24000	15022.00	0.00	1.00
TKD019	24000	17993.00	0.00	1.00
TKD020	24000	15047.00	0.00	1.00
TKD021	24000	1046.00	1.00	0.00
TKD022	24000	6036.00	0.00	0.00
TKD023	24000	3400.00	1.00	0.00
TKD024	24000	7939.00	1.00	0.00
TKD025	24000	11022.00	0.00	1.00
TKD026	24000	18759.00	1.00	1.00
TKD027	24000	22936.00	0.00	1.00
TKD028	24000	9893.00	0.00	1.00
TKD029	24000	19075.00	0.00	1.00
TKD030	24000	4016.00	0.00	0.00
TKD031	24000	22357.00	1.00	1.00
TKD032	24000	19987.00	2.00	1.00
TKD033	24000	11174.00	0.00	1.00
TKD034	24000	20675.00	0.00	1.00
TKD035	24000	19033.00	0.00	1.00
TKD036	24000	24986.00	0.00	1.00
TKD037	24000	9411.00	0.00	1.00
TKD038	24000	16119.00	0.00	1.00
TKD039	24000	15045.00	1.00	0.00
TKD040	24000	13934.00	0.00	1.00
TKD041	24000	23368.00	0.00	1.00
TKD042	24000	12005.00	0.00	1.00
TKD043	24000	14907.00	0.00	1.00
TKD044	24000	7326.00	0.00	1.00

(36 MESES)

En relación a los parámetros obtenidos, es posible calcular la tasa de falla $\lambda_{weibull}$, para un periodo de tiempo $t=12$ meses:

$$\lambda_{Weibull} = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} = 0.0001196 \text{ por hora} \quad (6.4)$$

Este valor representa la probabilidad instantánea de falla en cualquier instante durante un periodo de 12 meses.

Se debe considerar que el camión utiliza 2 motores de propulsión eléctrica, y para efectos de simplificación en el calculo, los resultados obtenidos para el componente en posición derecha(RH), multiplicaran por 2, obteniendo como resultado los siguiente:

Figura 6.12: Resumen de Cambios Proyectados Weibull PY

$\Sigma\#RI$	$\Sigma\#PM$
8	26

(12 MESES)

$\Sigma\#RI$	$\Sigma\#PM$
22	40

(24 MESES)

$\Sigma\#RI$	$\Sigma\#PM$
30	54

(36 MESES)

Los resultados obtenidos, en ambos caso, proporcionan una información valiosa para realizar análisis y evaluar futuros cambios de componentes y sus costos asociados, cabe señalar que en la industria, las proyección de presupuestos se realizan con al menos de un año de anticipación, y en algunos casos con horizontes mayores a 5 años, siempre con el propósito de llevar un control tanto de CAPEX y OPEX.

6.1.5 Confiabilidad e Intervalos de Confianza

Para establecer el intervalo de confianza se toma como base la confiabilidad de los motores eléctrico y utilizando software Minitab, se obtiene los siguientes resultados:

Figura 6.13: Intervalo de Confianza

Estadísticas descriptivas				
Error estándar de la				
<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desv.Est.</u>	<u>media IC de 95% para μ</u>	
86	24205	8685	937	(22343, 26067)

μ : media de población de Hora de componente

Fuente: Elaboración Propia Software Minitab

Los resultados obtenidos permiten realizar también la proyección de confiabilidad de funcionamiento para los motores eléctricos, En ambos casos, una vez cumplidas las 20,000 horas de operación, la probabilidad de funcionar correctamente es del 60%, dicho

también de otra forma, al cumplir las 20,000 horas de funcionamiento la probabilidad de falla para estos componentes es del 40%. A continuación se muestra el resumen de confiabilidad obtenidos, utilizando los parámetros de confiabilidad obtenidos mediante el modelo en Excel y Python:

Figura 6.14: Proyección de Confiabilidad

Tiempo	R(t)	F(t)
0	100%	0%
1000	100%	0%
2000	99%	1%
3000	99%	1%
4000	98%	2%
5000	96%	4%
6000	95%	5%
7000	93%	7%
8000	92%	8%
9000	90%	10%
10000	87%	13%
11000	85%	15%
12000	83%	17%
13000	80%	20%
14000	77%	23%
15000	75%	25%
16000	72%	28%
17000	69%	31%
18000	66%	34%
19000	63%	37%
20000	60%	40%
21000	57%	43%
22000	55%	45%
23000	52%	48%
24000	49%	51%
25000	46%	54%
26000	43%	57%
27000	41%	59%
28000	38%	62%
29000	36%	64%
30000	33%	67%
31000	0.31182	0.6882

(Excel)

Tiempo	R(t)	F(t)
0	100%	0%
1000	100%	0%
2000	99%	1%
3000	98%	2%
4000	97%	3%
5000	96%	4%
6000	94%	6%
7000	92%	8%
8000	90%	10%
9000	88%	12%
10000	86%	14%
11000	84%	16%
12000	81%	19%
13000	79%	21%
14000	76%	24%
15000	73%	27%
16000	70%	30%
17000	68%	32%
18000	65%	35%
19000	62%	38%
20000	59%	41%
21000	56%	44%
22000	54%	46%
23000	51%	49%
24000	48%	52%
25000	45%	55%
26000	43%	57%
27000	40%	60%
28000	38%	62%
29000	36%	64%
30000	33%	67%

(Python)

Capítulo 7

Análisis de Resultados

En este capítulo, se analizarán los resultados obtenidos en el Capítulo 6, para poder sustentar la importancia del análisis de confiabilidad, para poder asegurar desde la estrategia de reparación de componentes, el cumplimiento y/ou optimización de las proyecciones de cambios por imprevistos, ya que en este proceso lo más importante es mejorar la proyección de los cambios por imprevistos R_i , buscando las técnicas que permitan asegurar el cumplimiento del TBO de los componentes.

Los resultados obtenidos permiten tener primer avance o una visión a largo plazo de los requerimientos para cambio de componentes, pero se debe tener en consideración, que el éxito de la gestión de Reparación de Componentes, debe ser una tarea en conjunto, tanto a nivel de usuario como a nivel global de la organización entre los stakeholders.

Para comenzar el análisis, a continuación se muestran los resúmenes de las proyecciones de cambios de componentes utilizando los parámetros obtenidos mediante Modelo Ranking Ajustado en Excel y los parámetros obtenidos en Python

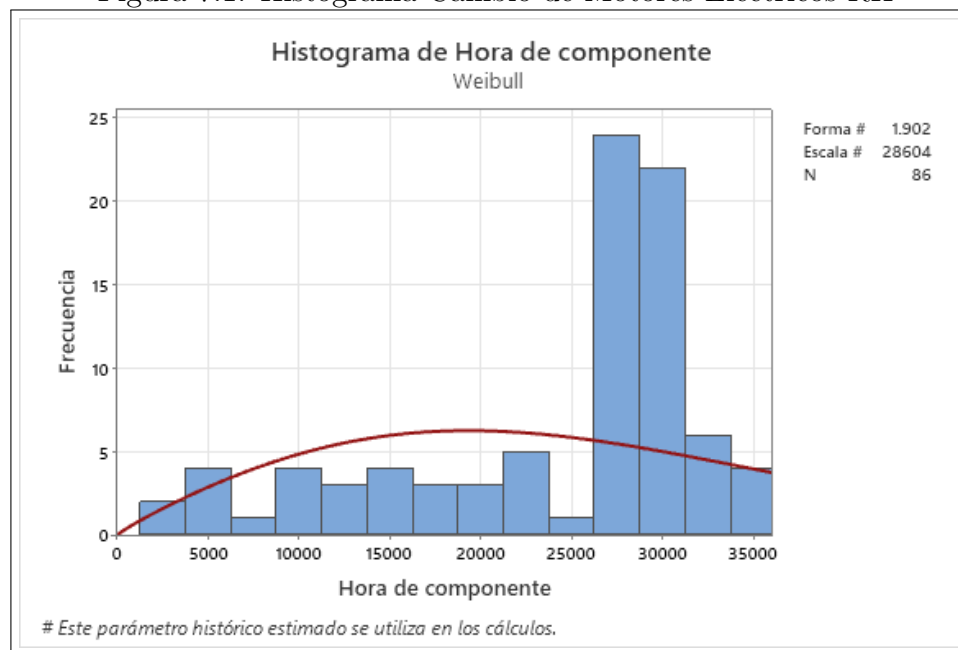
Tabla 7.1: Resumen de Parámetros de Forma y Escala

Modelo	α	β
Parámetros Excel	28604.1	1.9
Parámetros Python	28511.39	1.81

A continuación, la Tabla 7.1 presenta un resumen de los parámetros de forma y escala obtenidos a través de dos modelos: Excel y Python. Estos parámetros son fundamentales en el análisis de confiabilidad y pronóstico de vida útil de los componentes.

Con respecto al parámetro de escala α , se observa que tanto el modelo de Excel como el de Python indican que, en promedio, los cambios en estos componentes ocurren alrededor de las 28550 horas de funcionamiento. Esto tipo de información es de gran ayuda para la planificación de mantenimiento y la gestión de activos, ya que sugiere cuándo es probable que ocurran fallas y se requieran reparaciones, tal y como se muestra en el histograma de cambios históricos:

Figura 7.1: Histograma Cambio de Motores Eléctricos RH



Fuente: Elaboración Propia Minitab

El histograma de la Figura 7.1, proporciona una representación gráfica de cómo se distribuyen los eventos de cambios en los motores eléctricos, y como estos eventos se concentran de acuerdo al intervalo de confianza obtenido según la Figura 6.13 ([22,343-26,067]), este intervalo de confianza, establece que el rango de confiabilidad que oscila entre el 55% y el 43% según la Figura 6.14, estos valores de confiabilidad señalan la probabilidad de que un motor eléctrico funcione correctamente en un rango específico de condiciones o parámetros. Para un valor del 55% indica que existe un 55% de probabilidad de que el motor eléctrico opere adecuadamente, mientras que un valor del 43% señala una probabilidad menor de funcionamiento correcto en las mismas condiciones.

En cuanto a las proyecciones de cambio de Motores Eléctricos, utilizando el modelo Excel, con los parámetros obtenidos de Python y Excel, los resultados toman valores similares para los horizontes de tiempo en estudio, lo que es predecible, dado que ambas técnicas utilizan el mismo procedimiento para el cálculo de los parámetros de confiabilidad. Para visualizar lo antes mencionado, se resumen los valores del modelo de proyección para ambos casos en cuestión:

Parámetros Excel:

Tabla 7.2: Resumen Cambios Proyectados Excel $\alpha=28604.1$ $\beta=1.9$

Horizonte	$\sum \#Ri$	$\sum \#PM$
12 meses	10	26
24 meses	22	40
36 meses	30	54

Parámetros Python:

Tabla 7.3: Resumen Cambios Proyectados Python $\alpha=28511.39$ $\beta=1.81$

Horizonte	$\sum \#Ri$	$\sum \#PM$
12 meses	8	26
24 meses	14	44
36 meses	28	58

La comparación de las proyecciones de cambio de Motores Eléctricos entre los modelos de Excel y Python refleja una consistencia en los resultados debido a la utilización del mismo enfoque para el cálculo de parámetros de confiabilidad.

Antes de realizar un análisis del stock de componentes necesarios, es necesario considerar una serie de puntos claves que sientan las bases para una Estrategia de Reparables. Estos ayudan a entender la importancia de la gestión de inventario en el contexto más amplio la reparación de componentes. A continuación, se detallan estos aspectos clave:

1. Lead Time Reparación

- Tiempo de Evaluación
- Tiempo de envío informes de evaluación
- Tiempo de Reparación (una vez recepcionada Orden de Compra aprobada)

2. Lead Time de proceso

- Despacho y Recepción
- Evaluación de presupuesto
- envío de Orden de compra

Para efectos de análisis se debe considerar detenidamente los datos presentados en la Tabla 7.4 que muestra los tiempos totales de proceso de reparación:

Tabla 7.4: Tiempos Total de Proceso de Reparación

Actividad	Tiempo
Tiempo Total Reparación	35 días
Tiempo Total de Proceso	10 días

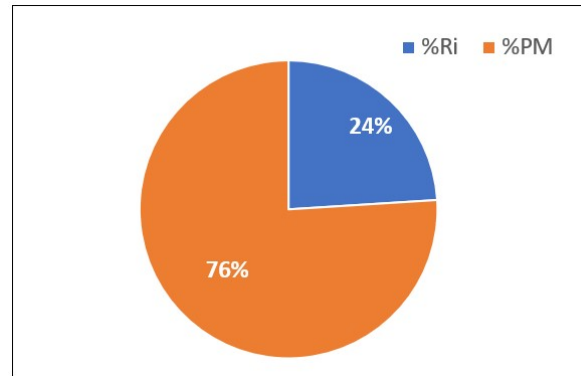
Para estos datos que proporcionan la información sobre la duración de las actividades relacionadas con la reparación de componentes, se debe considerar lo siguiente:

- **Tiempo Total de Reparación:** Este valor, que asciende a 35 días en el ejemplo proporcionado, representa la duración total desde el inicio de la reparación de un componente hasta su finalización. Es necesario entender que este tiempo incluye todas las actividades involucradas en el proceso de reparación, desde que componente llega al proveedor hasta que sale de sus instalaciones.
- **Tiempo Total de Proceso:** Este tiempo, que es de 10 días según la tabla, se refiere a la duración del proceso administrativo y logístico de reparación sin tener en cuenta ningún tiempo de espera o demoras entre actividades.

En cuanto los tiempos de reparación, es necesario tener en consideración la cantidad de componentes que se cambiaran por año. Si se toman los resultados de cambios proyectados para 12 meses en Python, se tiene que se repararan $\sum \#Ri = 8$ y $\sum \#PM = 26$, en total $\sum \#Total12meses = 34$ Motores Eléctricos, considerando ambas posiciones RH y LH.

En términos porcentuales el 24% de los cambio son imprevistos, y por consecuencia el 76% serán cambios programados por cumplimiento de TBO

Figura 7.2: Porcentaje de Tipo de Cambio de Componentes



Fuente: Elaboración Propia

Para complementar, si se considera que el costo de reparación de este tipo de motor eléctrico es en promedio US\$95,000

Tabla 7.5: Costo de Reparación Anual en US\$

Tipo de Cambio	Cantidad de Cambio	Costo Total
$\sum \#Ri$	8	\$760,000
$\sum \#PM$	26	\$2,470,000

Total Costo de Reparación Anual \$3,230,000

Con respecto al costo total de reparación para un año, basado en las proyecciones, es necesario tener en consideración una estrategia de mantenimiento enfocada a dar confiabilidad a los componentes, que permita controlar y monitorear el funcionamiento de los equipos, para mantener la continuidad operacional y no afectar la productividad.

Por otro lado, desde el punto de vista contractual, se deben emplear cláusulas y multas apropiadas que permitan asegurar el compromiso del reparador, con lo cual pueda asegurar la calidad de las reparaciones, e inclusive, que permita asegurar que las proyecciones relacionadas con los cambios imprevistos no superen lo proyectado, donde a pesar de las garantías asociadas a las reparaciones, puedan responsabilizarse ante un

exceso de cambios imprevistos, asumiendo costos adicionales a los permitidos en las políticas de garantías asociadas

Desde el punto de vista de los stakeholders, se deben establecer SLA (Service Level Agreement), para que todas las áreas que intervienen en el proceso de gestión interna, asociados a Despacho y Recepción, Evaluación de presupuesto, envío de Orden de compra, ingreso a bodega, etc, puedan ser medibles y controlables, para asegurar que no existan retrasos en el proceso, que puedan incurrir en quiebres de stock que impacten la continuidad operacional.

7.1 Estrategias de Reparables

Hasta ahora solo se ha presentado una etapa de lo que corresponde a una "Estrategia de Reparables", correspondiente a proyección de reparaciones y costos, sin embargo, en necesario recalcar, que dicho proceso, es un conjunto de interacciones entre distintas áreas, si bien, se ha presentado el punto de vista de alguna de ellas, pero solo en términos generalas, ya que la cantidad y niveles de interacción dependerá de cada empresa. Sin embargo, con la información presentada, es suficiente para establecer o presentar una estrategia de reparación de componentes, la "Estrategia de Reparables".

Para diseñar una estrategia de reparación de componentes, se debe tener en cuenta al menos 4 dimensiones, que son las siguientes:

- Definir que reparar
- Definir una estrategia de reparación
- Establecer una matriz de control
- Definir protocolos

7.1.1 ¿Que se requiere reparar?

No todo se puede reparar, existen componentes que por su valor se opta por no reparar. En este nivel se debe identificar los componentes a reparar, considerando su criticidad para la operación, su impacto y los costos proyectados asociados. También se debe establecer la jerarquía de componentes en cuanto a costosa y criticidad en la continuidad operacional.

Otro aspecto a revisar es el estándar que se requiere para que un reparador pueda prestar los servicios de reparación. Finalmente, se incluyen los aspectos contractuales para que un proveedor pueda prestar el servicio de reparación. Los procesos más significativos que se puede incluir son:

- **Definición de criticidad e impacto a la operación:** en esta actividad se debe definir en términos de producción la criticidad de no contar en stock con componentes para atender cambios por fallos imprevistos y que nivel de destrucción de negocio se genera por las horas perdidas de producción.
- **Evaluación y proyección de costos:** en esta etapa se realizan las proyecciones por cambios imprevistos y programados, para luego ser evaluados en términos de costos, y horizonte de tiempo, teniendo referencias de tiempos de reparación y logísticos. Es en este punto donde se realizan los análisis de confiabilidad, modelos de proyección de fallas, etc. Los análisis de confiabilidad, permiten realizar predicciones con menor incertidumbre.
- **Jerarquizar por criticidad y Riesgos:** en esta etapa se toman los resultados y datos obtenidos en los puntos anteriores, y se procede a jerarquizar el impacto a nivel de etapa del proceso productivo identificando los tipos de componentes.
- **Estándar de Reparadores:** de acuerdo a la criticidad de un componente y los presupuestos, es necesario establecer los parámetros a evaluar para seleccionar los

proveedores de servicios de reparación, en que sentido, por ejemplo en términos de infraestructura, para un taller reparador de motores eléctricos debe se consideran aspectos diferentes a una maestranza para reparaciones estructurales. En este punto también se define si el proveedor debe estar certificado a algún tipo de norma o sistema de gestión, cuales serán los indicadores de seguridad mínimos que debe cumplir, etc.

- **Modalidad de Contrato:** se debe evaluar la mejor opción que maximice la calidad, disminuya riesgo por falla y minimice los costos. en algunos casos para componentes específicos, existen pocos oferentes, y por lo general se trata de componentes con alto nivel tecnológico.

7.1.2 Estrategia de Reparación

Considera los alcance o definiciones más técnicas, donde se definen que repuestos se pueden reutilizar y cuales se deben cambiar a todo evento, también se establecen las condiciones necesarias que llevarían a dar de baja un componente, donde se consideran tanto la cantidad de reparaciones, costo de reparación, desgaste de material, etc.

- **Repuestos a Reemplazar de Forma Obligatoria:** corresponde a definir cuales son los repuestos que se deben cambiar sin necesidad de ser evaluados, ya que su criticidad para el funcionamiento del componente es mayor al impacto asociado a su costo. Esto se define en base a la experiencia y en base a las recomendaciones del OEM.
- **Repuestos sujetos a evaluación para su reemplazo:** en este aspecto se consideran los repuestos que tienen características duraderas, o también aquellos que su costos es indiferente a la criticidad pues es posible que sean reutilizados, o también pueden ser reparados en paralelo mientras se repara el componente principal.

- **Parámetros y condición para dar de baja:** la definición de si un componente debe ser dado de baja o no, corresponde a que existen partes o piezas que son parte importante de un componente y no es posible cambiar o renovar en cada una de las reparaciones, por lo que son expuesto a un desgaste producido por su funcionamiento. También se debe tener un límite en términos porcentuales de la reparación versus el costo de un componente nuevo (por lo general se encuentra en un 60% y un 80%), ya que en algunos casos, existen componentes que al ser reparados disminuyen su confiabilidad para cumplir los TBO's previamente establecidos, por lo que se deben mantener en seguimiento para adelantar su cambio. Por otro lado, también se debe considerar que la acumulación de horas de operación aumentan su desgaste, lo que aumenta los costos de reparación, y en ese caso se define previamente.

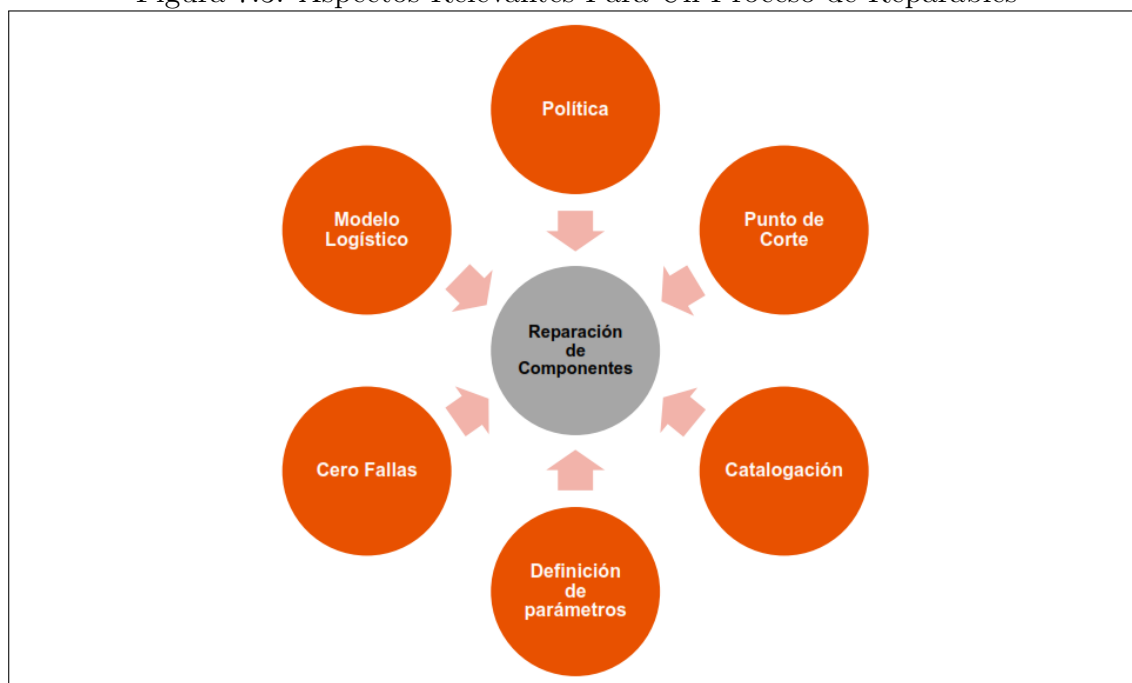
Un caso especial, son los componentes de alta criticidad para la continuidad operacional, donde el costo de adquirir un componente nuevo es insignificante en comparación a la destrucción de negocio que provocaría una falla anticipada como imprevisto. Estos componentes suelen tener tratamientos y estrategias de reparación exclusiva, y por lo general son componentes asociados a plantas o transporte de mineral.

- **Cantidad máxima de reparaciones:** la definición de la cantidad máxima de reparaciones que puede soportar un componente, tiene relación con los puntos anteriores, ya que se considera el desgaste progresivo, aumento de costos de reparación y la criticidad e impacto a la continuidad operacional, por falla prematura antes de cumplir el TBO establecido. Caso especial son aquellos componentes que al reparar son llevados a condición tan bueno como nuevo, en cuyos casos el desgaste por horas de operación es casi despreciable, y el reemplazo de sus partes no elevan el costo de reparación de forma significativa.

A continuación se muestra un esquema con algunos puntos importantes a considerar

en el proceso de reparación:

Figura 7.3: Aspectos Relevantes Para Un Proceso de Reparables



Fuente: Elaboración Propia

7.1.3 Matriz de Control de Calidad

La matriz de control de calidad, se basa en la matriz de riesgos asociados a la actividad de reparación de cada componente. Esta matriz de riesgos es una exigencia legal para cada reparador, y es en esta donde se identifica el paso a paso de la actividad de reparación, lo que permite identificar las etapas críticas de la reparación. Una vez identificadas las etapas críticas, se definen los responsables de controlar y liberar estas etapas para dar paso a la siguiente etapa de reparación, y también que registros, documentos, parámetros, etc, se requiere durante la ejecución de estas etapas.

- **Identificar las Etapas o Actividades de reparación desde la matriz de riesgo:** dado que desde el punto de vista de la seguridad, cada actividad debe

estar contenida dentro de una matriz de riesgo, lo que en el ámbito legal, es lo que da cobertura al trabajador para asegurar que sus actividades han sido evaluadas desde el área de seguridad, y se entregan los controles y herramientas adecuados para el correcto desarrollo de sus funciones. En este ámbito el proveedor, cuenta con distintas matrices de riesgos asociadas a cada uno de los servicios de reparación que oferta, y se toman estas matrices para identificar el paso a paso de cada una de estas actividades

- **Identificar Actividades que Impactan la Calidad:** luego de la identificación del paso a paso de las actividades contenidas en la matriz de riesgo, se procede a verificar el impacto a la calidad de las reparaciones en cada una de estas etapas, y se definen las medidas de control y seguimiento de cada etapa, como también los criterios para liberar o aprobar si la actividad se encuentra dentro de lo especificado para asegurar el correcto funcionamiento de los componentes reparados. A su vez, se define si existe o no un responsable para la liberación de cada actividad contenida en las etapas de reparación, en donde las actividades más críticas, ya sea por su complejidad o por su impacto directo en la calidad de reparación, deben ser asignadas a un miembro de la organización que desempeñe funciones de auditor de calidad con basta experiencia en la reparación de componentes y se debe tener la precaución de que la persona encargada de liberar las actividades o etapas críticas de reparación, no pertenezcan de forma directa al área encargada de la ejecución de la reparación, ya que se pueden generar sesgos producto de metas productivas.

7.1.4 Protocolos

Un protocolo es un conjunto de reglas, estándares o pautas que se establecen para regular los documentos o procedimientos orientados a aprobar o liberar una reparación, recepcionar componentes reparados, la forma o la manera en la cual debe ser embalada,

procesos de garantías, o la forma en la cual se realiza la trazabilidad de las reparaciones, ya sea en proceso o ya terminadas, con el claro objeto de garantizar que las partes involucradas puedan entenderse y colaborar de manera efectiva, sin dejar espacio a supuestos o vacíos.

- **Protocolo de Liberación:** son los documentos definidos por parte del clientes, para dar validación al proceso de reparación. Este documento debe contener la documentación previamente establecidas, donde se encuentran los respaldos de la liberación de cada una de las etapas de reparación, son respaldos, información técnica de parámetros, informes externos, etc.
- **Protocolo de Entrega de Componente:** este punto considera los requerimientos para entregar el componente reparado, si debe incorporar pallet o bases de traslado, si los pallets o bases de traslados deben ser certificados, etc
- **Protocolo de Embalaje y Preservación:** este debe contener los requerimientos del tipo de embalaje, si corresponde a fundas especiales o plásticos con filtro UV. Con respecto a la preservación, corresponde a las especificaciones del proveedor, para establecer actividades de mantenimiento o revisión de los componentes, cuando estos son almacenados por un periodo de tiempo, llegando incluso en algunos casos a sugerencias de evaluaciones preventivas en el taller de reparación del proveedor, cuando los componentes llevan una cierta cantidad de tiempo almacenado sin ser utilizado, para asegurar que el componente no sufra daños o contaminación interna, que pueda resultar en el cobro de garantías asociadas en caso de fallas prematuras.
- **Protocolo de Garantía:** corresponde a la definición de aspectos técnicos, información y documentación, que se requieren para presentar un reclamo de garantía, por falla prematura del componente nuevo o reparado. por lo general los reparadores establecen un límite de tiempo donde se puede hacer el reclamo de una garantía,

sin embargo existen casos especiales donde el proveedor asume como garantía fallas de componentes por sobre este tiempo límite.

Esta estrategia ha destacado que este proceso implica un conjunto de interacciones entre diferentes áreas de una organización. dichas interacciones varían en cuanto a cantidad y niveles dependiendo de la estructura de cada compañía. Si bien, ha proporcionado una visión general de , es importante tener en cuenta que la implementación específica de una Estrategia de Reparables puede varia de acuerdo a los requerimientos y controles de cada compañía.

A continuación de presenta esquemáticamente un resumen de las cuatro dimensiones y sus procesos, para presentar la Estrategia de Reparables:

Figura 7.4: Propuesta de Estrategia de Reparables



Fuente: Elaboración Propia

Capítulo 8

Conclusiones y Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos, es posible concluir que un análisis de confiabilidad Weibull, entrega una visión integral para realizar las proyecciones que aportan información vital en el proceso de reparación de componentes, ya que permite visualizar la criticidad en términos de costos, para poder clasificar el impacto en el presupuestos de las áreas de mantenimiento.

Los resultados obtenidos mediante la utilización de Excel y Python, entregan una buena aproximación para estimar la demanda de componentes para la flota de 44 camiones de extracción, y esto es posible entender dado que el resultado de las proyecciones están estrechamente relacionados entre si.

Cabe destacar, que si bien la operatoria de los 2 modelos con los que se obtuvieron los resultados de confiabilidad, estas son bastante simples y útiles, pero son una herramienta potente al momento de realizar proyecciones o estimaciones de presupuestos.

Con respecto a los costos asociados a las proyecciones de cambio de motores eléctricos, ya sea por falla (24%) o por cumplimiento de TBO (76%), el valor proyectado de

US\$3,230,000, lo que por su alto valor, hace necesario generar el involucramiento del reparador, en cumplimiento de calidad, garantías, como también en la importancia en confeccionar contratos que busquen cumplir la principal promesa de valor de la reparación de componentes, que es entregar un servicio orientado a asegurar la continuidad operacional. Una recomendación es poder incluir dentro del contrato una cláusula donde el reparador se haga responsable del costo de reparación de componentes cambiados por imprevistos, que excedan el número de componentes de cambio imprevistos proyectados por año.

Por otro lado, es importante recalcar que la gestión del proceso de reparación es más que mover componentes a reparar y pagar por el servicio, es un proceso que debe involucrar a un conjunto de áreas, y también voluntades para maximizar el beneficio de la compañía en términos operativos y de costos, pero esta relación debe estar previamente normada en estructura, alcances, riesgos, etc.

Finalmente, en base a todo lo expuesto durante este estudio, cobra relevancia contar con una Estrategia de Reparables, que es la base para el aseguramiento de la continuidad operacional, que tiene relación con la estrategias y políticas de mantenimiento adecuadas, que permiten controlar y monitorear el real funcionamiento de los componentes en general, asegurando satisfacer los requerimientos productivos, minimizando los costos imprevistos, maximizando la utilización de los presupuestos asociados, estableciendo niveles de servicio internos(áreas involucradas) y externos(reparadores), y en el como se conjuga todo lo mencionado en el aspecto contractual, para dar cumplimiento a la promesa de valor entre las partes involucradas. Por lo que es posible concluir los beneficios que trae consigo la implementación de una Estrategia de Reparables, por su impacto en :

- Optimización de recursos:

- Minimización de costos
- Gestión de inventarios
- Promesa de valor contractual

Para que la estrategia sea realmente exitosa, se deben mantener la disciplinas en los procesos y en los flujos de comunicación, mediante reuniones periódicas, que permitan ver avances, mejoras o posibles amenazas que puedan impactar la salud de los equipos y sobre todo la Continuidad Operacional.

Capítulo 9

ANEXOS

9.1 Anexo A: Data Motores de Propulsión RH

Tabla 9.1: Data Motores de Propulsión RH

Faena	Componente	Pos	Hora de componente	Fecha Cambio
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	2127.31	04/07/2013
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	2380.21	08/11/2007
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	4180.62	03/11/2008
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	4232.87	20/10/2018
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	4327.11	04/04/2018
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	4926.68	01/12/2012
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	8693.63	26/07/2014
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	9705.1	15/11/2014
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	10552.3	10/10/2017
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	10837.56	22/03/2015

Faena	Componente	Pos	Hora de componente	Fecha Cambio
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	11082.64	19/08/2016
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	12074.59	08/11/2014
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	12512.64	15/04/2016
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	12802.3	11/12/2015
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	14015.84	23/05/2017
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	14039.25	04/06/2013
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	14682.7	17/09/2013
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	15659.52	30/07/2012
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	16937.58	28/04/2016
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	17287.82	09/09/2009
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	18520.16	13/12/2018
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	19649.54	12/06/2012
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	19782.83	02/04/2018
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	21238.37	31/01/2019
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	21262.74	23/02/2011
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	21422.49	13/12/2015
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	21963.17	21/05/2010
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	22860.66	18/08/2013
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	22925.83	28/12/2013
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	25601.45	17/03/2019
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	26680.4	30/09/2017
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	26908.89	30/01/2011
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	27401.89	18/05/2018
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	27434.89	21/07/2017
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	27713.63	15/09/2015

Faena	Componente	Pos	Hora de componente	Fecha Cambio
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	27774.99	10/12/2016
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	27894.04	22/06/2018
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	27937.16	31/07/2016
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28071.39	03/02/2016
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28170.15	22/11/2014
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28171.91	30/07/2017
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28289.37	11/02/2017
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28446.51	22/09/2017
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28488.27	12/06/2011
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28516.5	24/01/2017
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28522.48	15/04/2018
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28539.34	21/10/2016
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28550.03	22/01/2018
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28551.22	09/07/2011
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28556.37	22/05/2016
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28613.68	11/03/2017
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28696.6	18/08/2018
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28701.6	01/03/2018
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28724.7	21/05/2017
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	28820.52	14/01/2017
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	29122.19	28/02/2018
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	29196.6	29/03/2013
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	29327.71	30/06/2017
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	29330.53	26/09/2011
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	29467.1	22/01/2012

Faena	Componente	Pos	Hora de componente	Fecha Cambio
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	29548.7	30/04/2019
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	29722.16	23/10/2014
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	29794.49	15/10/2013
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	29855.24	28/02/2019
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	29863.71	09/02/2013
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	29937.48	15/08/2017
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	30095.79	24/11/2012
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	30115.12	30/10/2017
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	30116.47	04/01/2018
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	30120.33	06/10/2013
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	30227.77	18/02/2012
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	30416.95	08/05/2018
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	30481.52	03/01/2012
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	30601.62	24/08/2014
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	30668.53	14/01/2019
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	30969.49	15/10/2018
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	31271.37	05/11/2018
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	31313.5	30/04/2012
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	31639.5	11/08/2012
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	31740.21	30/06/2012
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	32281.47	16/09/2012
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	32830.46	28/06/2013
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	34148.62	16/08/2014
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	34448.83	21/02/2014
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	34952.39	11/06/2013

Faena	Componente	Pos	Hora de componente	Fecha Cambio
Caso 2	Motor de Propulsión	RH	35579.64	29/04/2013

9.2 Anexo B: Tabla de Valores Ranking Ajustado

Tabla 9.2: Data Motores de Propulsión RH

Ranking Ajustado de Falla rj	F(t)	R(t)	LN(t)	LN(-LN(Rt))
1	0.01	0.991898	7.662614	-4.811598
2	0.02	0.980324	7.774943	-3.91844
3	0.03	0.96875	8.338216	-3.449904
4	0.04	0.957176	8.350634	-3.128851
5	0.05	0.945602	8.372656	-2.883589
6	0.07	0.934028	8.502421	-2.684591
7	0.08	0.922454	9.070346	-2.516793
8	0.09	0.91088	9.180407	-2.371458
9	0.1	0.899306	9.264099	-2.243068
10	0.11	0.887731	9.290773	-2.12791
11	0.12	0.876157	9.313135	-2.023367
12	0.14	0.864583	9.398859	-1.927527
13	0.15	0.853009	9.434495	-1.838946
14	0.16	0.841435	9.45738	-1.75651
15	0.17	0.829861	9.547943	-1.679341
16	0.18	0.818287	9.549612	-1.606731

Ranking Ajustado de Falla rj	F(t)	R(t)	LN(t)	LN(-LN(Rt))
17	0.19	0.806713	9.594425	-1.538107
18	0.2	0.795139	9.658834	-1.472992
19	0.22	0.783565	9.73729	-1.410991
20	0.23	0.771991	9.757758	-1.351766
21	0.24	0.760417	9.826615	-1.295033
22	0.25	0.748843	9.885809	-1.240545
23	0.26	0.737269	9.89257	-1.188089
24	0.27	0.725694	9.963565	-1.137479
25	0.29	0.71412	9.964712	-1.088552
26	0.3	0.702546	9.972196	-1.041163
27	0.31	0.690972	9.997122	-0.995183
28	0.32	0.679398	10.037173	-0.950499
29	0.33	0.667824	10.04002	-0.907008
30	0.34	0.65625	10.150404	-0.864616
31	0.36	0.644676	10.191685	-0.823239
32	0.37	0.633102	10.200212	-0.782801
33	0.38	0.621528	10.218367	-0.743231
34	0.39	0.609954	10.219571	-0.704467
35	0.4	0.59838	10.22968	-0.666447
36	0.41	0.586806	10.231891	-0.629118
37	0.42	0.575231	10.236168	-0.592428
38	0.44	0.563657	10.237713	-0.556331
39	0.45	0.552083	10.242506	-0.520781
40	0.46	0.540509	10.246018	-0.485737
41	0.47	0.528935	10.246081	-0.451159

Ranking Ajustado de Falla rj	F(t)	R(t)	LN(t)	LN(-LN(Rt))
42	0.48	0.517361	10.250241	-0.41701
43	0.49	0.505787	10.255781	-0.383254
44	0.51	0.494213	10.257248	-0.349857
45	0.52	0.482639	10.258238	-0.316786
46	0.53	0.471065	10.258448	-0.284009
47	0.54	0.459491	10.259039	-0.251496
48	0.55	0.447917	10.259413	-0.219216
49	0.56	0.436343	10.259455	-0.18714
50	0.58	0.424769	10.259635	-0.155239
51	0.59	0.413194	10.26164	-0.123483
52	0.6	0.40162	10.264534	-0.091843
53	0.61	0.390046	10.264708	-0.060292
54	0.62	0.378472	10.265513	-0.028798
55	0.63	0.366898	10.268843	0.002667
56	0.64	0.355324	10.279256	0.034136
57	0.66	0.34375	10.281807	0.065639
58	0.67	0.332176	10.286288	0.097209
59	0.68	0.320602	10.286384	0.128881
60	0.69	0.309028	10.29103	0.160693
61	0.7	0.297454	10.293795	0.192682
62	0.71	0.28588	10.299648	0.22489
63	0.73	0.274306	10.302079	0.257361
64	0.74	0.262731	10.304116	0.290146
65	0.75	0.251157	10.304399	0.323297
66	0.76	0.239583	10.306867	0.356873

Ranking Ajustado de Falla rj	F(t)	R(t)	LN(t)	LN(-LN(Rt))
67	0.77	0.228009	10.312141	0.390939
68	0.78	0.216435	10.312783	0.425571
69	0.8	0.204861	10.312828	0.460851
70	0.81	0.193287	10.312956	0.496876
71	0.82	0.181713	10.316516	0.533757
72	0.83	0.170139	10.322755	0.571624
73	0.84	0.158565	10.324876	0.61063
74	0.85	0.146991	10.328808	0.650963
75	0.86	0.135417	10.330992	0.692847
76	0.88	0.123843	10.340758	0.736563
77	0.89	0.112269	10.350458	0.782468
78	0.9	0.100694	10.351805	0.831022
79	0.91	0.08912	10.362162	0.882845
80	0.92	0.077546	10.36534	0.938788
81	0.93	0.065972	10.382249	1.000088
82	0.95	0.054398	10.399112	1.068643
83	0.96	0.042824	10.438477	1.14761
84	0.97	0.03125	10.44723	1.242925
85	0.98	0.019676	10.461742	1.368222
86	0.99	0.008102	10.479529	1.571874

9.3 Anexo C: Proyección Motores de Propulsión

RH 12 Meses

Figura 9.1: Resultado Proyección 12 Meses Parámetros Excel

Equipo	TBO	Horas Actual	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
			Jan-24	Feb-24	Mar-24	Apr-24	May-24	Jun-24	Jul-24	Aug-24	Sep-24	Oct-24	Nov-24	Dec-24
TKD001	24000	4456	4956	5424	5924	6407	6907	7391	7891	8391	8875	9375	9859	10359
TKD002	24000	11556	12056	12524	13024	13507	14007	14491	14991	15491	15975	16475	16959	17459
TKD003	24000	16095	16595	17063	17563	18046	18546	19030	19530	20030	20514	21014	21498	21998
TKD004	24000	2834	3334	3802	4302	4785	5285	5769	6269	6769	7253	7753	8237	8737
TKD005	24000	14150	14650	15118	15618	16101	16601	17085	17585	18085	18569	19069	19553	20053
TKD006	24000	22095	22595	23063	23563	2	502	986	1486	1986	2470	2970	3453	3953
TKD007	24000	4633	5133	5601	6101	6584	7084	7568	8068	8568	9052	9552	10036	10536
TKD008	24000	712	1212	1680	2180	2663	3163	3647	4147	4647	5131	5631	6115	6615
TKD009	24000	2765	3265	3733	4233	4716	5216	5700	6200	6700	7184	7684	8168	8668
TKD010	24000	14042	14542	15010	15510	15993	16493	16977	17477	17977	18461	18961	19445	19945
TKD011	24000	22429	22929	23397	23897	2	502	986	1486	1986	2470	2970	3453	3953
TKD012	24000	20886	21386	21854	22354	22837	23337	23821	2	502	986	1486	1970	2470
TKD013	24000	852	1352	1820	2320	2803	3303	3787	4287	4787	5271	5771	6255	6755
TKD014	24000	15315	15815	16283	16783	17266	17766	18250	18750	19250	19734	20234	20718	21218
TKD015	24000	20328	20828	21296	21796	22279	22779	23263	23763	2	486	986	1470	1970
TKD016	24000	20010	20510	20978	21478	21961	22461	22945	23445	23945	2	502	986	1486
TKD017	24000	8748	9248	9716	10216	10699	11199	11683	12183	12683	13167	13667	14151	14651
TKD018	24000	15022	15522	15990	16490	16973	17473	17957	18457	18957	19441	19941	20425	20925
TKD019	24000	17993	18493	18961	19461	19944	20444	20928	21428	21928	22412	22912	23396	23896
TKD020	24000	15047	1	469	969	1453	1952	2436	2936	3436	3920	4420	4904	5404
TKD021	24000	1046	1546	2014	2514	2997	3497	3981	4481	4961	5465	1	485	985
TKD022	24000	6036	6536	7004	7504	7987	8487	8971	9471	9971	10455	10955	11439	11939
TKD023	24000	3400	3900	4368	4868	5351	5851	6335	6835	7335	1	501	985	1485
TKD024	24000	7939	8439	8907	9407	9890	10390	10874	11374	11874	12358	12858	13342	13842
TKD025	24000	11022	11522	11990	12490	12973	13473	13957	14457	14957	15441	15941	16425	16925
TKD026	24000	18759	19259	1	501	985	1485	1969	2469	2969	3452	3952	4436	4936
TKD027	24000	22936	23436	23904	2	486	986	1470	1970	2470	2953	3453	3937	4437
TKD028	24000	9893	10393	10861	11361	11844	12344	12828	13328	13828	14312	14812	15296	15796
TKD029	24000	19075	19575	20043	20543	21026	21526	22010	22510	23010	23494	23994	2	502
TKD030	24000	4016	4516	4984	5484	5967	6467	6951	7451	7951	8435	8935	9419	9919
TKD031	24000	22357	22857	23325	23825	2	502	986	1486	1986	2470	2970	3453	3953
TKD032	24000	19987	20487	20955	21455	21938	22438	22922	23422	23922	2	502	986	1486
TKD033	24000	11174	11674	12142	12642	13125	13625	14109	14609	15109	15593	16093	16577	17077
TKD034	24000	20675	21175	21643	22143	22626	23126	23610	2	502	986	1486	1970	2470
TKD035	24000	19033	19533	20001	20501	20984	21484	21968	22468	22968	23452	23952	2	502
TKD036	24000	24986	2	470	970	1454	1953	2437	2937	3437	3921	4421	4905	5405
TKD037	24000	9411	9911	10379	10879	11362	11862	12346	12846	13346	13830	14330	14814	15314
TKD038	24000	16119	16619	17087	17587	18070	18570	19054	19554	20054	20538	21038	21522	22022
TKD039	24000	15045	15545	16013	16513	16996	17496	17980	18480	18980	19464	19964	20448	1
TKD040	24000	13934	14434	14902	15402	15885	16385	16869	17369	17869	18353	18853	19337	19837
TKD041	24000	23368	23868	2	502	986	1486	1970	2470	2970	3453	3953	4437	4937
TKD042	24000	12005	12505	12973	13473	13966	14456	14940	15440	15940	16424	16924	17408	17908
TKD043	24000	14907	15407	15875	16375	16858	17358	17842	18342	18842	19326	19826	20310	20810
TKD044	24000	7326	7826	8294	8794	9277	9777	10261	10761	11261	11745	12245	12729	13229

9.4 Anexo D: Proyección Motores de Propulsión

RH 24 Meses

Figura 9.2: Resultado Proyección 24 Meses Parámetros Excel

Equipo	TBO	Horas Actual	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
			Jan-25	Feb-25	Mar-25	Apr-25	May-25	Jun-25	Jul-25	Aug-25	Sep-25	Oct-25	Nov-25	Dec-25
TKD001	24000	4456	10859	11310	11810	12294	12794	13278	13778	14278	14762	15262	15746	16246
TKD002	24000	11556	17959	18410	18910	1	501	985	1485	1985	2469	2969	3452	3952
TKD003	24000	16095	22498	22949	23449	23933	2	486	986	1486	1970	2470	2953	3453
TKD004	24000	2834	9237	9688	10188	10672	11172	11656	12156	12656	13140	13640	14124	14624
TKD005	24000	14150	20553	21004	21504	21988	1	485	985	1485	1969	2469	2952	3452
TKD006	24000	22095	4453	4905	5405	5889	6389	6873	7372	7872	8356	8856	9340	9840
TKD007	24000	4633	11036	11487	11987	12471	12971	13455	13955	14455	14939	15439	15923	16423
TKD008	24000	712	7115	7566	8066	8550	9050	9534	10034	10534	11018	11518	12002	12502
TKD009	24000	2765	9168	9619	10119	10603	11103	11587	12087	12587	13071	13571	14055	14555
TKD010	24000	14042	20445	20896	21396	21880	22380	22864	23364	23864	2	502	986	1486
TKD011	24000	22429	4453	4905	5405	5889	6389	6873	7372	7872	8356	8856	9340	9840
TKD012	24000	20886	2970	3421	3921	4405	4905	5389	5889	6389	6873	7372	7856	8356
TKD013	24000	852	7255	7706	8206	8690	9190	9674	10174	10674	11158	11658	12142	12642
TKD014	24000	15315	21718	22169	22669	23153	23653	2	502	1002	1486	1986	2470	2970
TKD015	24000	20328	2470	2921	3421	3905	4405	4889	5389	5889	6373	6873	7356	7856
TKD016	24000	20010	1986	2437	2937	3421	3921	4405	4905	5405	5889	6389	6873	7372
TKD017	24000	8748	15151	15602	16102	16586	17086	17570	18070	18570	19054	19554	20038	20538
TKD018	24000	15022	21425	21876	22376	22860	23360	23844	2	502	986	1486	1970	2470
TKD019	24000	17993	2	454	954	1437	1937	2421	2921	3421	3905	4405	4889	5389
TKD020	24000	15047	5904	6355	6855	7339	7839	8323	8823	9323	9807	10307	10791	11291
TKD021	24000	1046	1485	1936	2436	2920	3420	3904	4404	4904	5388	5888	6372	6872
TKD022	24000	6036	12439	12890	13390	13874	14374	14858	15358	15858	1	501	985	1485
TKD023	24000	3400	1985	2436	2936	3420	3920	4404	4904	5404	5888	6388	6872	7371
TKD024	24000	7939	14342	14793	15293	15777	16277	16761	17261	17761	18245	18745	19229	19729
TKD025	24000	11022	17425	17876	18376	18860	19360	19844	20344	20844	21328	21828	22312	22812
TKD026	24000	18759	5436	5888	6388	6872	7371	7855	8355	8855	9339	9839	10323	10823
TKD027	24000	22936	4937	5389	5889	6373	6873	7356	7856	8356	8840	9340	9824	10324
TKD028	24000	9893	16296	16747	17247	17731	18231	18715	19215	19715	20199	20699	21183	21683
TKD029	24000	19075	1002	1454	1953	2437	2937	3421	3921	4421	4905	5405	5889	6389
TKD030	24000	4016	10419	10870	11370	11854	12354	12838	13338	13838	14322	14822	1	501
TKD031	24000	22357	4453	4905	5405	5889	6389	6873	7372	7872	8356	8856	9340	9840
TKD032	24000	19987	1986	2437	2937	3421	3921	4405	4905	5405	5889	6389	6873	7372
TKD033	24000	11174	17577	18028	18528	19012	19512	19996	20496	20996	21480	21980	22464	22964
TKD034	24000	20675	2970	3421	3921	4405	4905	5389	5889	6389	6873	7372	7856	8356
TKD035	24000	19033	1002	1454	1953	2437	2937	3421	3921	4421	4905	5405	5889	6389
TKD036	24000	24986	5905	6356	1	485	985	1469	1969	2469	2952	3452	3936	4436
TKD037	24000	9411	15814	16265	16765	17249	17749	18233	18733	19233	19717	20217	20701	21201
TKD038	24000	16119	22522	22973	23473	23957	2	486	986	1486	1970	2470	2953	3453
TKD039	24000	15045	501	953	1453	1936	2436	2920	3420	3920	4404	4904	5388	5888
TKD040	24000	13934	20337	20788	21288	21772	22272	22756	23256	23756	2	502	986	1486
TKD041	24000	23368	5437	5889	6389	6873	7372	7856	8356	8856	9340	9840	10324	10824
TKD042	24000	12005	18408	18859	19359	19843	20343	20827	21327	21827	22311	22811	23295	23795
TKD043	24000	14907	21310	1	501	985	1485	1969	2469	2969	3452	3952	4436	4936
TKD044	24000	7326	13729	14180	14680	15164	15664	16148	16648	17148	17632	18132	18616	19116

9.5 Anexo E: Proyección Motores de Propulsión RH

36 Meses

Figura 9.3: Resultado Proyección 36 Meses Parámetros Excel

Equipo	TBO	Horas Actual	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
			Jan-26	Feb-26	Mar-26	Apr-26	May-26	Jun-26	Jul-26	Aug-26	Sep-26	Oct-26	Nov-26	Dec-26
TKD001	24000	4456	16746	17197	17697	18181	18681	19165	19665	20165	20649	21148	21632	22132
TKD002	24000	11556	4452	4904	5404	5888	6388	6872	7371	7871	8355	8855	9339	9839
TKD003	24000	16095	3953	4405	4905	5389	5889	6373	6873	7372	7856	8356	8840	9340
TKD004	24000	2834	15124	15575	16075	16559	17059	17543	18043	18543	19027	19526	20010	20510
TKD005	24000	14150	3952	4404	4904	5388	5888	6372	6872	7371	7855	8355	8839	9339
TKD006	24000	22095	10340	10792	11292	11775	12275	12759	13259	13759	14243	14743	15227	15727
TKD007	24000	4633	16923	17374	17874	18358	1	485	985	1485	1969	2469	2952	3452
TKD008	24000	712	13002	13453	13953	14437	14937	15421	15921	16421	16905	17404	17888	18388
TKD009	24000	2765	15055	15506	16006	16490	16990	17474	17974	18474	1	501	985	1485
TKD010	24000	14042	1986	2437	2937	3421	3921	4405	4905	5405	5889	6389	6873	7372
TKD011	24000	22429	10340	10792	11292	11775	12275	12759	13259	13759	14243	14743	15227	15727
TKD012	24000	20886	8856	9308	9808	10292	10792	11275	11775	12275	12759	13259	13743	14243
TKD013	24000	852	13142	13593	14093	14577	15077	15561	16061	16561	17045	17544	18028	18528
TKD014	24000	15315	3470	3921	4421	4905	5405	5889	6389	6889	7372	7872	8356	8856
TKD015	24000	20328	8356	8808	9308	9792	10292	10776	11275	11775	12259	12759	13243	13743
TKD016	24000	20010	7872	8324	8824	9308	9808	10292	10792	11292	11775	12275	12759	13259
TKD017	24000	8748	21038	21489	21989	22473	1	485	985	1485	1969	2469	2952	3452
TKD018	24000	15022	2970	3421	3921	4405	4905	5389	5889	6389	6873	7372	7856	8356
TKD019	24000	17993	5889	6340	6840	7324	7824	8308	8808	9308	9792	10292	10776	11275
TKD020	24000	15047	11791	12242	12742	13226	13726	14210	14710	15210	15694	16194	16677	17177
TKD021	24000	1046	7371	7823	8323	8807	9307	9791	10291	10791	11274	11774	12258	12758
TKD022	24000	6036	1985	2436	2936	3420	3920	4404	4904	5404	5888	6388	6872	7371
TKD023	24000	3400	7871	8323	8823	9307	9807	10291	10791	11291	11774	12274	12758	13258
TKD024	24000	7939	20229	20680	21180	21664	22164	22648	23148	23648	2	502	986	1486
TKD025	24000	11022	23312	23763	2	486	986	1470	1970	2470	2953	3453	3937	4437
TKD026	24000	18759	11323	11774	12274	12758	13258	13742	14242	14742	15226	15726	16210	16710
TKD027	24000	22936	10824	11275	11775	12259	12759	13243	13743	14243	14727	15227	15711	16211
TKD028	24000	9893	22183	22634	23134	23618	2	486	986	1486	1970	2470	2953	3453
TKD029	24000	19075	6889	7340	7840	8324	8824	9308	9808	10308	10792	11292	11775	12275
TKD030	24000	4016	1001	1453	1952	2436	2936	3420	3920	4420	4904	5404	5888	6388
TKD031	24000	22357	10340	10792	11292	11775	12275	12759	13259	13759	14243	14743	15227	15727
TKD032	24000	19987	7872	8324	8824	9308	9808	10292	10792	11292	11775	12275	12759	13259
TKD033	24000	11174	23464	23915	2	486	986	1470	1970	2470	2953	3453	3937	4437
TKD034	24000	20675	8856	9308	9808	10292	10792	11275	11775	12275	12759	13259	13743	14243
TKD035	24000	19033	6889	7340	7840	8324	8824	9308	9808	10308	10792	11292	11775	12275
TKD036	24000	24986	4936	5388	5888	6372	6872	7355	7855	8355	8839	9339	9823	10323
TKD037	24000	9411	21701	22152	22652	23136	23636	2	502	1002	1486	1986	2470	2970
TKD038	24000	16119	3953	4405	4905	5389	5889	6373	6873	7372	7856	8356	8840	9340
TKD039	24000	15045	6388	6839	7339	7823	8323	8807	9307	9807	10291	10791	11274	11774
TKD040	24000	13934	1986	2437	2937	3421	3921	4405	4905	5405	5889	6389	6873	7372
TKD041	24000	23368	11324	11775	12275	12759	13259	13743	14243	14743	1	501	985	1485
TKD042	24000	12005	2	454	954	1437	1937	2421	2921	3421	3905	4405	4889	5389
TKD043	24000	14907	5436	5888	6388	6872	7371	7855	8355	8855	9339	9839	10323	10823
TKD044	24000	7326	19616	20067	20567	21051	21551	22035	22535	23035	23519	2	486	986

9.6 Anexo F: Proyección Motores de Propulsión RH

12 Meses Parámetros Python

Figura 9.4: Resultado Proyección 12 Meses Parámetros Python

Equipo	TBO	Horas Actual	#RI	#PM	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
					Jan-24	Feb-24	Mar-24	Apr-24	May-24	Jun-24	Jul-24	Aug-24	Sep-24	Oct-24	Nov-24	Dec-24
TKD001	24000	4456	0	0	4956	5424	5924	6407	6907	7391	7891	8391	8875	9375	9859	10359
TKD002	24000	11556	0	0	12056	12524	13024	13507	14007	14491	14991	15491	15975	16475	16959	17459
TKD003	24000	16095	0	0	16595	17063	17563	18046	18546	19030	19530	20030	20514	21014	21498	21998
TKD004	24000	2834	0	0	3334	3802	4302	4785	5285	5769	6269	6769	7253	7753	8237	8737
TKD005	24000	14150	1	0	14650	15118	15618	16101	16601	17085	17585	18069	18543	19027	19491	19965
TKD006	24000	22095	0	1	22595	23063	23563	24046	24546	25030	25530	26014	26514	27014	27498	27998
TKD007	24000	4633	0	0	5133	5601	6101	6584	7084	7568	8068	8568	9052	9552	10036	10536
TKD008	24000	712	0	0	1212	1680	2180	2663	3163	3647	4147	4647	5131	5631	6115	6615
TKD009	24000	2765	0	0	3265	3733	4233	4716	5216	5700	6200	6700	7184	7684	8168	8668
TKD010	24000	14042	0	0	14542	15010	15510	15993	16493	16977	17477	17977	18461	18961	19445	19945
TKD011	24000	22429	0	1	22929	23397	23897	24380	24880	25364	25864	26348	26848	27332	27816	28316
TKD012	24000	20886	1	0	21386	21854	22354	22837	23337	23821	24321	24805	25305	25789	26289	26773
TKD013	24000	852	0	0	1352	1820	2320	2803	3303	3787	4287	4771	5271	5755	6255	6739
TKD014	24000	15315	0	0	15815	16283	16783	17266	17766	18250	18750	19234	19734	20218	20718	21218
TKD015	24000	20328	0	1	20828	21296	21796	22279	22779	23263	23763	24247	24747	25231	25731	26215
TKD016	24000	20010	0	1	20510	20978	21478	21961	22461	22945	23445	23929	24429	24913	25413	25897
TKD017	24000	8748	1	0	9248	9716	10216	10699	11199	11683	12183	12667	13167	13651	14151	14635
TKD018	24000	15022	0	0	15522	15990	16490	16973	17473	17957	18457	18941	19441	19925	20425	20925
TKD019	24000	17993	0	0	18493	18961	19461	19944	20444	20928	21428	21928	22412	22912	23396	23896
TKD020	24000	15047	0	0	15547	16015	16515	16998	17498	17982	18482	18966	19466	19950	20450	20950
TKD021	24000	1046	0	0	1546	2014	2514	2997	3497	3981	4481	4965	5465	5949	6449	6933
TKD022	24000	6036	0	0	6536	7004	7504	7987	8487	8971	9471	9955	10455	10939	11439	11939
TKD023	24000	3400	0	0	3900	4368	4868	5351	5851	6335	6835	7335	7819	8319	8803	9303
TKD024	24000	7939	0	0	8439	8907	9407	9890	10390	10874	11374	11874	12358	12858	13342	13842
TKD025	24000	11022	0	0	11522	11990	12490	12973	13473	13957	14457	14941	15441	15925	16425	16925
TKD026	24000	18759	0	1	19259	19727	20227	20710	21210	21694	22194	22678	23178	23678	24162	24662
TKD027	24000	22936	0	1	23436	23904	24404	24887	25387	25871	26371	26855	27355	27839	28339	28823
TKD028	24000	9893	0	0	10393	10861	11361	11844	12344	12828	13328	13828	14312	14812	15296	15796
TKD029	24000	19075	0	1	19575	20043	20543	21026	21526	22010	22510	23010	23494	23994	24478	24978
TKD030	24000	4016	0	0	4516	4984	5484	5967	6467	6951	7451	7935	8435	8919	9419	9919
TKD031	24000	22357	0	1	22857	23325	23825	24308	24808	25292	25792	26276	26776	27260	27760	28244
TKD032	24000	19987	0	1	20487	20955	21455	21938	22438	22922	23422	23906	24406	24890	25390	25874
TKD033	24000	11174	0	0	11674	12142	12642	13125	13625	14109	14609	15109	15593	16093	16577	17077
TKD034	24000	20675	0	1	21175	21643	22143	22626	23126	23610	24110	24594	25094	25578	26078	26562
TKD035	24000	19033	0	1	19533	20001	20501	20984	21484	21968	22468	22952	23452	23936	24436	24920
TKD036	24000	24986	0	1	25486	25954	26454	26937	27437	27921	28421	28905	29405	29889	30389	30873
TKD037	24000	9411	0	0	9911	10379	10879	11362	11862	12346	12846	13330	13830	14314	14814	15314
TKD038	24000	16119	0	0	16619	17087	17587	18070	18570	19054	19554	20038	20538	21038	21522	22022
TKD039	24000	15045	1	0	15545	16013	16513	16996	17496	17980	18480	18964	19464	19948	20448	20932
TKD040	24000	13934	0	0	14434	14902	15402	15885	16385	16869	17369	17869	18353	18853	19337	19837
TKD041	24000	23368	0	1	23868	24336	24836	25319	25819	26303	26803	27287	27787	28271	28771	29255
TKD042	24000	12005	0	0	12505	12973	13473	13956	14456	14940	15440	15924	16424	16908	17408	17908
TKD043	24000	14907	0	0	15407	15875	16375	16858	17358	17842	18342	18826	19326	19826	20310	20810
TKD044	24000	7326	0	0	7826	8294	8794	9277	9777	10261	10761	11261	11745	12245	12729	13229

9.7 Anexo G: Proyección Motores de Propulsión

RH 24 Meses Parámetros Python

Figura 9.5: Resultado Proyección 24 Meses Parámetros Python

Equipo	TBO	Horas Actual	#RI	#PM	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
					Jan-25	Feb-25	Mar-25	Apr-25	May-25	Jun-25	Jul-25	Aug-25	Sep-25	Oct-25	Nov-25	Dec-25
TKD001	24000	4456	0	0	10859	11310	11810	12294	12794	13278	13778	14278	14762	15262	15746	16246
TKD002	24000	11556	0	0	17959	18410	18910	19394	19894	20378	20878	21378	21862	22362	22846	23346
TKD003	24000	16095	0	0	22498	22949	23449	23933	2	486	986	1486	1970	2470	2953	3453
TKD004	24000	2834	0	0	9237	9688	10188	10672	11172	11656	12156	12656	13140	13640	14124	14624
TKD005	24000	14150	1	0	3469	3920	4420	4904	5404	5888	6388	6888	7371	7871	8355	8855
TKD006	24000	22095	0	1	4453	4905	5405	5889	6389	6873	7372	7872	8356	8856	9340	9840
TKD007	24000	4633	0	0	11036	11487	11987	12471	12971	13455	13955	14455	14939	15439	15923	16423
TKD008	24000	712	0	0	7115	7566	8066	8550	9050	9534	10034	10534	11018	11518	12002	12502
TKD009	24000	2765	0	0	9168	9619	10119	10603	11103	11587	12087	12587	13071	13571	14055	14555
TKD010	24000	14042	0	0	20445	20896	21396	21880	22380	22864	23364	23864	2	502	986	1486
TKD011	24000	22429	0	1	4453	4905	5405	5889	6389	6873	7372	7872	8356	8856	9340	9840
TKD012	24000	20886	1	0	5436	5888	6388	6872	7371	7855	8355	8855	9339	9839	10323	10823
TKD013	24000	852	0	0	7255	7706	8206	8690	9190	9674	10174	10674	11158	11658	12142	12642
TKD014	24000	15315	0	0	21718	22169	22669	23153	23653	2	502	1002	1486	1986	2470	2970
TKD015	24000	20328	0	1	2470	2921	3421	3905	4405	4889	5389	5889	6373	6873	7356	7856
TKD016	24000	20010	0	1	1986	2437	2937	3421	3921	4405	4905	5405	5889	6389	6873	7372
TKD017	24000	8748	1	0	4452	4904	5404	5888	6388	6872	7371	7871	8355	8855	9339	9839
TKD018	24000	15022	0	0	21425	21876	22376	22860	23360	23844	2	502	986	1486	1970	2470
TKD019	24000	17993	0	0	2	454	954	1437	1937	2421	2921	3421	3905	4405	4889	5389
TKD020	24000	15047	0	0	21450	21901	22401	22885	23385	23869	2	502	986	1486	1970	2470
TKD021	24000	1046	0	0	7449	7900	8400	8884	9	485	985	1485	1969	2469	2952	3452
TKD022	24000	6036	0	0	12439	12890	13390	13874	14374	14858	15358	15858	16342	16842	17326	17826
TKD023	24000	3400	0	0	9803	10254	10754	11238	11738	12222	1	501	985	1485	1969	2469
TKD024	24000	7939	0	0	14342	14793	15293	15777	16277	16761	17261	17761	18245	18745	19229	19729
TKD025	24000	11022	0	0	17425	17876	18376	18860	19360	19844	20344	20844	21328	21828	22312	22812
TKD026	24000	18759	0	1	1002	1454	1953	2437	2937	3421	3921	4421	4905	5405	5889	6389
TKD027	24000	22936	0	1	4937	5389	5889	6373	6873	7356	7856	8356	8840	9340	9824	10324
TKD028	24000	9893	0	0	16296	16747	17247	17731	18231	18715	19215	19715	20199	20699	21183	21683
TKD029	24000	19075	0	1	1002	1454	1953	2437	2937	3421	3921	4421	4905	5405	5889	6389
TKD030	24000	4016	0	0	10419	10870	11370	11854	12354	12838	13338	13838	14322	14822	15306	15806
TKD031	24000	22357	0	1	4453	4905	5405	5889	6389	6873	7372	7872	8356	8856	9340	9840
TKD032	24000	19987	0	1	1986	2437	2937	3421	3921	4405	4905	5405	5889	6389	6873	7
TKD033	24000	11174	0	0	17577	18028	18528	19012	19512	19996	20496	20996	21480	21980	22464	22964
TKD034	24000	20675	0	1	2970	3421	3921	4405	4905	5389	5889	6389	6873	7372	7856	8356
TKD035	24000	19033	0	1	1002	1454	1953	2437	2937	3421	3921	4421	4905	5405	5889	6389
TKD036	24000	24986	0	1	5905	6356	6856	7340	7840	8324	8824	9324	9808	10308	10792	11292
TKD037	24000	9411	0	0	15814	16265	16765	17249	17749	18233	18733	19233	19717	20217	20701	21201
TKD038	24000	16119	0	0	22522	22973	23473	23957	2	486	986	1486	1970	2470	2953	3453
TKD039	24000	15045	1	0	3469	3920	4420	4904	5404	5888	6388	6888	7371	7871	8355	8855
TKD040	24000	13934	0	0	20337	20788	21288	21772	22272	22756	23256	23756	2	502	986	1486
TKD041	24000	23368	0	1	5437	5889	6389	6873	7372	7856	8356	8856	9340	9840	10324	10824
TKD042	24000	12005	0	0	18408	18859	19359	19843	20343	20827	21327	21827	22311	22811	23295	23795
TKD043	24000	14907	0	0	21310	21761	22261	22745	23245	23729	2	502	986	1486	1970	2470
TKD044	24000	7326	0	0	13729	14180	14680	15164	15664	16148	16648	17148	17632	18132	18616	19116

9.8 Anexo G: Proyección Motores de Propulsión

RH 36 Meses Parámetros Python

Figura 9.6: Resultado Proyección 36 Meses Parámetros Python

Equipo	TBO	Horas Actual	#RI	#PM	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
					Jan-26	Feb-26	Mar-26	Apr-26	May-26	Jun-26	Jul-26	Aug-26	Sep-26	Oct-26	Nov-26	Dec-26
TKD001	24000	4456	0	0	16746	17197	17697	18181	18681	19165	19665	20165	20649	21148	21632	22132
TKD002	24000	11556	0	0	23846	2	502	986	1486	1970	2470	2970	3453	3953	4437	4937
TKD003	24000	16095	0	0	3953	4405	4905	5389	5889	6373	6873	7372	7856	8356	8840	9340
TKD004	24000	2834	0	0	15124	15575	16075	16559	17059	17543	18043	18543	19027	19526	20010	20510
TKD005	24000	14150	1	0	9355	9807	10307	10791	11291	11774	12274	12774	13258	13758	14242	14742
TKD006	24000	22095	0	1	10340	10792	11292	11775	12275	12759	13259	13759	14243	14743	15227	15727
TKD007	24000	4633	0	0	16923	17374	17874	18358	18858	19342	19842	20342	20826	21325	21809	22309
TKD008	24000	712	0	0	13002	13453	13953	14437	14937	15421	15921	16421	16905	17404	17888	18388
TKD009	24000	2765	0	0	1	453	953	1436	1936	2420	2920	3420	3904	4404	4888	5388
TKD010	24000	14042	0	0	1986	2437	2937	3421	3921	4405	4905	5405	5889	1	485	985
TKD011	24000	22429	0	1	10340	10792	11292	11775	12275	12759	13259	13759	14243	14743	15227	15727
TKD012	24000	20886	1	0	11323	11774	12274	12758	13258	13742	14242	14742	15226	15726	16210	16710
TKD013	24000	852	0	0	13142	13593	14093	14577	15077	15561	16061	16561	17045	17544	18028	18528
TKD014	24000	15315	0	0	3470	3921	4421	4905	5405	5889	6389	6889	7372	7872	8356	8856
TKD015	24000	20328	0	1	8356	8808	9308	9792	10292	10776	11275	11775	12259	12759	13243	13743
TKD016	24000	20010	0	1	7872	8324	8824	9308	9808	10292	10792	11292	11775	12275	12759	13259
TKD017	24000	8748	1	0	10339	10791	11291	11774	12274	12758	13258	13758	14242	14742	1	501
TKD018	24000	15022	0	0	2970	3421	3921	4405	4905	5389	5889	6389	6873	7372	7856	8356
TKD019	24000	17993	0	0	5889	6340	6840	7324	7824	8308	8808	9308	9792	10292	10776	11275
TKD020	24000	15047	0	0	2970	3421	3921	4405	4905	5389	5889	6389	6873	7372	7856	8356
TKD021	24000	1046	0	0	3952	4404	4904	5388	5888	6372	6872	7371	7855	8355	8839	9339
TKD022	24000	6036	0	0	18326	18777	19277	19761	20261	20745	21245	21745	22229	22728	23212	23712
TKD023	24000	3400	0	0	2969	3420	3920	4404	4904	5388	5888	6388	6872	7371	7855	8355
TKD024	24000	7939	0	0	1	453	953	1436	1936	2420	2920	3420	3904	4404	4888	5388
TKD025	24000	11022	0	0	23312	23763	2	486	986	1470	1970	2470	2953	3453	3937	4437
TKD026	24000	18759	0	1	6889	7340	7840	8324	8824	1	501	1001	1485	1985	2469	2969
TKD027	24000	22936	0	1	10824	11275	11775	12259	12759	13243	13743	14243	14727	15227	15711	16211
TKD028	24000	9893	0	0	22183	22634	23134	23618	2	486	986	1486	1970	2470	2953	3453
TKD029	24000	19075	0	1	6889	7340	7840	8324	8824	9308	9808	10308	10792	11292	11775	12275
TKD030	24000	4016	0	0	16306	16757	17257	17741	18241	18725	19225	19725	20209	20708	21192	21692
TKD031	24000	22357	0	1	10340	10792	11292	11775	1	485	985	1485	1969	2469	2952	3452
TKD032	24000	19987	0	1	501	953	1453	1936	2436	2920	3420	3920	4404	4904	1	501
TKD033	24000	11174	0	0	23464	23915	2	486	986	1470	1970	2470	2953	3453	3937	4437
TKD034	24000	20675	0	1	8856	9308	9808	10292	10792	11275	11775	12275	12759	13259	13743	14243
TKD035	24000	19033	0	1	6889	7340	7840	8324	8824	9308	9808	10308	10792	11292	11775	12275
TKD036	24000	24986	0	1	11792	12243	12743	13227	13727	14211	14711	15211	15695	16195	16678	17178
TKD037	24000	9411	0	0	21701	22152	22652	23136	23636	2	502	1002	1486	1986	2470	2970
TKD038	24000	16119	0	0	3953	4405	4905	5389	5889	6373	6873	7372	7856	8356	8840	9340
TKD039	24000	15045	1	0	9355	9807	10307	10791	11291	11774	12274	12774	13258	13758	14242	14742
TKD040	24000	13934	0	0	1986	2437	2937	3421	3921	4405	4905	5405	5889	6389	6873	7372
TKD041	24000	23368	0	1	11324	11775	12275	12759	13259	13743	14243	14743	15227	15727	16211	16711
TKD042	24000	12005	0	0	2	454	954	1437	1937	2421	2921	3421	3905	4405	4889	5389
TKD043	24000	14907	0	0	2970	3421	3921	4405	4905	5389	5889	6389	6873	7372	7856	8356
TKD044	24000	7326	0	0	19616	20067	20567	21051	21551	22035	22535	23035	23519	2	486	986

9.9 Anexo H: Código Python Para Obtener Parámetros Weibull

Figura 9.7: Código Python Para Obtener Parámetros

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.special
from scipy.stats import weibull_min
import numpy as np

# Ruta completa del archivo Excel en el escritorio
ruta_archivo_excel = r'C:\Users\aaaleg\Desktop\horas entre fallas PY.xlsx'

# Nombre de la hoja de Excel que contiene los datos
nombre_hoja = 'Hoja1'

# Carga los datos desde el archivo Excel
df = pd.read_excel(ruta_archivo_excel, sheet_name=nombre_hoja)

# Extrae la columna "hora de cambio" para el análisis
hora_de_cambio = df['hora de cambio']
# Estimación de Parámetros Dist.Weibull:
n = len(df)                                # Numero muestral
df['kj'] = range(1,n+1)                    # SIN ranking ajustado
df['Ft_b'] = (df['kj']+0.3)/(n+0.4)         # F(t): Rango Mediana de Benard
df['Rt_b'] = 1-df['Ft_b']                  # R(t): Confiabilidad

# Listas con la Info Necesaria:
kj = df['kj'].values.tolist()
Ti_l = df['hora de cambio'].values.tolist()
Rt_b = df['Rt_b'].values.tolist()

# Pendiente e Intersección: Método Mínimos Cuadrados
nr = len(Ejex)
sumx,sumy = sum(Ejex), sum(Ejey)
XY = [Ejex[i]*Ejey[i] for i in range(nr)]
X2 = [Ejex[i]**2 for i in range(nr)]
Y2 = [Ejey[i]**2 for i in range(nr)]
sumxy, sumx2 = sum(XY), sum(X2)

# Coef. de Correlación y Coef. de Determinación R^2
# Cuadrado del Coeficiente de correlación de Pearson (rxy)^2:
#destx = statistics.stdev(Ejex)
#desty = statistics.stdev(Ejey)
#rxy = (sumxy-nr*(sumx/nr)*(sumy/nr))/((nr-1)*destx*desty)
#R2 = rxy**2
```

```

decimales = 2

# Intersección (A) y Pendiente (B):
B = (nr * sumxy - sumx * sumy) / (nr * sumx2 - (sumx ) ** 2)
A = (sumy - B * sumx ) / nr

RA = f'{A:.{decimales}f}'
RB = f'{B:.{decimales}f}'

print('RESULTADOS')
print('Ecuación de Regresión: ',RB,'X +',RA)
#print('Coef de Determinación R^2: ',R2)
Ec = [A+B*Ejex[i] for i in range(len(Ejex))]

```

```

# Estimación de Parámetros Weibull:
Alpha = np.exp(-A / B)
Beta = B
MTBF= Alpha*scipy.special.gamma(1+(1/Beta))

Resultado1 = f'{Alpha:.{decimales}f}'
Resultado2 = f'{Beta:.{decimales}f}'
Resultado3 = f'{MTBF:.{decimales}f}'

print('Alpha = ',Resultado1)
print('Beta = ', Resultado2)
print('MTBF = ', Resultado3)

# Ploteo del Grafico Dispersion Weibull:
plt.scatter(Ejex,Ejey,alpha=0.3,label='Datos',c='red')
plt.plot(Ejex,Ec,label='Linea Tendencia')
plt.title('Gráfico de Dispersión Weibull Ajustado')
plt.xlabel('Ln(ti)')
plt.ylabel('Ln(-Ln(R(ti)))')
plt.legend()
plt.show()
plt.clf()

```

9.10 Anexo I: Horas Entre Falla Para Python

Tabla 9.3: Tabla Horas Entre Falla Para Python

Equipo	Hora de cambio
TKD 80	2127.31
TKD 66	2380.21
TKD 78	4180.62
TKD 80	4232.87
TKD 89	4327.11
TKD 68	4926.68
TKD 96	8693.63
TKD 99	9705.10
TKD 64	10552.30
TKD 97	10837.56
TKD 84	11082.64
TKD 68	12074.59
TKD 81	12512.64
TKD 59	12802.30
TKD 97	14015.84
TKD 66	14039.25
TKD 62	14682.70
TKD 89	15659.52
TKD 76	16937.58
TKD 59	17287.82
TKD 61	18520.16
TKD 85	19649.54
TKD 68	19782.83

Equipo	Hora de cambio
TKD 60	21238.37
TKD 66	21262.74
TKD 85	21422.49
TKD 58	21963.17
TKD 59	22860.66
TKD 58	22925.83
TKD 103	25601.45
TKD 72	26680.40
TKD 60	26908.89
TKD 102	27401.89
TKD 94	27434.89
TKD 60	27713.63
TKD 90	27774.99
TKD 101	27894.04
TKD 69	27937.16
TKD 64	28071.39
TKD 87	28170.15
TKD 93	28171.91
TKD 70	28289.37
TKD 95	28446.51
TKD 64	28488.27
TKD 91	28516.50
TKD 82	28522.48
TKD 65	28539.34
TKD 66	28550.03

Equipo	Hora de cambio
TKD 61	28551.22
TKD 63	28556.37
TKD 92	28613.68
TKD 100	28696.60
TKD 78	28701.60
TKD 73	28724.70
TKD 67	28820.52
TKD 80	29122.19
TKD 78	29196.60
TKD 74	29327.71
TKD 63	29330.53
TKD 69	29467.10
TKD 86	29548.70
TKD 88	29722.16
TKD 83	29794.49
TKD 96	29855.24
TKD 80	29863.71
TKD 89	29937.48
TKD 79	30095.79
TKD 79	30115.12
TKD 98	30116.47
TKD 82	30120.33
TKD 68	30227.77
TKD 77	30416.95
TKD 65	30481.52

Equipo	Hora de cambio
TKD 86	30601.62
TKD 58	30668.53
TKD 83	30969.49
TKD 62	31271.37
TKD 67	31313.50
TKD 73	31639.50
TKD 70	31740.21
TKD 74	32281.47
TKD 76	32830.46
TKD 84	34148.62
TKD 81	34448.83
TKD 77	34952.39
TKD 72	35579.64

Referencias

Andrews, K. R. (1987). The concept of corporate strategy.

Arata Andreani, A., Furlanetto, L., Kristjanpoller Rodríguez, F., Stegmaier Bravo, R., and Atzori, B. (2005). Manual de gestión de activos y mantenimiento.

Jardine, A. and Tsang, A. (2005). Maintenance, replacement, and reliability theory and applications.

Knezevik, J. (1996). Mantenibilidad.

Palmer, R. D. (2005). Maintenance planning and scheduling handbook.

Pascual J, R. (2020). El arte de mantener.

Payant, R. P. and Lewis, B. T. (2007). Facility manager's maintenance handbook.

Rubin de Celis, J. C. (2017). Gestión estratégica.

Tobias, P. and Trindade, D. (2011). Applied reliability.