



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“USO DE LA DISTRIBUCIÓN WEIBULL PARA MEJORAR EL PROCESO DE TOMA DE DECISIONES DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO PALAS EN UNA EMPRESA DEL SECTOR MINERO”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

Bachiller: Yván Leonidas Peláez Villanueva

Bachiller Ronmel Leoncio Valcárcel Bornas

Asesor:

MBA. Ing. Mylena Karen Vílchez Torres

Cajamarca - Perú

2019

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis madres: Teresa Villanueva y María Mercedes Solórzano; quienes han sido mi ejemplo de trabajo, esfuerzo y dedicación. Y con su apoyo incondicional he logrado superar muchas dificultades en la vida.

A todas las personal que de algún modo han colaborado para la realización de este trabajo, en especial a nuestra asesora Mylena Karen Vílchez Torres.

Yván Leonidas Peláez Villanueva

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi querida madre Alcira Isabel, ella como profesora me inculco la superación permanente y su apoyo incondicional.

A mí amada esposa y compañera de mi vida Agnieszka Jadwiga por su tolerancia y apoyo permanente un todo momento.

A mis hijos Sara y Daniel quienes son los motores en mi día a día para seguir consiguiendo logros y ser una mejor persona.

A mis hermanos Lourdes, Jose y Enmanuel quienes me motivaron y apoyaron incondicionalmente.

A los amigos y compañeros que en algún momento supieron darme sus enseñanzas y consejos.

Rommel Leoncio Valcárcel Bornas

AGRADECIMIENTO

A Dios y la Santísima Virgen que siempre derraman sus bendiciones en cada proyecto que emprendo.

A los docentes de la Universidad Privada del Norte, que con su ayuda y conocimientos enriquecieron nuestra vida profesional y laboral.

Yván Leonidas Peláez Villanueva

Primeramente agradezco a Dios por colmarnos de bendiciones y gozar de salud en todo momento.

Agradezco también a mi familia por comprender y apoyarme en todo momento de mi vida.

Mi reconocimiento y agradecimiento a los docentes de la Universidad Privada del norte por impartirnos sus conocimientos y consejos para fortalecernos como personas y desarrollarnos como profesionales, en especial a nuestra asesora Mylena Karen Vilchez Torres.

Rommel Leoncio Valcárcel Bornas

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	15
CAPÍTULO III. RESULTADOS	28
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	65
REFERENCIAS	68
ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tiempo Promedio entre Fallas	16
Tabla 2 Tiempo Promedio para Reparar	16
Tabla 3 Disponibilidad de Flota.....	17
Tabla 4 Disponibilidad Suavizada	17
Tabla 5 Componentes Críticos.....	17
Tabla 6 Repuestos Críticos	18
Tabla 7 Confiabilidad y Probabilidad de Falla	18
Tabla 8 Variables Weibull	20
Tabla 9 Parámetros Weibull	20
Tabla 10 Resultados.....	21
Tabla 11 Detalle del Repuesto	22
Tabla 12 Intervención Correctiva de Falla.....	22
Tabla 13 Calculo del MTTF y Costos óptimos	23
Tabla 14 Intervención Óptima	23
Tabla 15 Datos del equipo	24
Tabla 16 Política de intercambio de componentes óptimo propuesto.....	24
Tabla 17 Matriz de técnicas e instrumentos.....	25
Tabla 18 Lista de verificación de técnicas e instrumentos.....	26
Tabla 19 Matriz de Consistencia	27
Tabla 20 Tiempo Promedio entre Fallas	32
Tabla 21 Tiempo Promedio para Reparar	32
Tabla 22 Confiabilidad y Probabilidad de Falla	39
Tabla 23 Variables Weibull	45
Tabla 24 Resultados de Parámetros	46
Tabla 25 Detalle del Repuesto	47
Tabla 26 Resultados del Costo Global Óptimo.....	50
Tabla 27 Confiabilidad y Probabilidad de Falla	52
Tabla 28 Variables Weibull	58
Tabla 29 Resultados de Parámetros	59
Tabla 30 Detalle del Repuesto	60
Tabla 31 Resultados del Costo Global Óptimo.....	62
Tabla 32 Disponibilidad de Flota.....	71
Tabla 33 Disponibilidad Suavizada	71
Tabla 34 Componentes Críticos.....	72
Tabla 35 Repuestos Críticos	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Gráfico 1 Disponibilidad de Equipo	15
Gráfico 2 Paradas para mantenimiento por equipo.....	15
Gráfico 3 Flujograma de toma de decisiones antes del uso de Weibull.....	28
Gráfico 4 Disponibilidad de Equipo	29
Gráfico 5 Paradas para mantenimiento por equipo.....	29
Gráfico 6 Flujograma de limitaciones – toma de decisión actual	30
Gráfico 7 Flujograma de Análisis de datos.....	31
Gráfico 8 Disponibilidad de Palas	33
Gráfico 9 Disponibilidad Suavizada de Flota.....	33
Gráfico 10 Pareto Componentes Críticos	34
Gráfico 11 Pareto Repuestos Críticos.....	35
Gráfico 12 Modelo mejorado de toma de decisiones.....	36
Gráfico 13 Caso Real antes y después de la mejora	37
Gráfico 14 Caso real antes de la mejora	37
Gráfico 15 Componente y Repuestos a Analizar sin mejora	38
Gráfico 16 Confiabilidad R(t) del 1º dato del inyector	38
Gráfico 17 Confiabilidad R(t) del 2º dato del inyector	39
Gráfico 18 Datos con Delta 0	40
Gráfico 19 Cálculo de la variable X e Y para la Distribución Weibull.....	40
Gráfico 20 Cálculo de Beta.....	41
Gráfico 21 Cálculo de Eta	41
Gráfico 22 Cálculo del Tiempo Promedio para la Falla	42
Gráfico 23 Cálculo del Coeficiente de Determinación	42
Gráfico 24 Cálculo de la Distribución de Weibull de 3 parámetros	43
Gráfico 25 Cálculo de Gama para Weibull de 3 Parámetros con Solver	44
Gráfico 26 Valor de Gamma	44
Gráfico 27 Weibull de Dos Parámetros.....	45
Gráfico 28 Valor MTTF	47
Gráfico 29 Cálculo de la Confiabilidad.....	48
Gráfico 30 Cálculo del Costo Global Correctivo.....	48
Gráfico 31 Cálculo del Costo Global Óptimo	49
Gráfico 32 Caso real después de la mejora.....	50
Gráfico 33 Componentes y Repuestos a analizar con la mejora.....	50
Gráfico 34 Confiabilidad R(t) del 1º dato del inyector	51
Gráfico 35 Confiabilidad R(t) del 2º dato del inyector	51
Gráfico 36 Datos con Delta 0	52
Gráfico 37 Cálculo de la variable X e Y para la Distribución Weibull.....	53
Gráfico 38 Cálculo de Beta	53
Gráfico 39 Cálculo de Eta	54
Gráfico 40 Cálculo del Tiempo Promedio para la Falla	54
Gráfico 41 Cálculo del Coeficiente de Determinación	55
Gráfico 42 Cálculo de la Distribución de Weibull de 3 parámetros	55
Gráfico 43 Cálculo de Gama para Weibull de 3 Parámetros con Solver	56
Gráfico 44 Valor de Gamma	57
Gráfico 45 Weibull de Dos Parámetros.....	58
Gráfico 46 Valor MTTF	60
Gráfico 47 Cálculo de la Confiabilidad.....	61
Gráfico 48 Cálculo del Costo Global Correctivo.....	61
Gráfico 49 Cálculo del Costo Global Óptimo	62
Gráfico 50 Cálculo del costo Optimo	63

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Disponibilidad Mecánica.....	17
Ecuación 2 Confiabilidad de falla	19
Ecuación 3 Probabilidad de Falla.....	19
Ecuación 4 Variable X de Weibull 2P.....	20
Ecuación 5 Variable X de Weibull 3P.....	20
Ecuación 6 Variable Y de Weibull 2P y 3P	20
Ecuación 7 Beta	21
Ecuación 8 Eta	21
Ecuación 9 MTTF	21
Ecuación 10 R2	21
Ecuación 11 Costo intervención preventiva	22
Ecuación 12 Costo intervención Correctiva	22
Ecuación 13 Costo de falla por Correctivo.....	22
Ecuación 14 Confiabilidad con Parámetros	22
Ecuación 15 Costo Global Correctivo	23
Ecuación 16 Costo total por flota al año.....	24
Ecuación 17 Beneficio	24

RESUMEN

Una de las tareas más demandantes de los dirigentes de las organizaciones es la toma de decisiones, de las cuales depende toda una estructura que incluye procesos y personas. Esta investigación busca mostrar cómo los encargados de la toma de decisiones pueden encontrar en el enfoque ingenieril y en la herramienta de Distribución Weibull un proceso que apoye a la toma de decisiones. Dentro de ese contexto, se podría implementar un nuevo proceso de toma de decisiones utilizando la herramienta de Distribución Weibull para calcular el impacto de una decisión de mejora en una organización; disminuyendo el grado de riesgo de la decisión. Se ha propuesto realizar una investigación que permita mostrar al caso en estudio la necesidad de un proceso de toma de decisión mejorado y para ello haremos uso de la distribución de Weibull. La metodología propuesta incorpora a la toma de decisión actual la gestión optimizada del historial de fallas y los parámetros de la distribución de Weibull para obtener el tiempo promedio a fallar y poder calcular costos necesarios para valorizar el beneficio. Siendo nuestro objetivo principal el determinar el beneficio del uso de la distribución de Weibull en la mejora del proceso de toma de decisiones, se obtuvo como resultado principal que el proceso de toma de decisiones mejorado nos brinda más beneficios; como el de permitir valorizar costos y beneficios de una mejora implementada. Concluyendo que con el uso de la distribución de Weibull en la toma de decisiones obtenemos resultados más exactos y confiables en un escenario donde se tiene información para el análisis estadístico.

Palabras clave: decisión, mejora, distribución, Weibull, proceso.

ABSTRACT

One of the most demanding tasks of the leaders of organizations is decision-making, on which depends a whole structure that includes processes and people. This research seeks to show how decision makers can find in the engineering approach and in the Weibull Distribution tool a process that supports decision making. Within this context, a new decision-making process could be implemented using the Weibull Distribution tool to calculate the impact of an improvement decision in an organization; decreasing the degree of risk of the decision. It has been proposed to carry out an investigation that allows to show the case under study the need for an improved decision making process and for this we will use the Weibull distribution. The proposed methodology incorporates the optimized fault history management and parameters of the Weibull distribution into the current decision making to obtain the average time to fail and be able to calculate costs necessary to value the benefit. Being our main objective to determine the benefit of the use of the Weibull distribution in the improvement of the decision making process, the main result was that the improved decision-making process gives us more benefits; as that of allowing to value costs and benefits of an improvement implemented. Concluding that with the use of the Weibull distribution in decision making we obtain more accurate and reliable results in a scenario where we have information for statistical analysis.

Keywords: decision, improvement, distribution, Weibull, process.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Actualmente, la sociedad orienta a los directivos y gerentes para que, además de ser aptos en el desempeño de sus puestos puedan administrar de manera óptima los recursos de la organización. Los mismos constituyen una parte fundamental en la organización ya que son los encargados de tomar las decisiones más importantes que determinarán el desempeño de la misma. Por esa razón, sus decisiones deben tomarse de forma correcta (Morales C. I., 2014).

La supervivencia de las empresas actuales depende cada vez más de las decisiones que se toman (Garza Ríos, González Sánchez, & Salinas Gómez, 2007) y uno de los principales retos del campo de la estrategia ha sido el desarrollo de herramientas que permitan apoyar el proceso de toma de decisiones estratégicas (Molina & Rivera, 2012). Este panorama pone de manifiesto dos hechos; de un lado, la necesidad de buscar un método que permita comprender las situaciones para apoyar la toma de decisiones. De otro lado, la necesidad de potenciar la intuición con modelos y técnicas no tradicionales como, por ejemplo, los provenientes o inspirados por la ingeniería y la simulación; Así, determinar la efectividad de la aplicación de un modelo aplicado en una situación determinada, facilitará el proceso de la toma de decisiones (Rodríguez, 2013).

Las empresas actuales aspiran a ser excelentes en su gestión, por lo que deben fundamentar el proceso de toma de decisiones lo que redundará en una elevación de la eficiencia de la organización, esto se debe a que las empresas se vuelven más complejas cada día, los entornos están cambiando tan rápido que las prácticas

anteriores ya no son las adecuadas y ha aumentado el costo de tomar decisiones incorrectas (Garza Ríos, González Sánchez, & Salinas Gómez, 2007).

Al hablar de la toma de decisiones en las empresas, se hace imprescindible definir el concepto decisión. La palabra decisión proviene de la raíz latina *decido* que significa cortar, es decir; corte entre el pasado y el futuro. Por lo que decisión, es la respuesta adecuada de un ser inteligente ante una situación que requiere acción (Garza Ríos, González Sánchez, & Salinas Gómez, 2007).

Por su parte (Info Entrepreneurs, 2016) manifiesta que muchas de las empresas de servicio o comercializadoras se preocupan por obtener mayores beneficios, es por eso que cada empresa está en la búsqueda de reducir eficientemente los costos incurridos en el proceso productivo. Ya sea en los costos directos, que son medios o factores consumidos en el proceso por un producto, o por un centro o sección de costo sobre los que se puede calcular objetivamente su medida técnica y económica; o en los costos indirectos, son los que incluyen el consumo de factores o medios de producción que, por afectar al proceso en su conjunto, se deben imputar a los productos a través de bases de distribución (Verasay, 2013).

En la revista Kleenoil Latinoamérica (PEMEX, 2014) nos dice que actualmente hay empresas que se preocupan por conocer donde se encuentran los elevados costos de mantenimiento; y en muchos casos implementan nuevas tecnologías (mejoras) que permitan reducir estos costos. Nuestro caso en estudio ha implementado algunas mejoras; pero no tiene la herramienta para determinar el impacto de estas mejoras.

Adicionalmente (Huamán, 2008) nos dice que la industria minera por la naturaleza de los trabajos, requiere de equipos capaces de trabajar en forma continua durante el ciclo

de su vida económica. Con el transcurso del tiempo y uso, además de soportar grandes esfuerzos y de realizar trabajos bajo condiciones severas y adversas, sufren un desgaste prematuro en algunos de sus componentes para cumplir con la demanda de la producción. Considerando que la inoperancia de los equipos siempre genera baja producción para evitar la disminución de la disponibilidad del equipo, se debe realizar una selección con parámetros específicos de las reales condiciones de trabajo.

Considerando lo dicho por Juan Carlos Barreto acerca de los desgastes o fallas que puede sufrir un componente o repuesto, analizaremos la estructura de tiempos de falla (Anexo 1), que comprende; **Tiempo promedio entre fallas (MTBF)**; donde (CAMPILLO & ARANGO, 2012) nos menciona que es el tiempo promedio de que un equipo, máquina, línea o planta cumple su función sin interrupción debido a una falla funcional; **Tiempo promedio para reparar (MTTR)**; según (CAMPILLO & ARANGO, 2012) es el tiempo promedio para reparar la función de un equipo, línea, maquinaria o proceso después de una falla funcional, este incluye el tiempo para analizar y diagnosticar la falla, y el **Tiempo promedio para fallar (MTTF)**; donde (Castaño, 2014) menciona que es el tiempo medio a falla. Es el tiempo medio de exposición entre reparaciones consecutivas de un componente y la próxima falla de ese mismo componente. Conociendo estos tiempos promedios y con el uso de la distribución de Weibull, la que según (CAMPILLO & ARANGO, 2012) es un modelo estadístico que representa la probabilidad de fallos de algún elemento después de un tiempo transcurrido, analizaremos alguna mejora implementada por el caso en estudio. El caso en estudio; en sus unidades de excavadoras hidráulicas de acarreo de mineral, las cuales cuentan con motores Diésel de última generación, han implementado

algunas mejoras, buscando que disminuyan los costos de mantenimiento - no lográndose aún determinar el costo beneficio de éstas implementaciones - en éste sentido la gerencia de mantenimiento busca una herramienta para determinar la influencia de las nuevas mejoras. Es necesario hallar una herramienta que permita determinar cuan eficiente son estas mejoras en el costo de mantenimiento del equipo en la actualidad.

Por lo tanto, comprobaremos que el uso de la distribución de Weibull es una herramienta que mejora el proceso de toma de decisión, luego de comprobar la posible minimización de los costos de mantenimiento.

1.2. Formulación del problema

¿En cuánto el uso de la distribución de Weibull mejora el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento en el sector minas?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el beneficio del uso de la distribución de Weibull en la mejora del proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento en el sector minas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el proceso actual de toma de decisiones del área de mantenimiento.
- Seleccionar un caso real de mejora en la flota, en el cual probar el antes y después del proceso de toma de decisiones.
- Diseñar la mejora de toma de decisiones usando la distribución de Weibull.
- Aplicar la mejora del proceso de toma de decisiones en el caso real de mejora de la flota de palas hidráulicas.
- Comparar el proceso de toma de decisión actual con el proceso mejorado.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según su propósito, la investigación fue Aplicada. La tesis se centró en aplicar la distribución de Weibull como herramienta de apoyo.

Según la profundidad, la investigación fue descriptiva. Nos limitamos a observar y describir el comportamiento de la variable.

Según la naturaleza de sus datos, la investigación fue cuantitativa. Analizamos los números obtenidos por los indicadores para dar respuesta a los objetivos.

Según su manipulación de las variables, la investigación fue no experimental. Trabajamos con información directa y no se manipuló ningún dato.

2.2. Métodos

Para demostrar el beneficio de usar la distribución de Weibull, primero se analizó el proceso actual de toma de decisiones en el caso de estudio. Sus gerentes y jefaturas identifican el equipo de baja disponibilidad (gráfico 1) y mediante sus paradas de mantenimiento hallan el componente y repuesto que ha generado la demora (gráfico 2)

Equipo	Objetivo (%)	Disponibilidad	
		Actual (%)	<Diff> (%)

Gráfico 1 Disponibilidad de Equipo

EQUIPO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO

Gráfico 2 Paradas para mantenimiento por equipo

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

Luego se seleccionó un caso real de mejora en la flota, para poder usar el proceso mejorado de toma de decisiones usando la distribución de Weibull. Para la selección del caso real de mejora se ubicó la pala que posee menos disponibilidad, conociendo los tiempos promedios entre fallas de la flota en palas hidráulicas del modelo EX2500 (MTBF) (Tabla 1)

Tabla 1

Tiempo Promedio entre Fallas

(MTBF) Tiempo promedio entre fallas de la flota de palas hidráulicas modelo EX2500					
Fecha	Pala A	Pala B	Pala C	Pala D	MTBF PALAS

Y los tiempos promedios para reparar, de la flota de palas hidráulicas modelo EX2500 (MTTR) (Tabla 2)

Tabla 2

Tiempo Promedio para Reparar

(MTTR) Tiempo promedio para reparar de la flota de palas hidráulicas modelo EX2500 con 4 equipos					
Fecha	Pala A	Pala B	Pala C	Pala D	MTTR PALAS

Estos datos sirvieron para hallar la disponibilidad de la flota con la ecuación 1, mostrada en la tabla 3 y 4 respectivamente (Anexo 2):

Tabla 3

Disponibilidad de Flota

Disponibilidad Mecánica de la flota de palas hidráulicas EX2500							
Fecha	Pala A	Pala B	Pala C	Pala D	Disp.	DispMin	DispMax

$$\text{Disponibilidad} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) \quad (1)$$

Tabla 4

Disponibilidad Suavizada

Disponibilidad suavizada mecánica de la flota de palas hidráulicas modelos EX2500

Fecha	Pala A	Pala B	Pala C	Pala D	Disp. S	DispMin	DispMax
-------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------

De la información obtenida; una pala hidráulica posee 25 componentes críticos; mediante Pareto se determinó el componente crítico sobre el cual evaluar las decisiones de mejora a tomar y poder valorar el uso de la distribución de Weibull. Con respecto al repuesto crítico del componente, también se determinó de la misma forma con el uso del diagrama de Pareto. Estos datos fueron ordenados por el tiempo de intercambio de componentes y repuestos, los cuales serán mostrados en tablas como las siguientes (Tabla 5 y 6 correspondientemente) (Anexo 3):

Tabla 5

Componentes Críticos

Item	Nombre del componente	TFS (Hrs)
------	-----------------------	-----------

Tabla 6

Repuestos Críticos

Item	Nombre del repuesto	TFS (Hrs)
------	---------------------	-----------

Y poder identificar los criterios de decisión y ponderarlos; es un beneficio que consiste en identificar aquellos aspectos que son relevantes al momento de tomar la decisión, es decir, aquellos indicadores de los cuales depende la decisión que se tome y asignar un valor relativo a la importancia que tiene cada criterio; todos los criterios son importantes pero no de igual forma. Otro beneficio es la evaluación de los resultados después de poner en marcha la decisión; es necesario evaluar el impacto de la mejora. Si el resultado no es el que se esperaba, se debe evaluar si debe darse un poco más de tiempo para obtener los resultados deseados o si definitivamente la decisión no fue la acertada.

Para obtener todos estos beneficios se diseñó un proceso de toma de decisiones mejorado usando la distribución de Weibull, la cual será mostrada en un flujograma más adelante.

Luego se procedió a la aplicación del proceso de toma de decisiones mejorado en un caso de mejora real; teniendo como referencia un rango de tiempo de un año aproximadamente, tenemos el número de ocurrencias de falla ($N^{\circ}(i)$), las horas de falla (TTF(t_i)) y el tipo de falla (Delta), se calculó la confiabilidad (R(t)) y la probabilidad de falla (F(t)) mediante las ecuaciones 2 y 3; y los datos obtenidos serán visualizados en una plantilla como la siguiente (tabla 7):

Tabla 7

Confiabilidad y Probabilidad de Falla

$N^{\circ}(i)$	TTF (t_i)	Delta	F(t)	R(t)
----------------	---------------	-------	----------	----------

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

$$R(ti) = \left(\frac{n+1-i}{n+2-i} \right)^{1-\delta} R(ti-1) \quad (2)$$

Donde:

R(ti): Confiabilidad de los datos históricos

n: Numero de datos de muestras.

i: Número de orden de falla

Delta: 1 si hay censura; 0 si es falla

R(ti-1): Confiabilidad anterior

(Lewis, 1987)

$$F(i) = \left(\frac{1-0.3}{n+0.4} \right) \quad (3)$$

Donde

F(i): Probabilidad de falla de los datos históricos.

i: Numero de orden de falla

n: Número de muestra de datos

(Pascual, 2005)

A partir de estos datos, se calculó las variables (X y Y), con las ecuaciones 4, 5 y 6, los cuales sirvieron para calcular los parámetros de la distribución de Weibull tanto de dos como de tres parámetros, estos datos se mostraran en la siguiente tabla (tabla 8):

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

Tabla 8

Variables Weibull

N °(i)	Inyector			Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))

$$X = \ln(ti) \quad (4)$$

$$X = \ln(ti-\gamma) \quad (5)$$

$$Y = \ln(\ln(1/R(t))) \quad (6)$$

Donde:

Ln(ti): Logaritmo natural del tiempo de fallo

(Morales, 2012)

Con los datos obtenidos, se calculó los parámetros de Weibull mediante las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 las cuales serán mostradas en la siguiente plantilla de tabla (tabla 9):

Tabla 9

Parámetros Weibull

N °(i)	Inyector			Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
				β		β	
				η		η	
				MTTF		MTTF	
				R2		R2	
				g		g	

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

$$\beta = \text{PENDIENTE (y, x)} \quad (7)$$

$$\eta = \text{EXP (-INTERSECCION.EJE(x, y)/}\beta) \quad (8)$$

$$\text{MTTF} = \gamma + \eta * \text{GAMMA (1+ (1/}\beta)) \quad (9)$$

$$\text{MTTF} = \gamma + \eta * \exp (\text{gamma.ln(1+1/ } \beta))$$

$$\text{R}2 = \text{COEFICIENTE.R2 (Y, X)} \quad (10)$$

Donde:

β : Parámetro Beta

η : Parámetro Eta

γ : Gamma

MTTF: Tiempo Promedio para Falla

R2: Coeficiente de Determinación

(Salazar Hernandez & Puma Veronica, 2017)

Los datos obtenidos se ordenaron en la siguiente plantilla de tabla (tabla 10), para calcular las intervenciones de mantenimiento correctivo, óptimo y costos del repuesto:

Tabla 10

Resultados

Resultados
Forma β
Escala η
Localizacion g
Vida Esperada MTTF
Vida Característica
Vida B10

Se procedió a calcular el costo de una intervención preventiva (Cip), el costo de intervención correctiva (Cic) y el costo de falla por correctivo (Cfc), con las ecuaciones 11, 12 y 13 respectivamente; y los datos se organizarán en una tabla como se muestra en la siguiente plantilla (tabla 11):

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

$$Cip = \text{Costo del repuesto} + (\text{Horas de instalación en máquina} * \text{Costo de Mano Obra}) \quad (11)$$

$$Cic = \text{Costo del repuesto} + (\text{Horas de instalación en máquina} * \text{Costo de Mano Obra}) \quad (12)$$

$$Cfc = Cip + \text{Factor del costo de falla} \quad (13)$$

(Salazar Hernandez & Puma Veronica, 2017)

Tabla 11

Detalle del Repuesto

Detalle del Repuesto & Costos
Nombre
Cantidad en máquina
Estado
Hrs de reemplazo de fábrica
Hrs de instalación en máquina
días de entrega de repuesto en pala
Costo del repuesto USD
Costo Mano Obra USD / hr
Cip USD
Cic USD
Factor del costo de falla
Cfc USD

Con los datos obtenidos de las plantillas de las tablas 10 y 11, se obtuvo la intervención correctiva de falla, mostrada en la siguiente plantilla (tabla 12):

Tabla 12

Intervención Correctiva de Falla

Intervención Correctiva Falla
Vida Esperada MTTF
Confiabilidad
Costo global correct \$/hr

En la plantilla de la tabla 12, para el cálculo de la confiabilidad y el costo global correctivo por hora se usó las ecuaciones 14 y 15 respectivamente:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (14)$$

(Pascual, 2005)

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

$$\text{Costo Global Correctivo} = (\text{Cic} + \text{Cfc}) / \text{Vida Esperada MTTF} \quad (15)$$

(Salazar Hernandez & Puma Veronica, 2017)

Para estimar la vida esperada óptima del repuesto se utilizó los costos de la plantilla de la tabla 11, para el cálculo del MTTF y los costos óptimos de acuerdo al número de horas del repuesto y los resultados serán visualizados en la siguiente plantilla (tabla 13):

Tabla 13

Cálculo del MTTF y Costos óptimos

Hrs (t)	R R (t)	CDF F(t)	MTTF (p) Hrs	Cgp \$/hr
------------	------------	-------------	-----------------	--------------

En la plantilla de la tabla 13 se ubicará el mínimo costo global óptimo por hora; dándonos a conocer la confiabilidad y el MTTF óptimo. Y estos datos serán trasladados a la siguiente plantilla (tabla 14):

Tabla 14

Intervención Óptima

Intervención Óptima
Vida Esperada MTTF optimo
Confiabilidad
Costo global preventivo \$/hr

Todos estos procedimientos fueron desarrollados en un caso real, antes y después de ser implementada la mejora en la pala hidráulica.

En la plantilla de la tabla 15 se visualizará las horas de la pala hidráulica en la operación:

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

Tabla 15

Datos del equipo

Datos de Equipo
Nombre
N° de Equipos
Hrs de trabado diario
Dias de Trabajo x Mes
Meses de Operación
Hrs de Ope Anual

Los datos obtenidos de las plantillas de las tablas 10, 12, 14 y 15 serán compilados en un plantilla (tabla 16); calculando el costo total por flota al año (ecuación 16) y el beneficio (ecuación 17):

Tabla 16

Política de intercambio de componentes óptimo propuesto

Política de intercambio de componentes Óptimo Propuesto	Sin Microfiltrado	Con Microfiltrado
Forma β		
Escala (hrs) η		
Localizacion (hrs) ϱ		
Vida Esperada (hrs) MTTF		
Vida Característica (hrs)		
Vida B10 (hrs)		
Correctivo		
Vida Esperada MTTF		
Confiabilidad		
Costo global correct \$/hr		
Óptimo		
Vida Esperada MTTF optimo		
Confiabilidad		
Costo global preventivo \$/hr		Beneficio
Costo total por flota \$ /año		

Costo total por flota \$ /año = N° equipos * Hrs Operación Anual * Costo Global Preventivo (16)

Beneficio = Costo total por flota \$ /año Sin Microfiltrado - Costo total por flota \$ /año Con Microfiltrado (17)

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

En la tabla 17 se mostró las técnicas e instrumentos a usar para calcular los indicadores.

Tabla 17

Matriz de técnicas e instrumentos

Objetivo específico	Indicador	Técnica	Instrumento	Fuente bibliográfica de la técnica
Diagnosticar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento.	Disponibilidad Paradas de Falla	Revisión Documental	Ficha Documental	Viene del autor Victoria Eugenia Valencia López; que indica que esta técnica permite identificar las investigaciones elaboradas con anterioridad y sus discusiones; delinear el objeto de estudio; construir premisas de partida.
Seleccionar un caso real de mejora en la flota, en el cual probar el antes y después del proceso de toma de decisiones.	MTBF, MTTR, Disponibilidad, R(t), F(t)	Revisión Documental	Ficha Documental	Viene del autor Victoria Eugenia Valencia López; que indica que esta técnica permite identificar las investigaciones elaboradas con anterioridad y sus discusiones; delinear el objeto de estudio; construir premisas de partida.
Diseñar la mejora de toma de decisiones usando la distribución de Weibull.	β , η , MTTF, R2, γ , MTTF, R(t), Cgp	Revisión Documental	Ficha Documental	Viene del autor Victoria Eugenia Valencia López; que indica que esta técnica permite identificar las investigaciones elaboradas con anterioridad y sus discusiones; delinear el objeto de estudio; construir premisas de partida.
Aplicar la mejora del proceso de toma de decisiones en el caso real de mejora de la flota de palas hidráulicas.	β , η , MTTF, R2, γ , MTTF, R(t), Cgp	Revisión Documental	Ficha Documental	Viene del autor Victoria Eugenia Valencia López; que indica que esta técnica permite identificar las investigaciones elaboradas con anterioridad y sus discusiones; delinear el objeto de estudio; construir premisas de partida.
Comparar el proceso de toma de decisión actual con el proceso mejorado.	MTTF, R(t), Cgp, Beneficio	Revisión Documental	Ficha Documental	Viene del autor Victoria Eugenia Valencia López; que indica que esta técnica permite identificar las investigaciones elaboradas con anterioridad y sus discusiones; delinear el objeto de estudio; construir premisas de partida.

En la tabla 18 se despejó algunas preguntas generales en forma afirmativa de los recursos para la obtención de información.

Tabla 18

Lista de verificación de técnicas e instrumentos

Preguntas generales	Si/No	Acciones por tomar
¿Se cuenta con accesos a todos los datos históricos de los equipos e instrumentos necesarios para la investigación?	SI	

2.4. Procedimiento

La recopilación de la información se obtuvo a través de una ficha documental, la cual constó de dos partes; la primera parte, consta de los datos de la pala hidráulica y se divide en tres secciones. La sección 1 con Datos del equipo, la sección 2 de componentes y repuestos y la sección 3 con datos históricos; la segunda parte consta de 2 ítems; El primer ítem con el número de inyectores instalados en el motor y el segundo ítem con los Datos históricos del inyector. Anexo 4 (Ficha Validada)

Con la información obtenida para la flota de palas, componente y repuestos, del caso en estudio, se completó todos los ítems requeridos en la ficha documental.

Con los datos de las secciones 2 y 3 se logró obtener la muestra a analizar. Con los datos obtenidos en el ítem 5 de la segunda parte se calculó los parámetros de la distribución de Weibull y sus indicadores. Y con los datos de la sección 1 del equipo y los indicadores de la distribución de Weibull se halló el beneficio antes y después de la mejora tomada como decisión.

2.5. Matriz de Consistencia

La matriz de consistencia se reflejó en la tabla 19.

Tabla 19

Matriz de Consistencia

Título	Formulación del problema	Objetivo 1. General	Variable	indicadores	Diseño de la Investigación
Uso de la distribución weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento en el sector minas	¿Cómo el uso de la distribución de Weibull mejora el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento en el sector minas?	<p>Determinar el beneficio del uso de la distribución de Weibull en la mejora del proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento en el sector minas.</p> <p>2. Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Diagnosticar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento. * Seleccionar un caso real de mejora en la flota, en el cual probar el antes y después del proceso de toma de decisiones. * Diseñar la mejora de toma de decisiones usando la distribución de Weibull. * Aplicar la mejora del proceso de toma de decisiones en el caso real de mejora de la flota de palas hidráulicas. * Comparar el proceso de toma de decisión actual con el proceso mejorado. 	Distribución Weibull	<p>MTBF, MTTR, MTTF</p> <p>Parámetros Weibull: β, η, $R2$ y γ.</p> <p>$R(t)$ y $F(t)$</p>	Tiene un propósito aplicativo, con una profundidad descriptiva, de naturaleza cuantitativa y de manipulación No Experimental.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Diagnóstico del proceso actual de toma de decisiones del área de mantenimiento:

En la reunión mensual de gerencia; los gerentes y jefes del área de mantenimiento identifican y analizan el problema de los equipos; que consiste en comprender la condición del momento y visualizar la condición deseada, es decir, encontrar el problema y reconocer que se debe tomar una decisión para llegar a la solución de este. Luego generar las opciones de solución en donde se desarrollan distintas posibles soluciones al problema y evaluar estas opciones, es decir, hacer un estudio de cada una de las posibles soluciones que se generaron para el problema. Luego, elegir una opción que según la evaluación, va a obtener mejores resultados. Finalmente, Aplicar la decisión, es decir poner en marcha la decisión tomada (gráfico 3).



Gráfico 3 Flujograma de toma de decisiones antes del uso de Weibull

El caso en estudio ha tomado decisiones de mejora en sus equipos, tanto en componentes críticos como en los de mediana y baja criticidad. Sus gerentes con sus líneas de jefaturas toman como punto de partida la identificación del equipo con una baja disponibilidad (gráfico 4); para luego exponer el motivo; analizando las paradas de mantenimiento que se

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

han realizado en dicho equipo. Las paradas con más horas y /o días de mantenimiento se detectan, ubicando el equipo, el componente y repuesto que ha generado la demora (gráfico 5).

Equipo	Disponibilidad		
	Objetivo (%)	Actual (%)	<Diff> (%)
Pala A	82.40%	82.96%	0.6%
Pala B	80.60%	76.19%	-4.4%
Pala C	83.50%	56.19%	-27.3%
Pala D	81.80%	82.19%	0.4%

Gráfico 4 Disponibilidad de Equipo

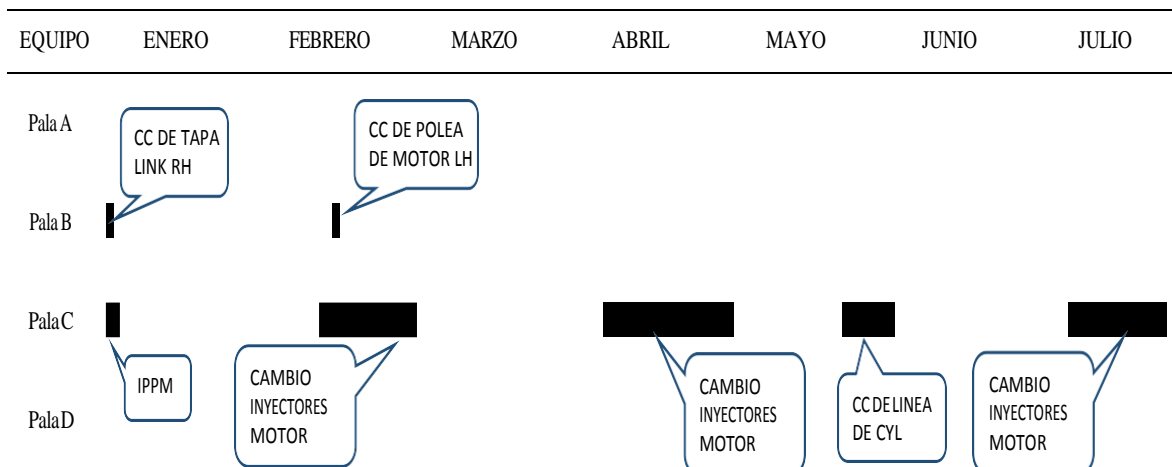


Gráfico 5 Paradas para mantenimiento por equipo

Luego, es ideal estrategias alternativas que cada gerente y jefe ha preparado para la solución del problema. Evaluando cada alternativa y tomando la decisión de una de ellas. En el caso en estudio, la gerencia tomó como una decisión de mejora la implementación de un sistema de microfiltrado en el motor para la disminución de cambios de inyectores, debido a la contaminación en el combustible.

Este proceso de toma de decisiones actual tiene sus limitantes para dar una acertada solución al problema; y estas limitantes se detallan en el siguiente flujograma (gráfico 6):

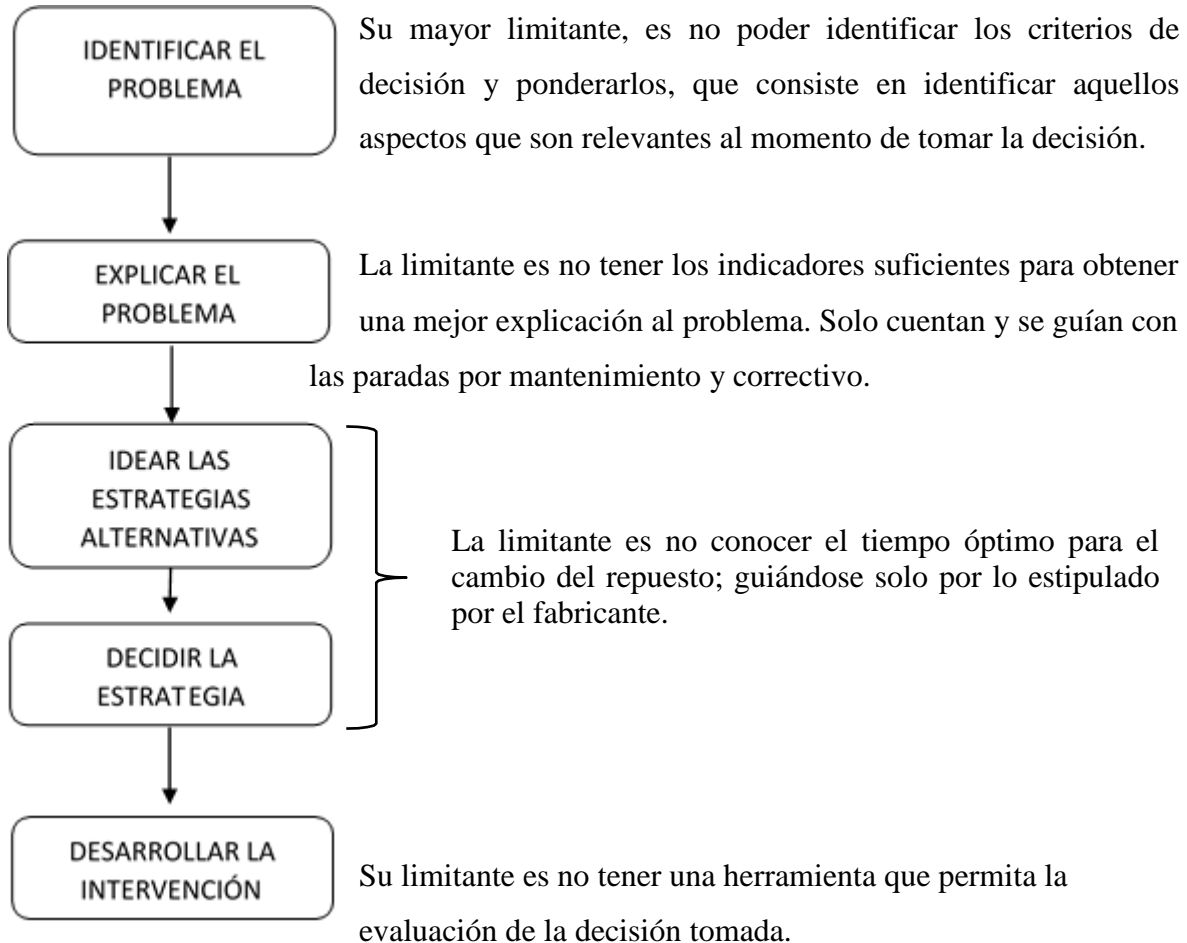


Gráfico 6 Flujograma de limitaciones – toma de decisión actual

Selección de un caso real de mejora en la flota, en el cual probar el antes y después del proceso de toma de decisiones:

En el gráfico 7 se mostró el flujo que siguió la investigación para demostrar la aplicación del proceso mejorado de toma de decisiones con el uso de la distribución de Weibull como herramienta de apoyo a las decisiones de mejora. Obteniendo los indicadores importantes de las palas hidráulicas, se procedió a hallar su disponibilidad, para la selección de una pala hidráulica en función a su baja disponibilidad. Teniendo la lista de componentes críticos y repuesto crítico, identificamos donde se ha realizado la mejora para su estudio. Luego se calculó los valores y parámetros Weibull para poder valorizarlos y obtener su beneficio.

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

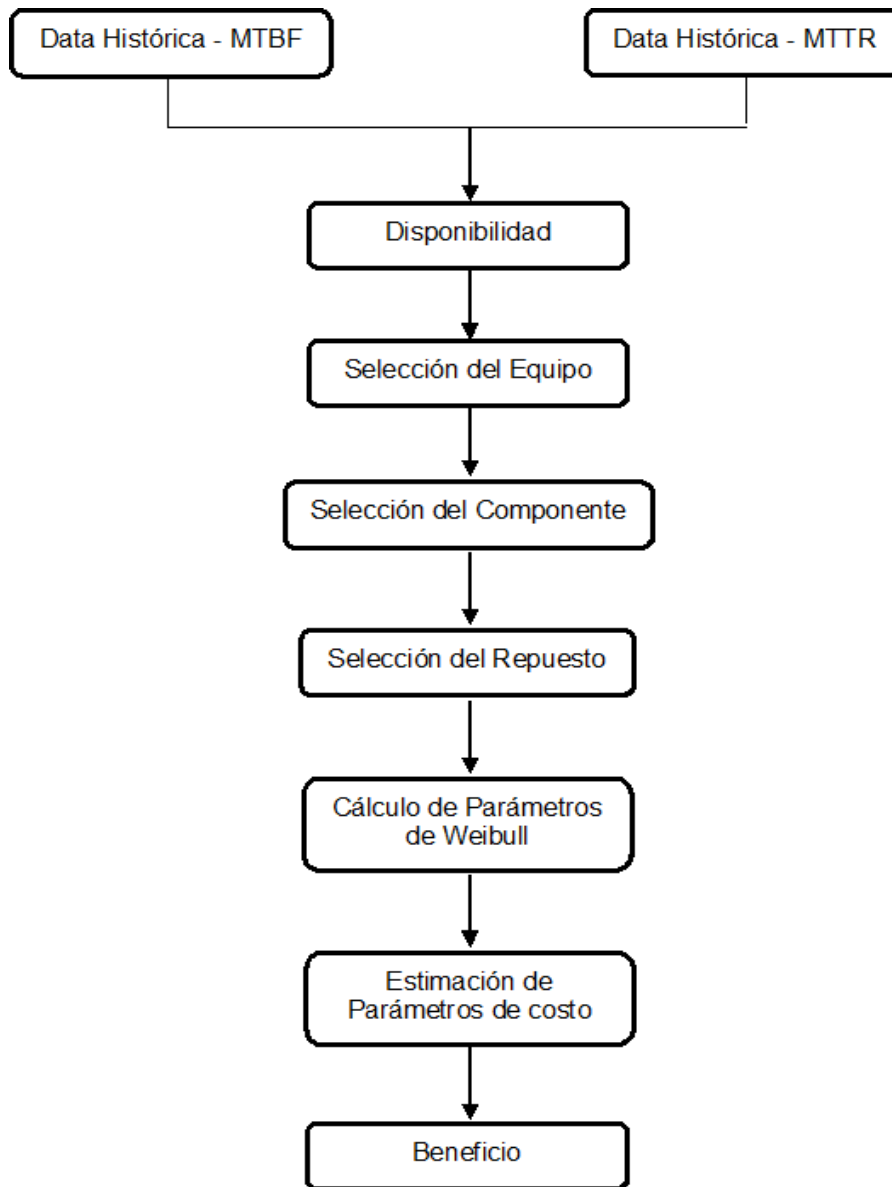


Gráfico 7 Flujograma de Análisis de datos

Con los datos que se recopiló de la sección 3 de la ficha documental se pudo plasmar en las tablas 20 y 21 los tiempos promedios entre falla y los tiempos promedios para reparar, los cuales nos ayudaran para obtener la disponibilidad de la flota de palas:

Tabla 20

Tiempo Promedio entre Fallas

(MTBF) Tiempo promedio entre fallas de la flota de palas hidraulicas modelo EX2500					
Fecha	Pala A	Pala B	Pala C	Pala D	MTBF PALAS
oct-15	365.8	247.0	119.8	104.4	837.1
nov-15	142.0	172.4	78.2	118.8	511.5
dic-15	104.7	105.4	105.0	371.7	686.9
ene-16	122.9	183.6	147.6	181.7	635.8
feb-16	59.6	81.9	65.8	133.9	341.2
mar-16	57.1	169.6	141.5	40.0	408.2
abr-16	357.4	176.6	142.0	119.5	795.4
may-16	123.3	122.2	123.3	245.4	614.2
jun-16	118.2	54.8	99.9	102.0	374.8
jul-16	744.0	81.7	82.0	91.8	999.4
ago-16	89.3	743.8	744.0	145.8	1723.0
sep-16	85.2	719.7	357.8	119.4	1282.0
oct-16	743.9	247.2	73.8	48.2	1113.1

Tabla 21

Tiempo Promedio para Reparar

(MTTR) Tiempo promedio para reparar de la flota de palas hidraulicas modelo EX2500 con 4 equipos					
Fecha	Pala A	Pala B	Pala C	Pala D	MTTR PALAS
oct-15	14.1	11.0	9.5	5.8	40.4
nov-15	7.5	11.6	7.9	6.6	33.7
dic-15	1.6	5.3	9.0	17.2	33.2
ene-16	1.9	11.9	7.0	10.2	31.0
feb-16	12.0	7.1	10.4	0.5	30.1
mar-16	1.2	17.0	11.6	7.8	37.7
abr-16	2.7	11.2	2.1	9.3	25.2
may-16	0.6	1.6	12.9	2.0	17.1
jun-16	17.0	6.1	5.8	8.9	37.9
jul-16	64.7	8.7	7.4	1.1	81.9
ago-16	8.0	31.4	16.1	18.2	73.8
sep-16	4.6	18.4	1.7	0.9	25.6
oct-16	27.0	0.8	13.8	4.7	46.4

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

En el grafico 8, se muestra la disponibilidad de palas, y al no llegar a apreciar correctamente la disponibilidad en los límites de control máximo y mínimo., se procedió a suavizar los datos en Excel (Gráfico 9):

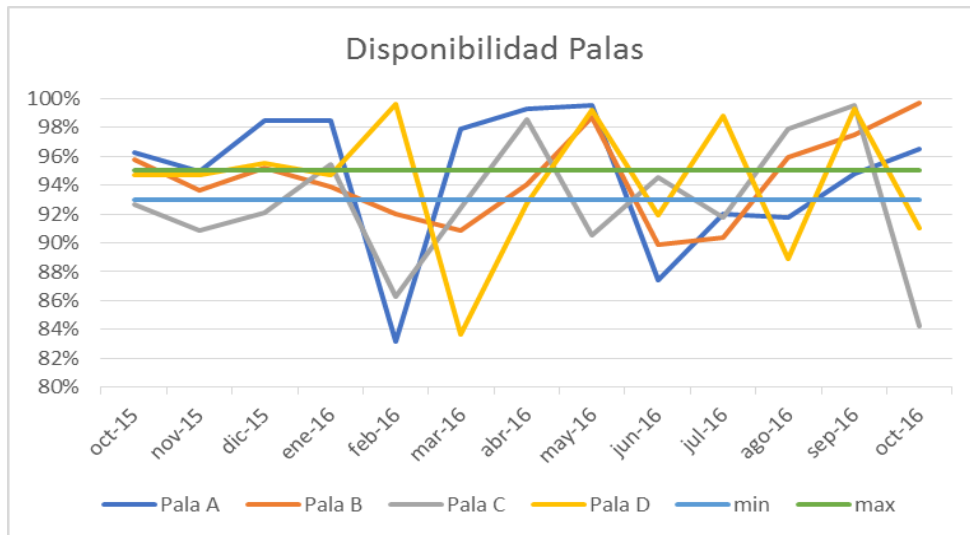


Gráfico 8 Disponibilidad de Palas

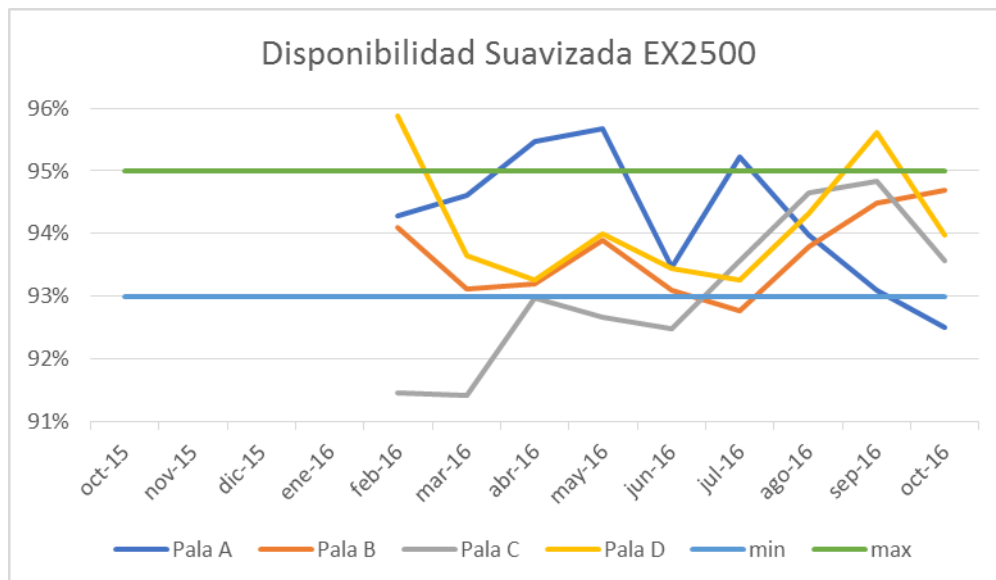


Gráfico 9 Disponibilidad Suavizada de Flota

En el gráfico 9 se observó con más claridad la disponibilidad de la flota de palas hidráulicas en una línea de tiempo de un año, donde se tiene dos rangos recomendados por la operación minera en estudio: Límite de Control Inferior del 93% y el Límite de Control Superior del 95%; identificando que la pala C es la que presenta baja disponibilidad, desde febrero del 2016 hasta julio del 2016 aproximadamente. Por lo tanto la Pala C, será tomada como muestra para nuestra investigación.

Para la selección del componente crítico y el repuesto crítico de la pala C, nos basamos en la información obtenida de la ficha documental de la sección 2 y el diagrama de Pareto. Siendo los componentes más críticos el Swing Bearing (corona de giro) y el Engine (motor); pero en el historial de decisiones no se encontró una mejora reciente con respecto al Swing Bearing, pero si se encontró un mejora que fue implementada al Motor; y sobre esta mejora, el caso en estudio, no poseen una manera de valorar la efectividad de la decisión que tomaron. Es por ello que obtenemos como resultado el motor de la pala hidráulica como componente crítico donde se realizó una mejora, la cual es la implementación de un sistema de microfiltrado (Gráfico 10) y como repuesto crítico los inyectores de combustible (Gráfico 11):

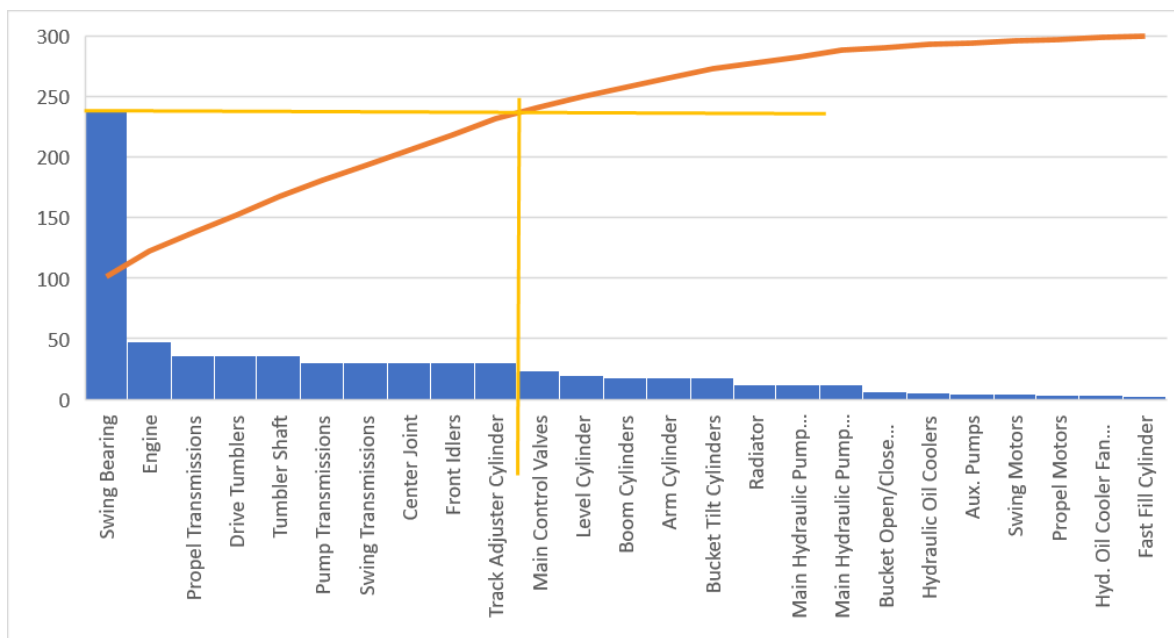


Gráfico 10 Pareto Componentes Críticos con respecto a horas de cambio

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

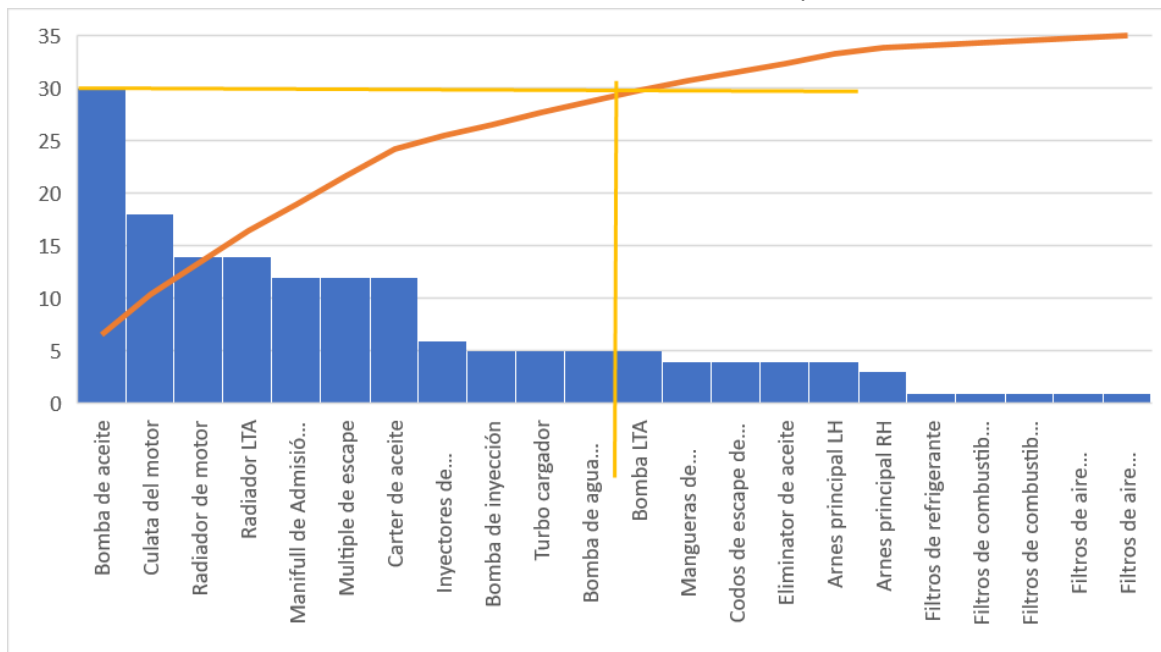


Gráfico 11 Pareto Repuestos Críticos con respecto a horas de cambio

Diseño de la mejora de toma de decisiones usando la distribución de Weibull:

La investigación propone un diseño del proceso de toma de decisiones mejorada con el uso de la distribución de Weibull (gráfico 12). Mostrando como su uso permite obtener mayor información vital para la toma de decisiones. Como puede ser en identificar los criterios de decisión y ponderarlos, que consiste en identificar aquellos aspectos que son relevantes al momento de tomar la decisión, es decir, aquellos indicadores de los cuales depende la decisión que se tome, y asignar un valor relativo a la importancia que tiene cada criterio, ya que todos son importantes pero no de igual forma. Y permitiendo evaluar los resultados después de poner en marcha la decisión, como se sabe es necesario evaluar si se solucionó o no el problema. Si el resultado no es el que se esperaba, se debe evaluar si se debe dar un poco más de tiempo para obtener los resultados esperados o si definitivamente la decisión no fue la acertada. En este caso, se debe iniciar el proceso de nuevo para hallar una nueva decisión.

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

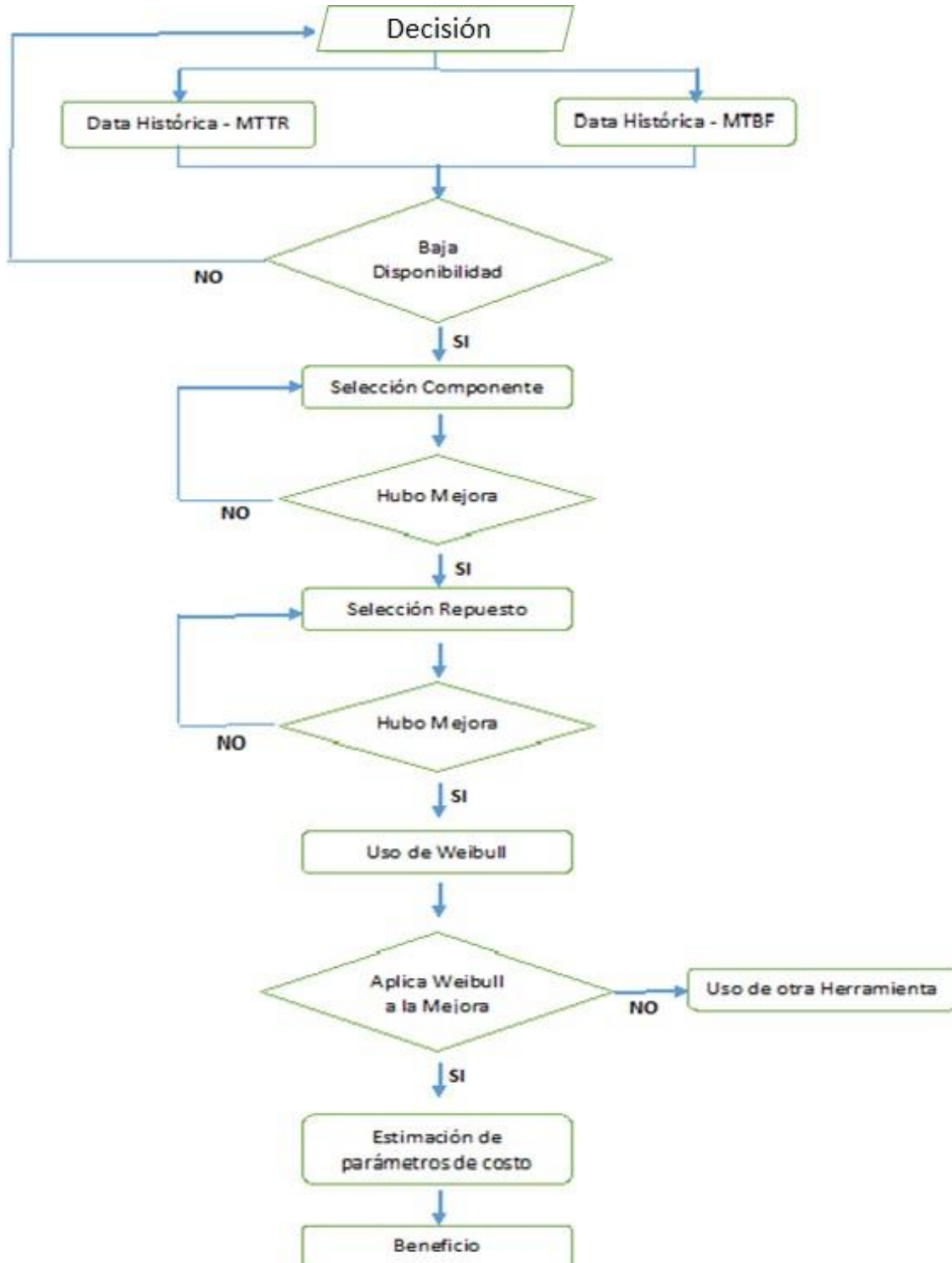


Gráfico 12 Modelo mejorado de toma de decisiones

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

Aplicación de la mejora del proceso de toma de decisiones en el caso real de mejora de la flota de palas hidráulicas:

Obtenido el repuesto crítico, fue ya posible iniciar el ensayo del uso de la herramienta de distribución de Weibull para obtener sus parámetros antes y después de la mejora realizada (Gráfico 13).

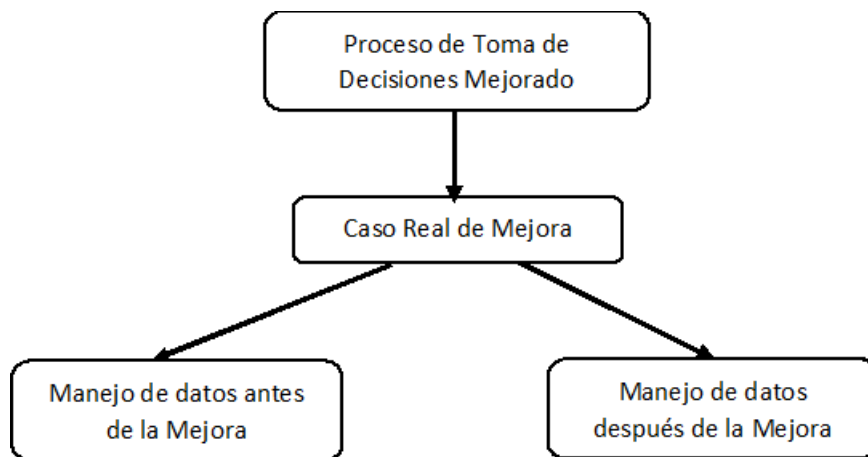


Gráfico 13 Caso Real antes y después de la mejora

Primero aplicaremos el proceso mejorado de toma de decisiones antes del caso real de mejora en el caso de estudio (grafico 14):

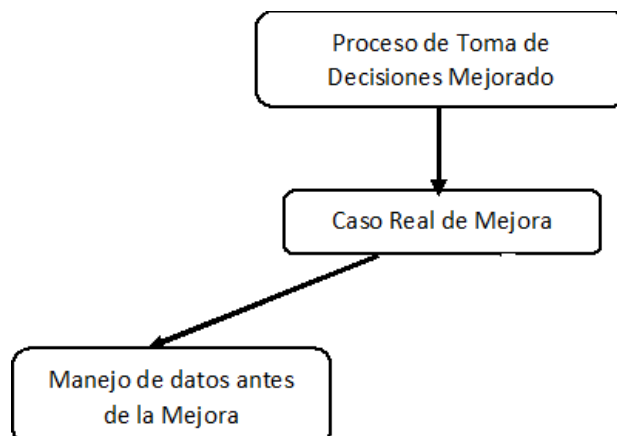


Gráfico 14 Caso real antes de la mejora

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

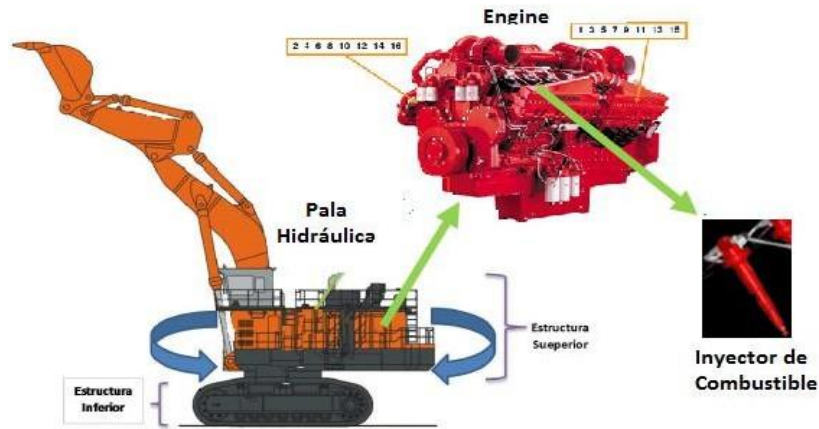


Gráfico 15 Componente y Repuestos a Analizar sin mejora

Para el primer dato de falla del inyector se obtiene una confiabilidad $R(t)$ del 93% se puede observar en el gráfico 16 que la confiabilidad anterior $R(t_{i-1})$ para este primer dato es multiplicado por 0 dando como resultado la probabilidad de falla $F(t)$ del 7%.

$N^{\circ}(i)$	TTF (t_i)	Delta	$F(t)$	$R(t)$
1	4,854	0	7%	93%
2	5,105	0		
3	5300.00	1		
4	5,600	0		
5	6,120	0		
6	6534.00	1		
7	6534.00	1		
8	6534.00	1		
9	6534.00	1		
10	6,600	0		
11	6,754	0		
12	7,109	0		
13	7,200	0		
14	7,350	0		

$$R(t_i) = \left(\frac{(n+1-i)}{(n+2-i)} \right)^{1-\Delta} * 1$$

Gráfico 16 Confiabilidad $R(t)$ del 1° dato del inyector

Para el segundo dato de falla del inyector se obtiene una confiabilidad $R(t)$ del 87% se puede observar en el gráfico 17 que la confiabilidad anterior $R(t_{i-1})$ es de 93% dando como resultado la probabilidad de falla $F(t)$ del 13%.

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

N °(i)	TTF (ti)	Delta	F(t)	R(t)
1	4,854	0	7%	93%
2	5,105	0	13%	87%
3	5300.00	1		
4	5,600	0		
5	6,120	0		
6	6534.00	1		
7	6534.00	1		
8	6534.00	1		
9	6534.00	1		
10	6,600	0		
11	6,754	0		
12	7,109	0		
13	7,200	0		
14	7,350	0		

$$R(t_i) = \left(\frac{n+1-i}{n+2-i} \right)^{1-\Delta} * 1$$

Gráfico 17 Confiabilidad R(t) del 2º dato del inyector

Obsérvese que conociendo el número de ocurrencias de falla (Nº(i)), las horas de falla (TTF(ti)) y el tipo de falla (Delta) de los inyectores, se calculó la confiabilidad (R(t)) y la probabilidad de falla (F(t)); estos datos obtenidos se muestran en la tabla 22:

Tabla 22

Confiabilidad y Probabilidad de Falla

N °(i)	TTF (ti)	Delta	F(t)	R(t)
1	4,854	0	7%	93%
2	5,105	0	13%	87%
3	5300.00	1	13%	87%
4	5,600	0	21%	79%
5	6,120	0	28%	72%
6	6534.00	1	28%	72%
7	6534.00	1	28%	72%
8	6534.00	1	28%	72%
9	6534.00	1	28%	72%
10	6,600	0	40%	60%
11	6,754	0	52%	48%
12	7,109	0	64%	36%
13	7,200	0	76%	24%
14	7,350	0	88%	12%

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

Una vez que contamos con los datos de confiabilidad y probabilidad, se consideró solo los datos de falla con delta 0 cuando se tiene datos censurados; identificamos los momentos cuando el repuesto es retirado del componente por correctivo, identificado con delta 0 al ser una falla haciendo un total de 9 datos (N(i)); obviando a los repuestos que salen por condición siendo un dato censurado identificado como delta 1 (gráfico 18).

Inyector			
N °(i)	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)
1	4,854	7%	93%
2	5,105	13%	87%
3	5,600	21%	79%
4	6,120	28%	72%
5	6,600	40%	60%
6	6,754	52%	48%
7	7,109	64%	36%
8	7,200	76%	24%
9	7,350	88%	12%

Gráfico 18 Datos con Delta 0

En el gráfico 19 se muestra el cálculo para linealizar los datos históricos de falla TTF(ti) y probabilidad de falla F(t), para una Distribución de Weibull de dos parámetros. Para la variable X será el logaritmo de TTF(ti) y para la variable Y será el doble logaritmo de la confiabilidad R(t).

Inyector				Weibull 2P	
N °(i)	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	4,854	7%	93%	8.488	-2.674
2	5,105	13%	87%	8.538	-1.944
3	5,600	21%	79%	8.631	-1.469
4	6,120	28%	72%	8.719	-1.123
5	6,600	40%	60%	8.795	-0.678
6	6,754	52%	48%	8.818	-0.313
7	7,109	64%	36%	8.869	0.018
8	7,200	76%	24%	8.882	0.353
9	7,350	88%	12%	8.902	0.750

Gráfico 19 Cálculo de la variable X e Y para la Distribución Weibull

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

En el gráfico 20 se muestra el cálculo para hallar el parámetro de forma Beta con los datos obtenidos de probabilidad de falla $F(t)$.

N °(i)	Inyector			Weibull 2P	
	TTF (t_i)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(t_i)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	4,854	7%	93%	8.488	-2.674
2	5,105	13%	87%	8.538	-1.944
3	5,600	21%	79%	8.631	-1.469
4	6,120	28%	72%	8.719	-1.123
5	6,600	40%	60%	8.795	-0.678
6	6,754	52%	48%	8.818	-0.313
7	7,109	64%	36%	8.869	0.018
8	7,200	76%	24%	8.882	0.353
9	7,350	88%	12%	8.902	0.750

9 N

β 7.14 = PENDIENTE (y, x)

Gráfico 20 Cálculo de Beta

En el gráfico 21 se muestra el cálculo para hallar el parámetro de escala eta, con los datos obtenidos de probabilidad de falla $F(t)$.

N °(i)	Inyector			Weibull 2P	
	TTF (t_i)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(t_i)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	4,854	7%	93%	8.488	-2.674
2	5,105	13%	87%	8.538	-1.944
3	5,600	21%	79%	8.631	-1.469
4	6,120	28%	72%	8.719	-1.123
5	6,600	40%	60%	8.795	-0.678
6	6,754	52%	48%	8.818	-0.313
7	7,109	64%	36%	8.869	0.018
8	7,200	76%	24%	8.882	0.353
9	7,350	88%	12%	8.902	0.750

9 N

β 7.14
 η 6,962= EXP (-INTERSECCION.EJE(y, x)/ β)

Gráfico 21 Cálculo de Eta

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

El tiempo promedio para la falla expresado con las siglas MTTF, para una distribución Weibull de dos parámetros donde gamma es cero, puede hallarse con los parámetros Beta y Eta (Gráfico 22).

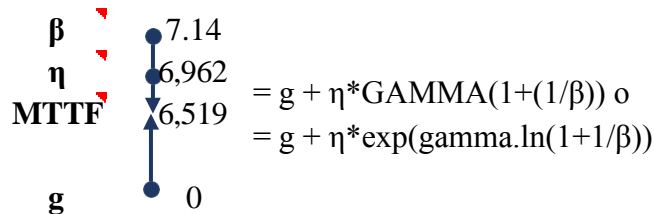


Gráfico 22 Cálculo del Tiempo Promedio para la Falla

En el gráfico 23 se muestra el cálculo para hallar el coeficiente de determinación (R2) con los datos obtenidos de probabilidad de falla F(t) para una Distribución Weibull de dos parámetros.

Inyector			Weibull 2P		
N °(i)	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	4,854	7%	93%	8.488	-2.674
2	5,105	13%	87%	8.538	-1.944
3	5,600	21%	79%	8.631	-1.469
4	6,120	28%	72%	8.719	-1.123
5	6,600	40%	60%	8.795	-0.678
6	6,754	52%	48%	8.818	-0.313
7	7,109	64%	36%	8.869	0.018
8	7,200	76%	24%	8.882	0.353
9	7,350	88%	12%	8.902	0.750
9	N				

β	7.14
η	6.962
MTTF	6.519
R2	0.9611 = COEFICIENTE.R2(y, x)
g	0

Gráfico 23 Cálculo del Coeficiente de Determinación

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

En el gráfico 24 se muestra el cálculo para hallar el parámetro de ubicación llamado gamma en una Distribución de Weibull de tres parámetros. Para la variable X será el logaritmo de TTF(ti) menos gamma y para la variable Y será el doble logaritmo de la confiabilidad R(t).

N °(i)	Inyector		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (ti)	MR=F(t)R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	4,854	7%	8.488	-2.674	8.488	-2.674
2	5,105	13%	8.538	-1.944	8.538	-1.944
3	5,600	21%	8.631	-1.469	8.631	-1.469
4	6,120	28%	8.719	-1.123	8.719	-1.123
5	6,600	40%	8.795	-0.678	8.795	-0.678
6	6,754	52%	8.818	-0.313	8.818	-0.313
7	7,109	64%	8.869	0.018	8.869	0.018
8	7,200	76%	8.882	0.353	8.882	0.353
9	7,350	88%	8.902	0.750	8.902	0.750
9	N		β	7.14	β	7.14
			η	6,962	η	6962
			MTTF	6,519	MTTF	6519
			R2	0.9611	R2	0.9611
			g	0	g	0

Gráfico 24 Cálculo de la Distribución de Weibull de 3 parámetros

Para hallar el valor del parámetro de ubicación llamado gamma, se utilizó un complemento del Excel llamado solver como se muestra en el gráfico 25; donde el objetivo fue maximizar el coeficiente de determinación R2 cambiando la gamma, con la restricción de que gamma sea menor o igual al primer número de orden de falla N°(i).

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

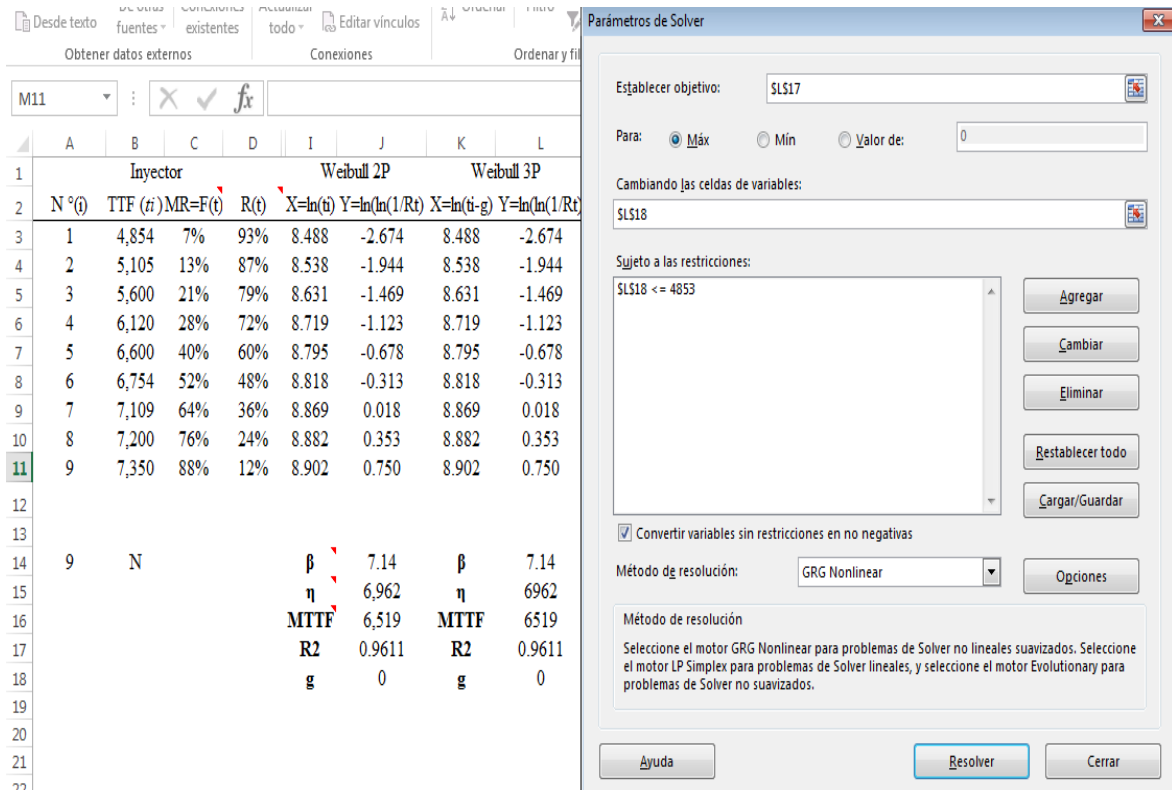


Gráfico 25 Cálculo de Gama para Weibull de 3 Parámetros con Solver

En el gráfico 26 se muestra el valor de gamma encontrado con el complemento solver, además se observa el coeficiente de determinación R2 con los datos obtenidos de probabilidad de falla F(t) para una Distribución de Weibull de tres parámetros.

	Inyector			Weibull 2P		Weibull 3P	
N °(i)	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	4,854	7%	93%	8.488	-2.674	7.145	-2.674
2	5,105	13%	87%	8.538	-1.944	7.326	-1.944
3	5,600	21%	79%	8.631	-1.469	7.608	-1.469
4	6,120	28%	72%	8.719	-1.123	7.838	-1.123
5	6,600	40%	60%	8.795	-0.678	8.011	-0.678
6	6,754	52%	48%	8.818	-0.313	8.061	-0.313
7	7,109	64%	36%	8.869	0.018	8.167	0.018
8	7,200	76%	24%	8.882	0.353	8.193	0.353
9	7,350	88%	12%	8.902	0.750	8.233	0.750
9	N			β	7.14	β	2.73
				η	6,962	η	3395
				MTTF	6,519	MTTF	6606
				R2	0.9611	R2	0.9431
				g	0	g	3586

Gráfico 26 Valor de Gamma

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

En la tabla 23 se puede observar que el coeficiente de determinación (R^2) más próximo a 1 es el de Weibull con dos parámetros, lo que significa que los datos de fallas históricos del inyector se ajustan a esta distribución, al trazar los puntos tanto en X como en Y; como se observa en el gráfico 27 se aproxima a una recta.

Tabla 23

Variables Weibull

N °(i)	Inyector			Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	4,854	7%	93%	8.488	-2.674	7.145	-2.674
2	5,105	13%	87%	8.538	-1.944	7.326	-1.944
3	5,600	21%	79%	8.631	-1.469	7.608	-1.469
4	6,120	28%	72%	8.719	-1.123	7.838	-1.123
5	6,600	40%	60%	8.795	-0.678	8.011	-0.678
6	6,754	52%	48%	8.818	-0.313	8.061	-0.313
7	7,109	64%	36%	8.869	0.018	8.167	0.018
8	7,200	76%	24%	8.882	0.353	8.193	0.353
9	7,350	88%	12%	8.902	0.750	8.233	0.750
9	N			β	7.14	β	2.73
				η	6,962	η	3395
				MTTF	6,519	MTTF	6606
				R2	0.9611	R2	0.9431
				g	0	g	3586

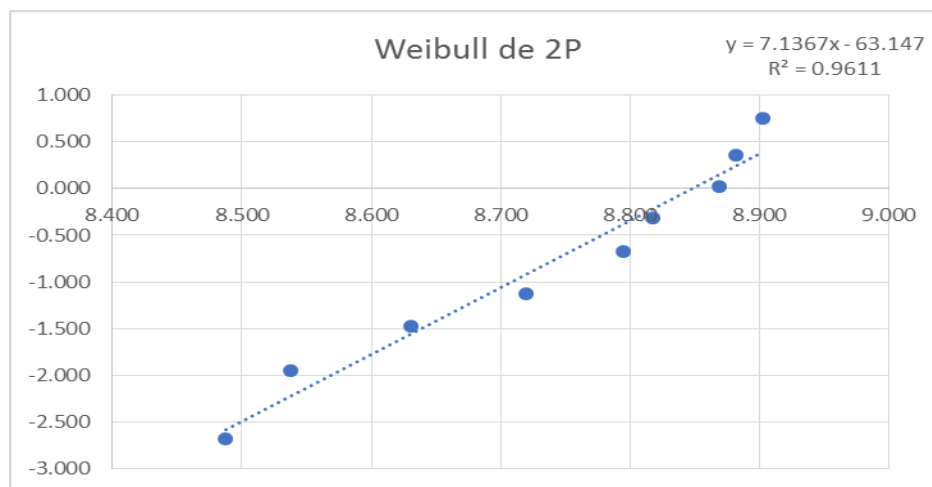


Gráfico 27 Weibull de Dos Parámetros

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

En la tabla 24 se observa los resultados de la distribución de Weibull de dos parámetros para el inyector, donde se observa que fallan por desgaste; es decir al ser Beta mayor que 4, existe envejecimiento operacional. El parámetro de escala eta es de 6,962 horas, siendo gamma cero. Y que cada 6,519 horas será la próxima falla, expresado en la siglas MTTF, la vida característica significa que a 6,962 horas habrá fallado el 63.2% de los inyectores, lo mismo significa con el B10 donde a las 5,079 horas habrá fallado el 10% de los inyectores.

Tabla 24

Resultados de Parámetros

Resultados	
Forma β	7.14
Escala η	6,962
Localizacion g	0
Vida Esperada MTTF	6,519
Vida Característica	6,962
Vida B10	5,079

En la tabla 25, el inyector nuevo tiene un costo de USD 3,419, el tiempo de instalación en la excavadora dado por un mantenimiento preventivo o correctivo es de 6 horas, el costo de mano de obra interno de nuestro caso en estudio es de USD 15 dólares por hora.

El costo de una intervención preventiva (Cip), será la suma del costo del repuesto USD 3,419 dólares más la multiplicación de las horas de instalación (6 horas) por el costo de la mano de obra (USD 15 dólares) haciendo un total de USD 3,509 dólares. El costo de una intervención correctiva (Cic), será la suma del costo del repuesto USD 3,419 dólares más la multiplicación de las horas de instalación (6 horas) por el costo de la mano de obra (USD 15 dólares) haciendo un total de USD 3,509 dólares. Y el costo de falla por correctivo (Cfc), será la multiplicación del costo de una intervención preventiva (Cip) USD 3,509 dólares por el factor del costo de falla (3) haciendo un total de USD 10,527 dólares.

El factor de costo de falla correctivo utilizado en los inyectores es de 3, este valor ha sido tomado de la exposición de gestión de activos, dado a la experiencia en distintas unidades mineras en relación a los costos de los componentes mayores de equipos de gran minería. (Tecsop, 2016).

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

Tabla 25

Detalle del Repuesto

Detalle del Componente & Costos	
Nombre	Inyector
Cantidad en máquina	16
Estado	Nuevo
Hrs de reemplazo de fábrica	15,000
Hrs de instalacion en máquina	6
días de entrega de repuesto en pala	15
Costo del repuesto USD	3,419
Costo Mano Obra USD / hr	15
Cip USD [▼]	3,509
Cic USD [▼]	3,509
Factor del costo de falla	3
Cfc USD [▼]	10,527

Para estimar el tiempo de intercambio del componente por una intervención correctiva, se utilizará el tiempo promedio para la falla expresado con las siglas MTTF (Gráfico 28).

Resultados	
Forma β	7.14
Escala η	6,962
Localizacion g	0
Vida Esperada MTTF	6,519
Vida Característica	6,962
Vida B10	5,079

Intervención Correctiva Falla	
▶ Vida Esperada MTTF	6,519
Confiabilidad	
Costo global correct \$/hr [▼]	

Gráfico 28 Valor MTTF

Después se halló la confiabilidad $R(t)$ correspondiente al tiempo de intercambio por falla del repuesto (Gráfico 29).

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

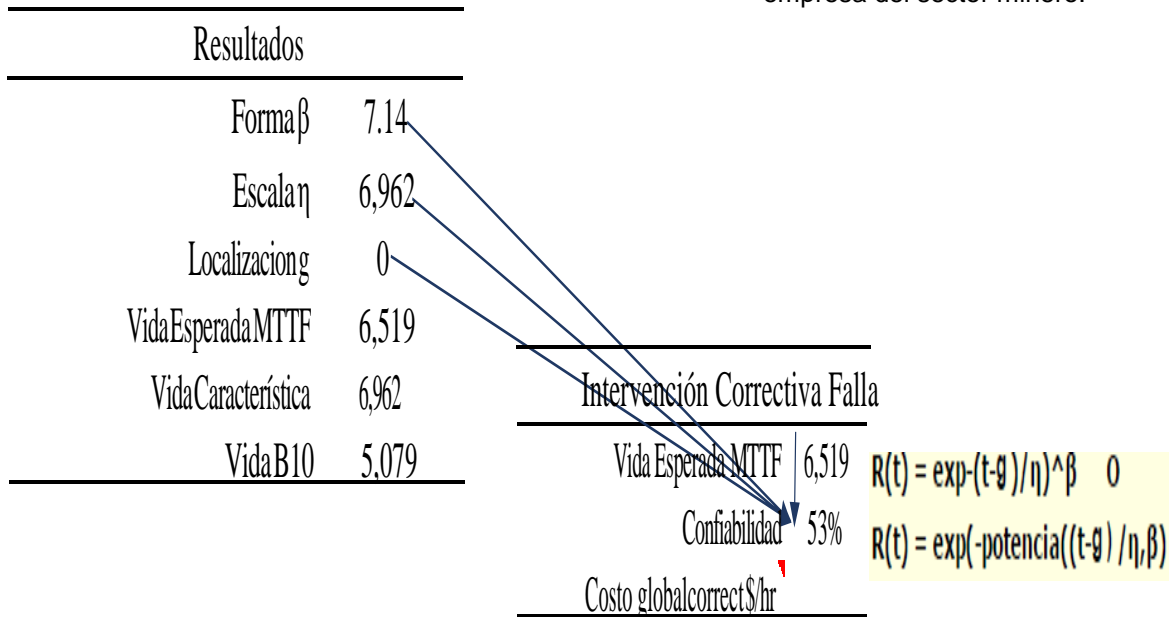


Gráfico 29 Cálculo de la Confiabilidad

En el gráfico 30 se puede observar el cálculo del costo por hora para una intervención correctiva utilizando el MTTF.

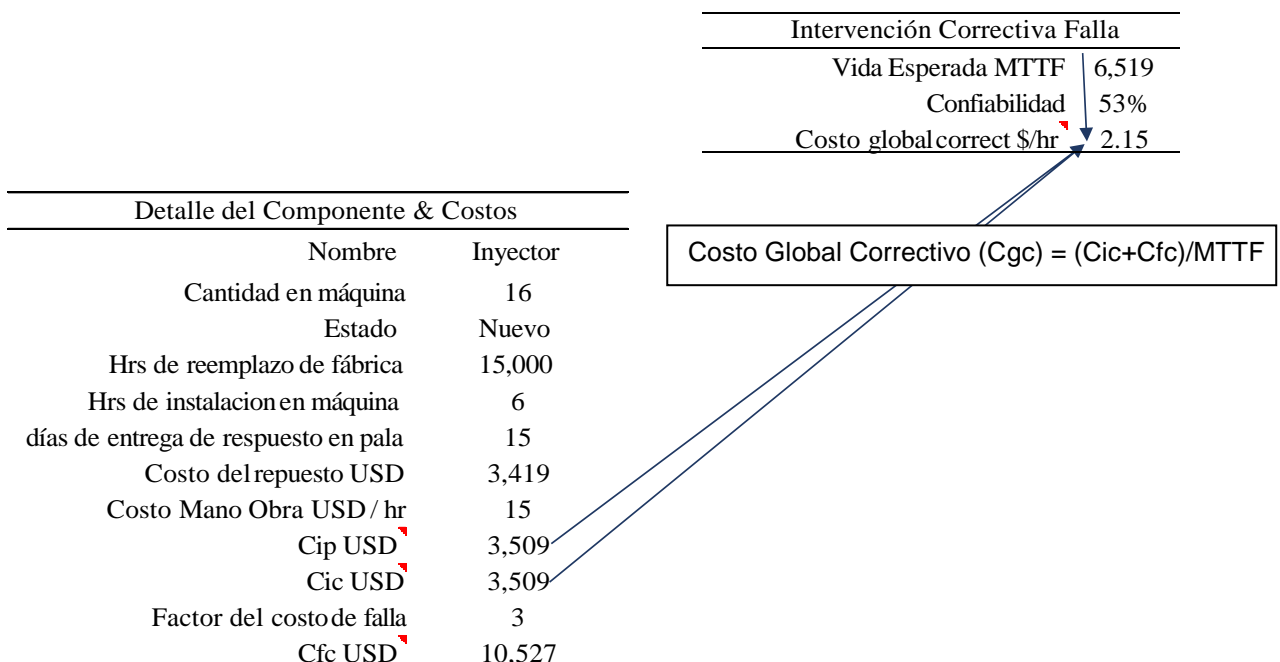


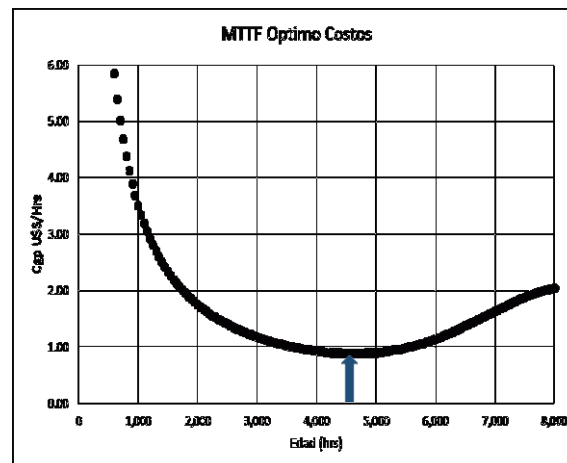
Gráfico 30 Cálculo del Costo Global Correctivo

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

Para estimar el tiempo de intercambio del repuesto por una intervención óptima, se utilizará la fórmula que se muestra en el gráfico 31, el cual considera la confiabilidad $R(t)$ y la probabilidad de falla $F(t)$ multiplicando por los costos dividido entre el MTTF.

Una vez calculado el costo por intervención es graficando con el tiempo de funcionamiento, para ubicar el costo mínimo y encontrar el tiempo óptimo.

Hrs (t)	R (t)	CDF F(t)	MTBI (p) Hrs	Cgp \$/hr	Detalle del Componente & Costos	
50	100.0%	0%	50	70.18	Costo del repuesto USD	3,419
100	100.0%	0%	100	35.09	Costo Mano Obra USD / hr	15
150	100.0%	0%	150	23.39	Cip USD	3,509
200	100.0%	0%	200	17.55	Cic USD	3,509
250	100.0%	0%	250	14.04	Cfp USD	0
300	100.0%	0%	300	11.70	Factor del costo de falla	3
4,550	95.3%	5%	4,523	0.885	Cfc USD	10,527
4,600	94.9%	5%	4,571	0.8843		
4,650	94.5%	5%	4,618	0.8842		
4,700	94.1%	6%	4,666	0.885		
4,750	93.7%	6%	4,713	0.886		
8,750	0.6%	99%	6,517	2.14		
8,800	0.5%	100%	6,518	2.15		
8,850	0.4%	100%	6,518	2.15		
8,900	0.3%	100%	6,518	2.15		
8,950	0.2%	100%	6,518	2.15		
9,000	0.2%	100%	6,518	2.15		
15,000	0.0%	100%	6,519	2.15		



$$Cgp = ((Cip+Cfp)*R(t)+(Cic+Cfc)*F(t))/MTTF$$

Gráfico 31 Cálculo del Costo Global Óptimo

En este caso para el inyector el tiempo óptimo MTTF es de 4,650 horas que equivale a un costo de 0.88 dólares la hora (tabla 26).

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

Tabla 26

Resultados del Costo Global Óptimo

Intervención Óptima	
Vida Esperada MTTFOptimo	4,650
Confiabilidad	95%
Costo global preventivo \$/hr	0.88

Si la empresa manejara la herramienta propuesta tuviera una línea de base para tomar las decisiones de mejora. Por no tener la herramienta no tuvieron una línea de base para comparar el antes de la mejora y después de esta mejora, mediante sus históricos. A continuación se procedió a iniciar el ensayo del uso de la herramienta de la distribución Weibull para obtener los parámetros con la mejora que implementaron el caso en estudio (sistema de microfiltrado) (gráfico 32).

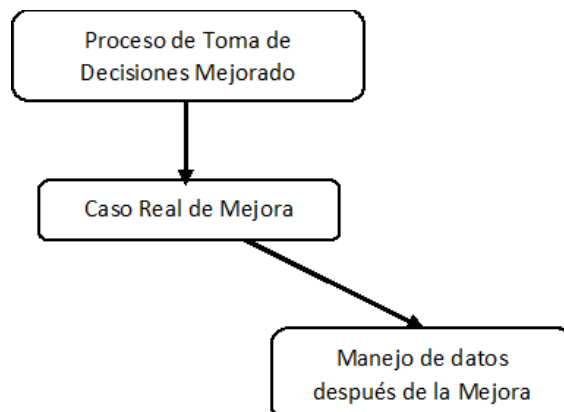


Gráfico 32 Caso real después de la mejora.

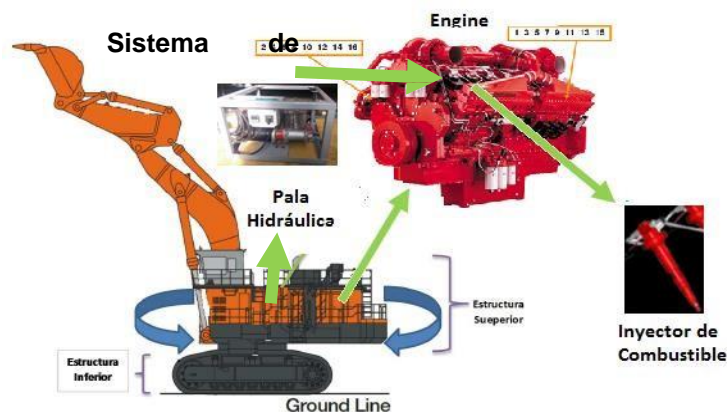


Gráfico 33 Componentes y Repuestos a analizar con la mejora.

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

Para el primer dato de falla del inyector se obtiene una confiabilidad $R(t)$ del 91% se puede observar en el gráfico 34 que la confiabilidad anterior $R(t_{i-1})$ para este primer dato es multiplicado por 0 dando como resultado la probabilidad de falla $F(t)$ del 9%.

$N^{\circ}(i)$	TTF (t_i)	Delta	F(t)	R(t)
1	11,234	0	9%	91%
2	11,567	0		
3	12344.00	1		
4	13,010	0		
5	13,078	0		
6	13056.00	0		
7	13450.00	1		
8	13600.00	1		
9	13600.00	0		
10	13,750	0		

$R(t_i) = \left(\frac{(n+1-i)}{(n+2-i)} \right)^{1-\Delta} * 1$

n

Gráfico 34 Confiabilidad $R(t)$ del 1° dato del inyector

Para el segundo dato de falla del inyector se obtiene una confiabilidad $R(t)$ del 82% se puede observar en el gráfico 35 que la confiabilidad anterior $R(t_{i-1})$ es de 91% dando como resultado la probabilidad de falla $F(t)$ del 18%.

$N^{\circ}(i)$	TTF (t_i)	Delta	F(t)	R(t)
1	11,234	0	9%	91%
2	11,567	0	18%	82%
3	12344.00	1		
4	13,010	0		
5	13,078	0		
6	13056.00	0		
7	13450.00	1		
8	13600.00	1		
9	13600.00	0		
10	13,750	0		

$R(t_i) = \left(\frac{(n+1-i)}{(n+2-i)} \right)^{1-\Delta} * 1$

n

Gráfico 35 Confiabilidad $R(t)$ del 2° dato del inyector

Obsérvese que conociendo el número de ocurrencias de falla ($N^{\circ}(i)$), las horas de falla (TTF(t_i)) y el tipo de falla (Delta) de los inyectores, se calculó la confiabilidad ($R(t)$) y la probabilidad de falla ($F(t)$); estos datos obtenidos fueron mostrados en la tabla 27:

Tabla 27

Confiabilidad y Probabilidad de Falla

N °(i)	TTF (ti)	Delta	F(t)	R(t)
1	11,234	0	9%	91%
2	11,567	0	18%	82%
3	12344.00	1	18%	82%
4	13,010	0	28%	72%
5	13,078	0	39%	61%
6	13056.00	0	49%	51%
7	13450.00	1	49%	51%
8	13600.00	1	49%	51%
9	13600.00	0	66%	34%
10	13,750	0	83%	17%

Una vez que contamos con los datos de confiabilidad y probabilidad, se consideró solo los datos de falla con delta 0 cuando se tiene datos censurados; identificamos los momentos cuando el repuesto es retirado del componente por correctivo, identificado con delta 0 al ser una falla haciendo un total de 7 datos (N(i)); obviando a los repuestos que salen por condición siendo un dato censurado identificado como delta 1 (gráfico 36).

Inyector			
N °(i)	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)
1	11,234	9%	91%
2	11,567	18%	82%
3	13,010	28%	72%
4	13,078	39%	61%
5	13,056	49%	51%
6	13,600	66%	34%
7	13,750	83%	17%

Gráfico 36 Datos con Delta 0

En el gráfico 37 se muestra el cálculo para linealizar los datos históricos de falla TTF(ti) y probabilidad de falla F(t), para una Distribución de Weibull de dos parámetros. Para la

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

variable X será el logaritmo de TTF(ti) y para la variable Y será el doble logaritmo de la confiabilidad R(t).

N °(i)	Inyector			Weibull 2P	
	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	11,234	9%	91%	9.327	-2.351
2	11,567	18%	82%	9.356	-1.606
3	13,010	28%	72%	9.473	-1.096
4	13,078	39%	61%	9.479	-0.717
5	13,056	49%	51%	9.477	-0.399
6	13,600	66%	34%	9.518	0.073
7	13,750	83%	17%	9.529	0.571

Gráfico 37 Cálculo de la variable X e Y para la Distribución Weibull

En el gráfico 38 se muestra el cálculo para hallar el parámetro de forma Beta con los datos obtenidos de probabilidad de falla F(t).

N °(i)	Inyector			Weibull 2P	
	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	11,234	9%	91%	9.327	-2.351
2	11,567	18%	82%	9.356	-1.606
3	13,010	28%	72%	9.473	-1.096
4	13,078	39%	61%	9.479	-0.717
5	13,056	49%	51%	9.477	-0.399
6	13,600	66%	34%	9.518	0.073
7	13,750	83%	17%	9.529	0.571

7 N

$\beta = 11.92 = \text{PENDIENTE (y, x)}$

Gráfico 38 Cálculo de Beta

En el gráfico 39 se muestra el cálculo para hallar el parámetro de escala eta, con los datos obtenidos de probabilidad de falla F(t).

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

N °(i)	Inyector			Weibull 2P	
	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	11,234	9%	91%	9.327	-2.351
2	11,567	18%	82%	9.356	-1.606
3	13,010	28%	72%	9.473	-1.096
4	13,078	39%	61%	9.479	-0.717
5	13,056	49%	51%	9.477	-0.399
6	13,600	66%	34%	9.518	0,073
7	13,750	83%	17%	9.529	0,571

7 N

$$\beta = 11.92$$

$$\eta = 13,595 = \text{EXP}(-\text{INTERSECCION.EJE}(y, x)/\beta)$$

Gráfico 39 Cálculo de Eta

El tiempo promedio para la falla expresado con las siglas MTTF, para una distribución Weibull de dos parámetros donde gamma es cero, puede hallarse con los parámetros Beta y Eta (Gráfico 40).

$$\beta = 11.92$$

$$\eta = 13,595 = g + \eta * \text{GAMMA}(1+(1/\beta)) \text{ o}$$

$$\text{MTTF} = 13,024 = g + \eta * \exp(\text{gamma} \cdot \ln(1+1/\beta))$$

$$g = 0$$

Gráfico 40 Cálculo del Tiempo Promedio para la Falla

En el gráfico 41 se muestra el cálculo para hallar el coeficiente de determinación (R2) con los datos obtenidos de probabilidad de falla F(t) para una Distribución Weibull de dos parámetros.

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

Inyector				Weibull 2P	
N °(i)	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	11,234	9%	91%	9.327	-2.351
2	11,567	18%	82%	9.356	-1.606
3	13,010	28%	72%	9.473	-1.096
4	13,078	39%	61%	9.479	-0.717
5	13,056	49%	51%	9.477	-0.399
6	13,600	66%	34%	9.518	0.073
7	13,750	83%	17%	9.529	0.571

7	N	β	11.92
		η	13,595
		MTTF	13,024
		R2	0.8822 = COEFICIENTE.R2 (y, x)
		g	0

Gráfico 41 Cálculo del Coeficiente de Determinación

En el gráfico 42 se muestra el cálculo para hallar el parámetro de ubicación llamado gamma en una Distribución de Weibull de tres parámetros. Para la variable X será el logaritmo de TTF(ti) menos gamma y para la variable Y será el doble logaritmo de la confiabilidad R(t).

Inyector				Weibull 2P		Weibull 3P	
N °(i)	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	11,234	9%	91%	9.327	-2.351	9.327	-2.351
2	11,567	18%	82%	9.356	-1.606	9.356	-1.606
3	13,010	28%	72%	9.473	-1.096	9.473	-1.096
4	13,078	39%	61%	9.479	-0.717	9.479	-0.717
5	13,056	49%	51%	9.477	-0.399	9.477	-0.399
6	13,600	66%	34%	9.518	0.073	9.518	0.073
7	13,750	83%	17%	9.529	0.571	9.529	0.571

7	N	β	11.92	β	11.92
		η	13,595	η	13595
		MTTF	13,024	MTTF	13024
		R2	0.8822	R2	0.8822
		g	0	g	0

Gráfico 42 Cálculo de la Distribución de Weibull de 3 parámetros

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

Para hallar el valor del parámetro de ubicación llamado gamma, se utilizó un complemento del Excel llamado solver como se muestra en el gráfico 43; donde el objetivo fue maximizar el coeficiente de determinación R2 cambiando la gamma, con la restricción de que gamma sea menor o igual al primer número de orden de falla N°(i).

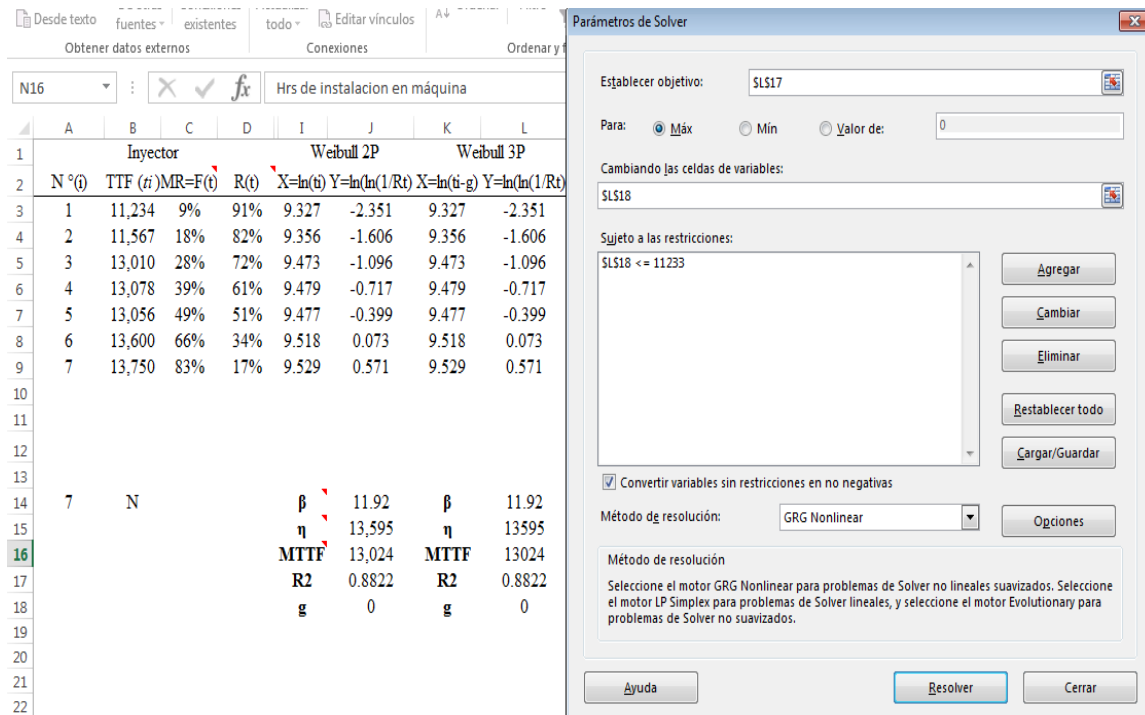


Gráfico 43 Cálculo de Gama para Weibull de 3 Parámetros con Solver

En el gráfico 44 se muestra el valor de gamma encontrado con el complemento solver, además se observa el coeficiente de determinación R2 con los datos obtenidos de probabilidad de falla F(t) para una Distribución de Weibull de tres parámetros.

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

N °(i)	Inyector			Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (ti)	MR=F(t)R(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	11,234	9%	91%	9.327	-2.351	5.455	-2.351
2	11,567	18%	82%	9.356	-1.606	6.340	-1.606
3	13,010	28%	72%	9.473	-1.096	7.606	-1.096
4	13,078	39%	61%	9.479	-0.717	7.639	-0.717
5	13,056	49%	51%	9.477	-0.399	7.629	-0.399
6	13,600	66%	34%	9.518	0.073	7.863	0.073
7	13,750	83%	17%	9.529	0.571	7.919	0.571
7	N			β	11.92	β	0.96
				η	13,595	η	3080
				MTTF	13,024	MTTF	14142
				R2	0.8822	R2	0.8120
				g	0	g	11000

Gráfico 44 Valor de Gamma

En la tabla 28 se puede observar que el coeficiente de determinación (R2) más próximo a 1 es el de Weibull con dos parámetros, lo que significa que los datos de fallas históricos del inyector se ajustan a esta distribución, al trazar los puntos tanto en X como en Y; como se observa en el gráfico 45 se aproxima a una recta.

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

Tabla 28

Variables Weibull

N °(i)	Inyector			Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	11,234	9%	91%	9.327	-2.351	5.455	-2.351
2	11,567	18%	82%	9.356	-1.606	6.340	-1.606
3	13,010	28%	72%	9.473	-1.096	7.606	-1.096
4	13,078	39%	61%	9.479	-0.717	7.639	-0.717
5	13,056	49%	51%	9.477	-0.399	7.629	-0.399
6	13,600	66%	34%	9.518	0.073	7.863	0.073
7	13,750	83%	17%	9.529	0.571	7.919	0.571
7	N			β	11.92	β	0.96
				η	13,595	η	3080
				MTTF	13,024	MTTF	14142
				R2	0.8822	R2	0.8120
				g	0	g	11000

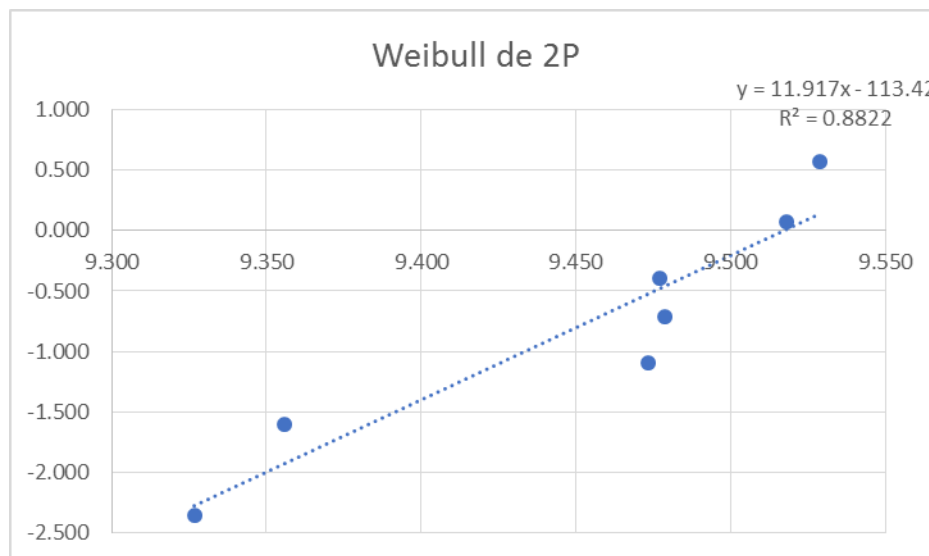


Gráfico 45 Weibull de Dos Parámetros

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

En la tabla 29 se observa los resultados de la distribución de Weibull de dos parámetros para el inyector, donde se observa que fallan por desgaste; es decir al ser Beta mayor que 4, existe envejecimiento operacional. El parámetro de escala eta es de 13,595 horas, siendo gamma cero. Y que cada 13,024 horas será la próxima falla, expresado en la siglas MTTF, la vida característica significa que a 13,595 horas habrá fallado el 63.2% de los inyectores, lo mismo significa con el B10 donde a las 11,255 horas habrá fallado el 10% de los inyectores.

Tabla 29

Resultados de Parámetros

Resultados	
Forma β	11.92
Escala η	13,595
Localizacion g	0
Vida Esperada MTTF	13,024
Vida Característica	13,595
Vida B10	11,255

En la tabla 30, el inyector nuevo tiene un costo de USD 3,419, el tiempo de instalación en la excavadora dado por un mantenimiento preventivo o correctivo es de 6 horas, el costo de mano de obra interno de nuestro caso en estudio es de USD 15 dólares por hora.





El costo de una intervención preventiva (Cip), será la suma del costo del repuesto USD 3,419 dólares más la multiplicación de las horas de instalación (6 horas) por el costo de la mano de obra (USD 15 dólares) haciendo un total de USD 3,509 dólares. El costo de una intervención correctiva (Cic), será la suma del costo del repuesto USD 3,419 dólares más la multiplicación de las horas de instalación (6 horas) por el costo de la mano de obra (USD 15 dólares) haciendo un total de USD 3,509 dólares. Y el costo de falla por correctivo (Cfc), será la multiplicación del costo de una intervención preventiva (Cip) USD 3,509 dólares por el factor del costo de falla (3) haciendo un total de USD 10,527 dólares.

El factor de costo de falla correctivo utilizado en los inyectores es de 3, este valor ha sido tomado de la exposición de gestión de activos, dado a la experiencia en distintas unidades mineras en relación a los costos de los componentes mayores de equipos de gran minería. (Tecsop, 2016).

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

Tabla 30

Detalle del Repuesto

Detalle del Componente & Costos	
Nombre	Inyector
Cantidad en máquina	16
Estado	Nuevo
Hrs de reemplazo de fábrica	15,000
Hrs de instalacion en máquina	6
dias de reparacion TAT	15
Costo del componente USD	3,419
Costo Mano Obra USD / hr	15
Cip USD 	3,509
Cic USD 	3,509
Cfp USD 	0
Factor del costo de falla	3
Cfc USD 	10,527

Para estimar el tiempo de intercambio del componente por una intervención correctiva, se utilizará el tiempo promedio para la falla expresado con las siglas MTTF (Gráfico 46).

Resultados	
Forma β	11.92
Escala η	13,595
Localizacion g	0
Vida Esperada MTTF	13,024
Vida Característica	13,595
Vida B10	11,255



Intervención Correctiva Falla	
Vida Esperada MTTF 	13,024
Confiabilidad	0.974
Costo global correct \$/hr 	1.863

Gráfico 46 Valor MTTF

Después se halló la confiabilidad $R(t)$ correspondiente al tiempo de intercambio por falla del repuesto (Gráfico 47).

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

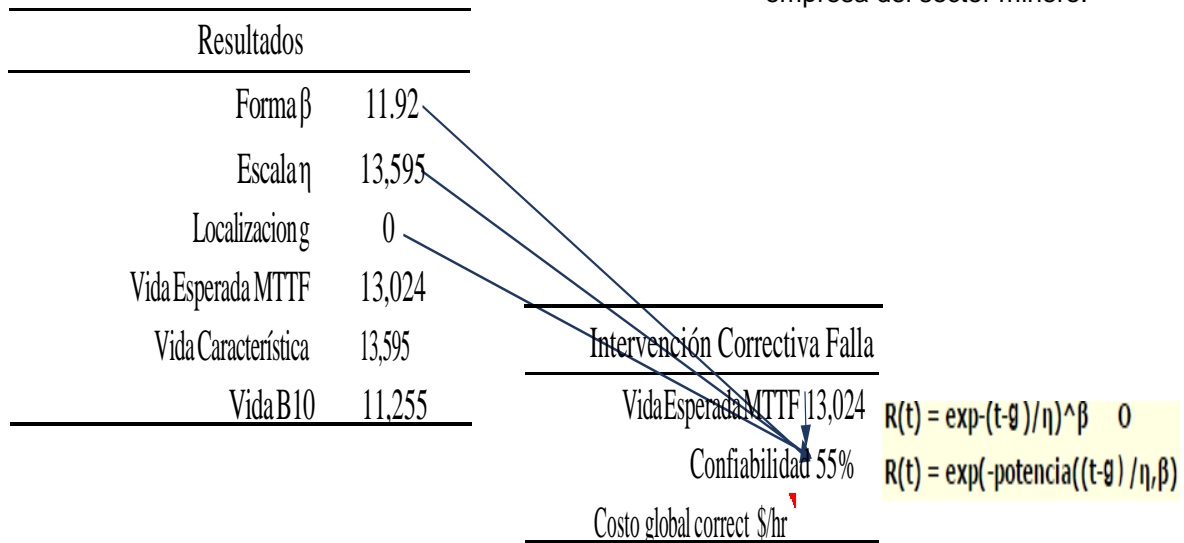


Gráfico 47 Cálculo de la Confiabilidad

En el gráfico 48 se puede observar el cálculo del costo por hora para una intervención correctiva utilizando el MTTF.

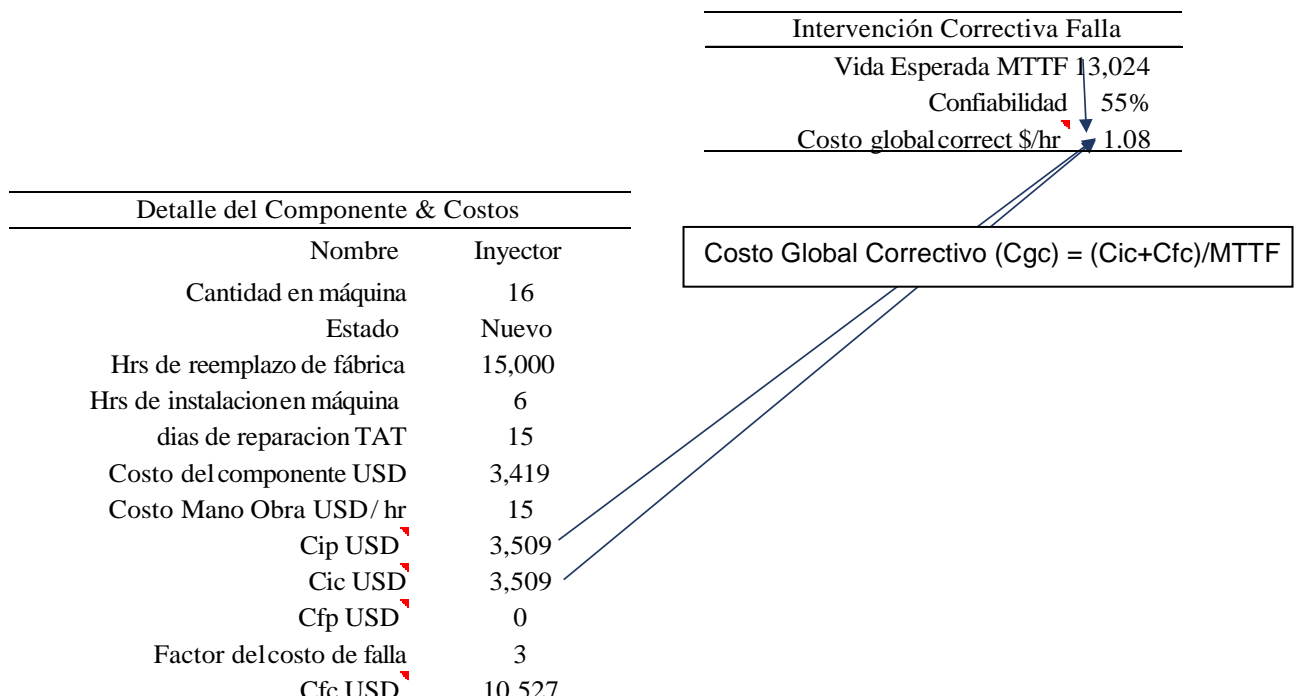


Gráfico 48 Cálculo del Costo Global Correctivo

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

Para estimar el tiempo de intercambio del repuesto por una intervención óptima, se utilizará la fórmula que se muestra en el gráfico 49, el cual considera la confiabilidad $R(t)$ y la probabilidad de falla $F(t)$ multiplicando por los costos dividido entre el MTTF.

Una vez calculado el costo por intervención es graficando con el tiempo de funcionamiento, para ubicar el costo mínimo y encontrar el tiempo óptimo.

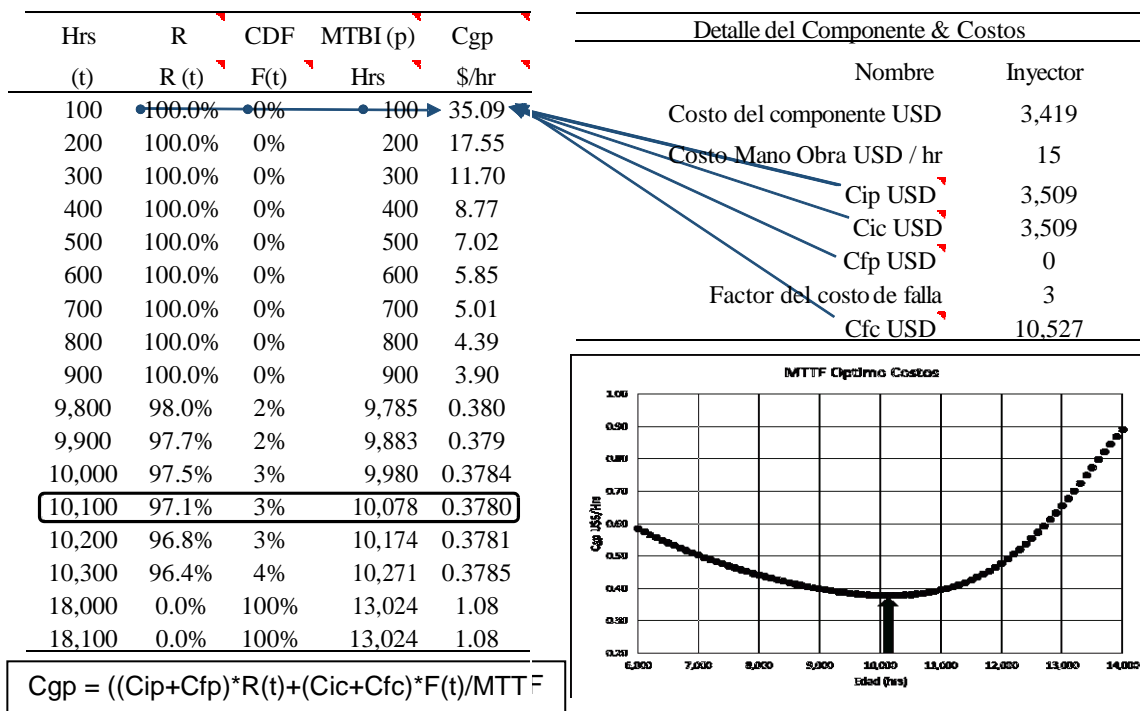


Gráfico 49 Cálculo del Costo Global Óptimo

En este caso para el inyector el tiempo óptimo MTTF es de 10,100 horas que equivale a un costo de 0.38 dólares la hora (tabla 31).

Tabla 31

Resultados del Costo Global Óptimo

Intervención Óptima	
Vida Esperada MTTF optimo	10,100
Confiabilidad	97%
Costo global preventivo \$/hr	0.38

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

En el gráfico 50, se puede observar que para hallar el costo total por flota óptimo de los inyectores del caso en estudio se cambia el repuesto con 4,650 horas el cual equivale a 0.88 dólares la hora, multiplicando con el número total de equipos y 8030 horas de trabajo aproximadamente para un año de operación se tiene un costo total de 7,100 dólares; estos montos pertenecen al periodo donde no se tuvo la mejora del sistema de microfiltrado. Para el periodo donde se tuvo la mejora del sistema de microfiltrado ocurre lo mismo con 10,100 horas de intercambio de componentes se tiene un costo total de 3,036 dólares al año. Pudiendo observar que mediante la herramienta de distribución de Weibull podemos tener el comparativo antes y después de la mejora, y bajo cálculo se obtuvo un beneficio anual de 4,065 dólares.

Datos de Equipo			
Nombre Excavadora Hdy			
N° de Equipos		1	
Hrs de trabado diario		22	
Dias de Trabajo x Mes		30	
Meses de Operación		12	
Hrs de Ope Anual		8030	
Intervenciones de intercambio de componentes Óptimo	Sin Microfiltrado	Con Microfiltrado	
Forma β	7.14	11.92	
Escala (hrs) η	6,962	13,595	
Localizacion (hrs) g	0	0	
Vida Esperada (hrs) MTTF	6,519	13,024	
Vida Característica (hrs)	6,962	13,595	
Vida B10 (hrs)	5,079	11,255	
Intervención Correctiva			
Vida Esperada MTTF	6,519	13,024	
Confiabilidad	53%	55%	
Costo global correct \$/hr	2.15	1.08	
Intervención Óptima			
Vida Esperada MTTF optimo	4,650	10,100	
Confiabilidad	95%	97%	
Costo global preventivo \$/hr	0.88	0.38	Beneficio
Costo total por flota \$ /año	7,100	3,036	4,065

Gráfico 50 Cálculo del costo Óptimo

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

Comparación el proceso de toma de decisión actual con el proceso mejorado.

El proceso de toma de decisión actual del caso en estudio no posee una gestión de la información adecuada, a pesar de que cuentan con un historial amplio de mantenimientos. Por el contrario, el proceso de toma de decisión mejorado, gestiona y calcula la información para obtener datos más precisos y poder identificar el equipo, componente y repuesto con mayor criticidad para la toma de decisiones de implementación de alguna mejora.

En el proceso de toma de decisión mejorado, con el uso de la distribución de Weibull ha permitido tener más indicadores; tanto antes como después de la implementación de alguna mejora; como son los intervalos de fallas del repuesto, los tiempos correctivos y óptimos para el cambio de repuestos y el valorizado de costos; los cuales proporcionan mayor información para una buena toma de decisiones. Estos datos e información no se calculan en el proceso de toma de decisión actual.

El proceso de toma de decisión mejorado, nos ofrece una ventaja adicional de importancia, como el de poder valorizar monetariamente el beneficio que se obtiene antes y después de implementada una mejora. Esta ventaja no la proporciona el proceso actual de toma de decisión y es la que también busca nuestro caso en estudio.

Todos estos indicadores se observan en el gráfico 51.

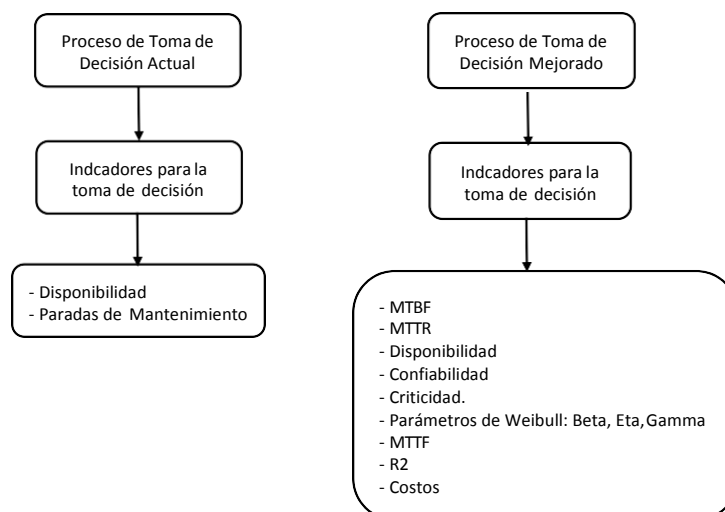


Gráfico 51 Indicadores

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

El uso de la Distribución de Weibull como herramienta de apoyo ante una mejora implementada en la industria e ingeniería se adecua de forma precisa para estas áreas en estudio; y esto lo puede sustentar (Jaramillo, Lopera, Manotas, & Yáñez, 2008), cuando manifiesta que la distribución Weibull tiene gran importancia en temas financieros, actuariales, de ingeniería y bioestadística, entre otros.

Para obtener el resultado de los parámetros de la distribución de Weibull más preciso es importante tener una base de registro de instantes de falla correcta y con datos confiables; que es lo mismo que nos sugiere (Castaño, ANÁLISIS DE DATOS DE FALLA, 2014) cuando manifiesta que es indispensable tener una buena historia clínica de los equipos y sistemas que incluya un buen registro de datos de falla y de interacciones sobre ellos, donde están registrados los tiempos de falla, los tiempos de reparación, etc.

Y (Castaño, ANÁLISIS DE DATOS DE FALLA, 2014) afirma que todo el análisis realizado, permitirá tomar decisiones sobre los cambios operativos del sistema. Lo que se comprobó al usar la Distribución de Weibull para obtener un análisis de costos al implementar una mejora en el área de mantenimiento en el sector minas.

En su libro el arte de mantener (Pascual, 2005) hace mención a los desafíos importantes de la ingeniería de la confiabilidad es predecir cuándo ocurrirá la falla. Para ello, aprovechamos los datos históricos del mismo equipo o de otros equipos similares, operando en circunstancias similares. Validando la distribución Weibull como una herramienta importante de apoyo en la confiabilidad de los equipos.

4.2 Conclusiones

Al realizar el diagnóstico del proceso actual de toma de decisiones se verificó que el caso en estudio no posee herramientas de apoyo a las decisiones de mejora; y al no contar con estas herramientas no tienen una correcta gestión de la información previa ni una línea base para la toma de decisiones de mejora. Es por lo que recomendamos la distribución de Weibull como una herramienta eficaz de apoyo a las decisiones de mejora que puedan implementarse en su área de trabajo.

Para la selección de un caso real de mejora no solo se tuvo en cuenta la disponibilidad de los equipos, sino también los componentes y repuestos con mayor criticidad (gráfico 10 y 11), otorgándonos resultados con mayor exactitud para ubicar el caso real de mejora.

Obteniendo el caso de mejora, se logró plasmar un proceso de toma de decisiones mejorado con el uso de la distribución de Weibull, para mejorar el proceso de toma de decisiones actual del caso en estudio (gráfico 12). Pero debemos recalcar que para obtener resultados confiables mediante la distribución de Weibull es necesario tener una base de datos en la cual se registre la fecha y hora de falla de los equipos.

Al aplicar el proceso de toma de decisiones mejorado, en un caso real de mejora, se tiene como uno de los principales beneficios el poder analizar las intervenciones (tanto correctivas como óptimas) antes y después de implementada esta mejora, como se puede mostrar en el gráfico 50; cuando ya se tenía implementada la mejora, el valor de β es 11.92 siendo mayor que cuando aún no se tenía implementada la mejora, donde el valor de β es de 7.14; por lo tanto su envejecimiento operacional de los componentes (en este caso en estudio de los inyectores), es mayor; es decir su ciclo

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

de vida es más amplio. El uso de la distribución de Weibull nos permite valorizar el beneficio, como por ejemplo, en la intervención óptima, donde el beneficio calculado es de USD 4,065.00 dólares. Y por último visualizamos que la confiabilidad cuando se tiene la mejora es del 97%; siendo mayor a la confiabilidad cuando no se tenía la mejora (95% de confiabilidad). Pero debemos recordar que la determinación de los parámetros de Weibull va depender de los datos que se tengan en el momento de realizar el análisis estadístico.

Y al realizar la comparación del proceso de toma de decisión actual con el proceso mejorado, podemos llegar a la conclusión de que el proceso mejorado nos brinda una gama más amplia de indicadores que favorecen a la toma de decisiones (gráfico 51).

REFERENCIAS

- Calvo, E. A. (2015). *Técnicas de mantenimiento en instalaciones mineras*.
- CAMPILLO, Y. M., & ARANGO, D. A. (2012). *ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA COMAI LTDA*. Cartagena de Indias.
- Castaño, S. R. (2014). *ANÁLISIS DE DATOS DE FALLA*. Colombia.
- Castaño, S. R. (2014). *ANÁLISIS DE DATOS DE FALLA*. Colombia.
- Council, F. M. (2015). *Contaminación del Diesel y Taponamiento del Filtro de Combustible*. Obtenido de Contaminación del Diesel y Taponamiento del Filtro de Combustible: <http://www.baldwinfilter.com/literature/spanish/10%20TSB's/95-1R1S.pdf>
- ENEX. (s.f.). <https://www.enex.cl>. Obtenido de <https://www.enex.cl/nuestros-negocios/soluciones-industriales/transporte/microfiltrado-de-combustible/>: <https://www.enex.cl/nuestros-negocios/soluciones-industriales/transporte/microfiltrado-de-combustible/>
- Garza Ríos, R., González Sánchez, C., & Salinas Gómez, E. (2007). *TOMA DE DECISIONES EMPRESARIALES: UN ENFOQUE MULTICRITERIO MULTIEXPERTO*. LaHabana, Cuba.
- Huamán, J. C. (2008). *Criterios de selección y reemplazamiento de equipo para la construcción de accesos y plataformas en la zona de san Antonio, provincia de Yauli-Junín*. Lima.
- Info Entrepreneurs. (2016).
- Jaramillo, M. C., Lopera, C. M., Manotas, E. C., & Yáñez, S. (2008). Generación de tiempos de falla dependientes Weibull bivariados usando cópulas. *Revista Colombiana de Estadística*, 169-181.
- Lewis. (1987). *Introduction to Reliability Engineering*.
- Lipe, J. V. (Dirección). (2015). *DISTRIBUCION DE WEIBULL* [Película].
- López, V. E. (2016). *REVISIÓN DOCUMENTAL EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN*.
- Louw, J. (s.f.). Kleenoil Middle East.
- MARULANDA, N. L. (2011). *CLASES Y TIPOS DE INVESTIGACION Y SUS CARACTERISTICAS*. Bogota.
- Molina, S. A., & Rivera, H. A. (2012). *Las herramientas estratégicas: un apoyo al proceso de toma de decisiones gerenciales*. Bogotá.
- Morales, A. E. (2012). *Estadística y Probabilidades*. Chile.
- Morales, C. I. (2014). *TOMA DE DECISIONES Y PRODUCTIVIDAD LABORAL*. Quetzaltenango.
- Pascual, R. (2005). *El arte de mantener*.
- PEMEX. (2014). Kleenoil Latinoamerica.
- Pertuz, A. (2014). *Análisis de Fallas - Estimación de Parámetros Weibull*. Bucaramanga.

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

- Quiroz, D. S. (2015). https://datospdf.com/download/tipos-de-mantenimiento-vale-_5a44b914b7d7bc422b8640cd_pdf. Obtenido de https://datospdf.com/download/tipos-de-mantenimiento-vale-_5a44b914b7d7bc422b8640cd_pdf.
- Rico, J. C. (2015). *Comparación de métodos para determinar los parámetros de Weibull para la generación de energía eólica*. Colombia.
- Rodríguez, J. C. (2013). *EL USO DE LA SIMULACIÓN PARA APOYAR LA TOMA DE DECISIONES ORGANIZACIONALES*.
- Salazar Hernandez, G. C., & Puma Veronica, J. C. (2017). *Optimización del Stock de Componentes Críticos para reducir costos e incrementar la disponibilidad de palas hidráulicas en minería*. Cajamarca.
- Sousa, V. D., Driessnack, M., & Mendes, I. A. (2007). *REVISIÓN DE DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN RESALTANTES PARA ENFERMERÍA. PARTE 1: DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA*.
- Tecsup. (2016). Curso de Confiabilidad.
- Tinoco, K. L. (2015). *INGENIERIA EN LUBRICACION Y MICROFILTRADO - MATENIMIENTO PREVENTIVO DE SISTEMAS HIDRAULICOS*.
- Verasay, P. (2013). *APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE COSTOS Y GESTIÓN A LAS ACTIVIDADES MINERAS*.
- Viscarra, R. (Dirección). (2017). *DISTRIBUCION DE WEIBULL* [Película].

ANEXOS

ANEXO n.º 1 Estructura de Tiempo de Falla:

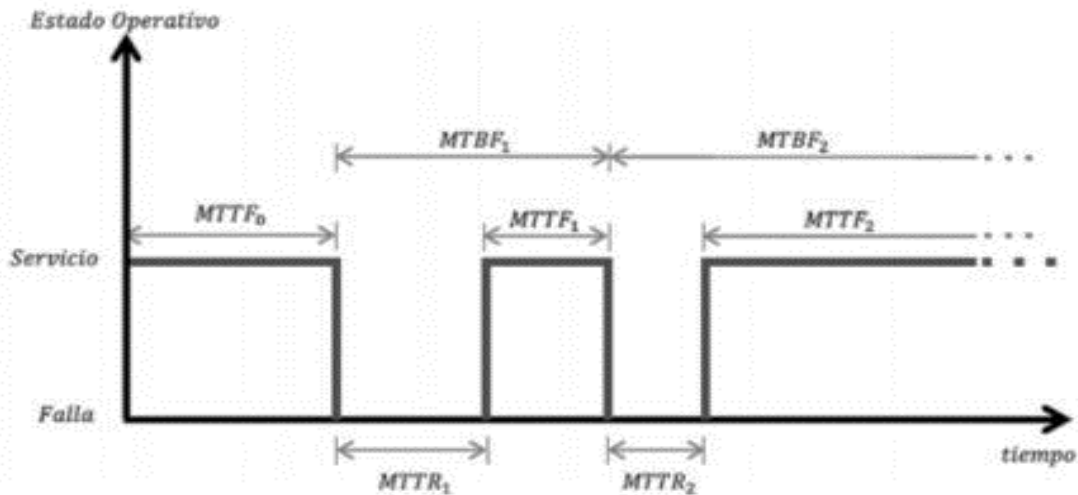


Gráfico 52 Estructura de tiempos de falla

Servicio: Equipo operativo

Falla: Equipo detenido

MTTR: Tiempo medio para reparar y se obtiene dividiendo el tiempo total de reparaciones entre el número total de fallas de un sistema

MTTF: Tiempo medio para fallar

MTBF: Tiempo medio entre fallas y es posible hallarlo dividiendo el tiempo total de operación entre el número de paros por fallas

(Pascual, 2005)

ANEXO n.º 2 Tablas de Disponibilidad:

Tabla 32

Disponibilidad de Flota

Disponibilidad Mecánica de la flota de palas hidráulicas EX2500							
Fecha	Pala A	Pala B	Pala C	Pala D	Disp.	DispMin	DispMax
oct-15	96%	96%	93%	95%	95%	93%	95%
nov-15	95%	94%	91%	95%	94%	93%	95%
dic-15	98%	95%	92%	96%	95%	93%	95%
ene-16	99%	94%	95%	95%	95%	93%	95%
feb-16	83%	92%	86%	100%	92%	93%	95%
mar-16	98%	91%	92%	84%	92%	93%	95%
abr-16	99%	94%	99%	93%	97%	93%	95%
may-16	99%	99%	91%	99%	97%	93%	95%
jun-16	87%	90%	95%	92%	91%	93%	95%
jul-16	92%	90%	92%	99%	92%	93%	95%
ago-16	92%	96%	98%	89%	96%	93%	95%
sep-16	95%	98%	100%	99%	98%	93%	95%
oct-16	96%	100%	84%	91%	96%	93%	95%

Tabla 33

Disponibilidad Suavizada

Disponibilidad suavizada mecánica de la flota de palas hidráulicas modelos EX2500							
Fecha	Pala A	Pala B	Pala C	Pala D	Disp. S	DispMin	DispMax
oct-15						93%	95%
nov-15						93%	95%
dic-15						93%	95%
ene-16						93%	95%
feb-16	94%	94%	91%	96%	94%	93%	95%
mar-16	95%	93%	91%	94%	94%	93%	95%
abr-16	95%	93%	93%	93%	94%	93%	95%
may-16	96%	94%	93%	94%	95%	93%	95%
jun-16	93%	93%	92%	93%	94%	93%	95%
jul-16	95%	93%	94%	93%	94%	93%	95%
ago-16	94%	94%	95%	94%	95%	93%	95%
sep-16	93%	94%	95%	96%	95%	93%	95%
oct-16	92%	95%	94%	94%	95%	93%	95%

ANEXO n.º 3. Tablas de Componentes y Repuestos Críticos:

Tabla 34

Componentes Críticos

Item	Nombre del componente	TFS (Hrs)
1	Swing Bearing	240
2	Engine	48
3	Propel Transmissions	36
4	Drive Tumblers	36
5	Tumbler Shaft	36
6	Pump Transmissions	30
7	Swing Transmissions	30
8	Center Joint	30
9	Front Idlers	30
10	Track Adjuster Cylinder	30
11	Main Control Valves	24
12	Level Cylinder	20
13	Boom Cylinders	18
14	Arm Cylinder	18
15	Bucket Tilt Cylinders	18
16	Radiator	12
17	Main Hydraulic Pumps 7y8, 1y2, 3y4	12
18	Main Hydraulic Pumps 5y6, 11y12	12
19	Bucket Open/Close Cylinders	6
20	Hydraulic Oil Coolers	5
21	Aux. Pumps	4
22	Swing Motors	4
23	Propel Motors	3
24	Hyd. Oil Cooler Fan Motors	3
25	Fast Fill Cylinder	2

Tabla 35

Repuestos Críticos

Item	Nombre del repuesto	TFS (Hrs)
1	Bomba de aceite	30
2	Culata del motor	18
3	Radiador de motor	14
4	Radiador LTA	14
5	Manifull de Admisión de aire	12
6	Multiple de escape	12
7	Carter de aceite	12
8	Inyectores de combustible	6
9	Bomba de inyección	5
10	Turbo cargador	5
11	Bomba de agua Motor	5
12	Bomba LTA	5
13	Mangueras de admisión de aire	4
14	Codos de escape de gases	4
15	Eliminator de aceite	4
16	Arnes principal LH	4
17	Arnes principal RH	3
18	Filtros de refrigerante	1
19	Filtros de combustible primarios	1
20	Filtros de combustible secundarios	1
21	Filtros de aire primarios	1
22	Filtros de aire secundarios	1

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

ANEXO n.º 4. Validación de ficha documental:

FORMATO DE VALIDEZ BASADA EN EL CONTENIDO: GUIA DE ENTREVISTA

Estimado(a) experto(a):

Reciba nuestros más cordiales saludos, el motivo de este documento es informarles que estamos realizando la validez basada en el contenido de un instrumento destinado a mejorar un proceso de toma de decisiones en el área de mantenimiento del sector minas con el uso de la distribución de Weibull. En ese sentido, solicito pueda evaluar los 18 ítems en dos criterios: Coherencia y claridad. Su sinceridad y participación voluntaria me permitirá identificar posibles fallas en la escala.

Antes es necesario completar algunos datos generales:

I. Datos Generales

Nombre y Apellido:	Ricardo Fernando Ortega Mestanza		
Grado académico:	Bachiller	Magister (X)	Doctor
Área de Formación académica	Ingeniería Industrial – Dirección de Operaciones y Cadena de Abastecimiento		
Áreas de experiencia profesional	Operaciones, Área Académica		
Tiempo de experiencia profesional en el área	2 a 4 años	5 a 10 años (X)	10 años a mas

Nombre y Apellido:	Ana Rosa Mendoza Azañero		
Grado académico:	Bachiller	Magister (X)	Doctor
Área de Formación académica	Ingeniería Industrial		
Áreas de experiencia profesional	Operaciones, Área Académica		
Tiempo de experiencia profesional en el área	2 a 4 años	5 a 10 años (X)	10 años a mas

Nombre y Apellido:	Luis Roberto Quispe Vásquez		
Grado académico:	Bachiller	Magister (X)	Doctor
Área de Formación académica	Ingeniería Industrial		
Áreas de experiencia profesional	Operaciones, Área Académica		
Tiempo de experiencia profesional en el área	2 a 4 años	5 a 10 años (X)	10 años a mas

II. Criterios de Calificación

a. Coherencia

El grado en que el ítem guarda relación con la dimensión que está midiendo. Su calificación varía de 0 a 3: El ítem "No es coherente para evaluar" (puntaje 0), "poco coherente para evaluar" (puntaje 1), "coherente para evaluar" (puntaje 2) y es "totalmente coherente para evaluar" (puntaje 3).

<i>Nada coherente</i>	<i>Poco coherente</i>	<i>Coherente</i>	<i>Totalmente coherente</i>
0	1	2	3

b. Claridad

El grado en que el ítem es entendible, claro y comprensible en una escala que varía de "Nada Claro" (0 punto), "medianamente claro" (puntaje 1), "claro" (puntaje 2), "totalmente claro" (puntaje 3)

<i>Nada claro</i>	<i>Poco claro</i>	<i>Claro</i>	<i>Totalmente claro</i>
0	1	2	3

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

ÍTEMS		Citas bibliográficas.	Coherente				Claridad				Sugerencias
Nº	Ponderación Ítems		0	1	2	3	0	1	2	3	
1	Nombre	Basado en López, V. E. (2016), REVISIÓN DOCUMENTAL EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.			X			X			
2	Marca				X			X			
3	Nº de Equipo				X			X			
4	Modelo					X				X	
5	Potencia HP (Kw)				X			X			
6	Cap. Cucharón Yd3 (M3)				X			X			
7	Peso TN				X			X			
8	Horas de trabajo diario					X				X	
9	Días de Trabajo x Mes					X				X	
10	Meses de Operación					X				X	
11	Horas de Operación Anual					X				X	
12	Tiempo en intercambiar (TFS)					X				X	
13	Nombre del componente y/Repuesto					X				X	
14	MTBF Histórico					X				X	
15	MTTR Histórico					X				X	
16	Cantidad del Repuesto Instalados en el Componente					X				X	
17	TTF del Repuesto					X				X	
18	Tipo de falla del repuesto					X				X	

Las alternativas de respuesta van de 0 al 3 y tienen las siguientes expresiones:

0 1 2 3
Muy en desacuerdo Desacuerdo De acuerdo Muy de acuerdo



.....
Ricardo Fernando Ortega Mestanza

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

ÍTEMS	Citas bibliográficas	Coherente				Claridad				Sugerencias	
		0	1	2	3	0	1	2	3		
Ponderación											
Ítems											
1 Nombre	Basado en López, V. E. (2016). REVISIÓN DOCUMENTAL EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.			X			X				
2 Marca				X			X				
3 N° de Equipo				X			X				
4 Modelo					X			X			
5 Potencia HP (Kw)				X			X				
6 Cap. Cucharón Yd3 (M3)				X			X				
7 Peso TN				X			X				
8 Horas de trabajo diario					X			X			
9 Dias de Trabajo x Mes					X			X			
10 Meses de Operación					X			X			
11 Horas de Operación Anual					X			X			
12 Tiempo en intercambiar (TFS)											
13 Nombre del componente y/Repuesto				X			X				
14 MTBF Histórico									X		
15 MTTR Histórico										X	
16 Cantidad del Repuesto Instalados en el Componente										X	
17 TTF del Repuesto										X	
18 Tipo de falla del repuesto										X	

Las alternativas de respuesta van de 0 al 3 y tienen las siguientes expresiones:

0 1 2 3
Muy en desacuerdo Desacuerdo De acuerdo Muy de acuerdo



.....
Ana Rosa Mendoza Azañero

Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero.

ÍTEMS	Citas bibliográficas	Coherente				Claridad				Sugerencias	
		0	1	2	3	0	1	2	3		
Ponderación											
Ítems											
1 Nombre	Basado en López, V. E. (2016). REVISIÓN DOCUMENTAL EN EL PROCESO DE INVESTIGACION.			X			X				
2 Marca			X				X				
3 N° de Equipo			X				X				
4 Modelo				X				X			
5 Potencia HP (Kw)			X				X				
6 Cap. Cucharón Yd3 (M3)			X				X				
7 Peso TN			X				X				
8 Horas de trabajo diario					X			X			
9 Días de Trabajo x Mes					X			X			
10 Meses de Operación					X			X			
11 Horas de Operación Anual					X			X			
12 Tiempo en intercambiar (TFS)					X			X			
13 Nombre del componente y/Repuesto					X			X			
14 MTBF Histórico					X			X			
15 MTTR Histórico					X			X			
16 Cantidad del Repuesto Instalados en el Componente					X			X			
17 TTF del Repuesto					X			X			
18 Tipo de falla del repuesto					X			X			

Las alternativas de respuesta van de 0 al 3 y tienen las siguientes expresiones:

0 1 2 3
Muy en desacuerdo Desacuerdo De acuerdo Muy de acuerdo



.....
M. Cs. Luis Roberto Quispe Vásquez