

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE CONFIABILIDAD WEIBULL PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE REEMPLAZO DE LOS MOTORES DIESEL EN EL YACIMIENTO MINERO JANGAS EN LA PROVINCIA DE HUARAZ”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

ALFREDO DANIEL VALVERDE ARELLANO

Asesor:

Ing. Mg. ULISES ABDON PISCOYA SILVA

Lima - Perú

2021



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE



## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi familia, y a la  
Universidad privada del norte por la  
experiencia tan maravillosa de acompañarme  
en todo momento para convertirme en un  
ingeniero industrial.



## **AGRADECIMIENTO**

Agradecimiento a mi asesor de tesis y a mi adorada esposa por acompañarme en este nuevo reto de mi carrera que es esta tesis. Gracias a mi familia y a mis adorados hijos.



## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>28</b>
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....</b>	<b>60</b>
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDADIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>76</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Información de la empresa: MINING AND METALLURGICAL SERVICES EO SAC.....	10
Tabla 2: Cálculos para alineación de Weibull.....	44
Tabla 3: Resultados del Ejemplo de disponibilidad Inherente para alineación de Weibull.....	45
Tabla 4: Resultados de la lectura con el papel de Weibull.....	48
Tabla 5: Historial del motor diésel 5AZ100076017 sin uso del software CCM (Antes de la mejora) .....	60
Tabla 6: Historial del motor diésel 5AZ100076017 sin uso del software CCM (Después de la mejora) .....	61
Tabla 7: Historial del motor diésel 5AZ100077012 con uso del software CCM (Después de la mejora) .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la empresa MINING AND METALLURGICAL SERVICES EO SAC. Fuente: Google Maps (2021) .....	11
Figura 2: Organigrama del yacimiento minero Jangas. Fuente: Elaboración propia (2021)..	12
Figura 3: Registro de usuarios. Fuente: Elaboración propia (2020) .....	15
Figura 4: Registro de horómetros. Fuente: Elaboración propia (2020).....	16
Figura 5: Registro de cambio de componentes. Fuente: Elaboración propia (2020) .....	17
Figura 6: Mantenimiento de componentes mayores y menores. Fuente: Elaboración propia (2020) .....	18
Figura 7: Mantenimiento de los proveedores. Fuente: Elaboración propia (2020) .....	19
Figura 8: Lista de proveedores. Fuente: Elaboración propia (2020) .....	19
Figura 9: Mantenimiento de trabajadores. Fuente: Elaboración propia (2020) .....	20
Figura 10: Horómetro compuesto. Fuente: Elaboración propia (2020) .....	21
Figura 11: Registro de usuarios nuevo. Fuente: Elaboración propia (2020) .....	21
Figura 12: Consulta de equipos. Fuente: Elaboración propia (2020) .....	22
Figura 13: Registro de tarjetas: Elaboración propia (2020) .....	23
Figura 14: Seguimiento de garantías: Elaboración propia (2020) .....	23
Figura 15: Proyección cambio de componentes: Elaboración propia (2020) .....	24
Figura 16: Reporte cambio de componentes: Elaboración propia (2020).....	24
Figura 17: Proyección de costos: Elaboración propia (2020).....	25
Figura 18: Reporte proyección de costos: Elaboración propia (2020) .....	25
Figura 19: Papel de Weibull para producción (Probabilidad de Weibull). Fuente: Barringer P. H.,2000.....	35
Figura 20: Weibull sin problemas de producción. Fuente Barringer P. H.(2005).....	36
Figura 21: Weibull con problemas de producción. Fuente: Barringer P. H. (2005).....	37
Figura 22: Capacidad y pérdidas de producción. Fuente (Barringer P. H.,2005).....	38
Figura 23: Problema simple con problemas de confiabilidad. Fuente: Barringer (2008).....	40
Figura 24: Ejemplo de tiempos de funcionamiento y no funcionamiento de una máquina .	43
Figura 25: Obtención de parámetros para obtener MTBF por método gráfico .....	46
Figura 26: Obtención de parámetros para obtener MTTR por método gráfico .....	47
Figura 27: Motor 3516B. Fuente Cat (2021) .....	48
Figura 28: Esquema movimiento biela-manivela, fuente: elaboración propia (2021).....	50
Figura 29: Sistema de tres GDL en torsión, fuente: elaboración propia (2021).....	51
Figura 30: Diagrama Causa – Efecto (Ishikawa). Fuente Elaboración propia (2021).....	58
Figura 31: Grafica de confiabilidad del camión 785C acorde a las vidas de su motor diésel. Fuente Elaboración propia (2021).....	63
Figura 32: Tiempo óptimo del camión 785C cuando ocurre el reemplazo de la 1era Vida. Línea celeste: Inviabilidad Vs tiempo. Línea azul: Costo del mantenimiento preventivo Vs tiempo, Línea Violeta: Costo de falla Vs tiempo, Línea Amarilla Costo del tiempo de reparación Vs tiempo. Fuente Elaboración propia (2021).....	64

Figura 33: Tiempo óptimo del camión 785C cuando ocurre el reemplazo de la 1era Vida. Línea celeste: Inviabilidad Vs tiempo. Línea azul: Costo del mantenimiento preventivo Vs tiempo, Línea Violeta: Costo de falla Vs tiempo, Línea Amarilla Costo del tiempo de reparación Vs tiempo. Fuente Elaboración propia (2021) .....65

Figura 34: Tiempo óptimo de reemplazo 3era Vida. Línea celeste: Inviabilidad Vs tiempo. Línea azul: Costo del mantenimiento preventivo Vs tiempo, Línea Violeta: Costo de falla Vs tiempo, Línea Amarilla Costo del tiempo de reparación Vs tiempo. Fuente Elaboración propia (2021) .....66

Figura 35: Tiempo óptimo de reemplazo 4ta Vida. Línea celeste: Inviabilidad Vs tiempo. Línea azul: Costo del mantenimiento preventivo Vs tiempo, Línea Violeta: Costo de falla Vs tiempo, Línea Amarilla Costo del tiempo de reparación Vs tiempo. Fuente Elaboración propia (2021) .....67

Figura 36: Tiempo óptimo de reemplazo 5ta Vida. Línea celeste: Inviabilidad Vs tiempo. Línea azul: Costo del mantenimiento preventivo Vs tiempo, Línea Violeta: Costo de falla Vs tiempo, Línea Amarilla Costo del tiempo de reparación Vs tiempo. Fuente Elaboración propia (2021) .....68



## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 .....	31
Ecuación 2 .....	31
Ecuación 3 .....	32
Ecuación 4 .....	39
Ecuación 5 .....	49
Ecuación 6 .....	49
Ecuación 7 .....	49
Ecuación 8 .....	51
Ecuación 9 .....	51
Ecuación 10 .....	52
Ecuación 11 .....	52
Ecuación 12 .....	52
Ecuación 13 .....	53
Ecuación 14 .....	53
Ecuación 15 .....	53



## RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo de investigación se desarrollo en el yacimiento minero de Jangas en la provincia de Huaraz y narra la problemática del reemplazo de los motores diésel de los camiones 785C. Después de realizar un análisis atreves del diagrama causa efecto. La empresa que representa la mina contrata una empresa la cual desarrolla un software llamado CCM el cual utilizando la distribución de Weibull nos ayuda a ejecutar los mantenimientos de manera predictiva. La labor que desempeño el tesista es apoyar a los programadores en la parte técnica y verificar los resultados que entregaba dicho software.

Cabe resaltar que cuando se realizo el cierre de mina esta tesis muestra las gráficas de la confiabilidad con datos de mas de 10 años los cuales fueron desarrollados en base a información de técnicos que trabajaron en empresas que realizaban mantenimiento y venta de maquinaria pesada y datos propios de la mina.

Acorde a la cantidad de datos que tiene el programa CCM los matemáticos y programadores calcularon una confiabilidad del 80% valor con el cual este software empezó a funcionar en el yacimiento minero como una nueva área que apoyaba a las decisiones de mantenimiento de los camiones 785C

**Palabras clave:** Confiabilidad, Weibull, Motores Diesel, Maquinaria pesada ,  
Mantenimiento predictivo

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Realidad Problemática

La empresa MINERÍA Y SERVICIOS METALÚRGICOS EO SAC tiene un cliente en una mina en la cordillera de los Andes en el departamento de Ancash en el centro norte del Perú, a una distancia de unos 10 kilómetros al noroeste de la ciudad de Huaraz y a una altitud de 4.100 metros sobre el nivel del mar. La explotación del yacimiento es a cielo abierto con camiones y cargadores.

Esta empresa minera tritura el mineral para en seguida ser transportado por una cinta transportadora al área de la plataforma de lixiviación. El oro recuperado se funde en la planta para obtener varillas de doré y estas se envían a refinerías en el exterior para ser procesadas hasta obtener las varillas de oro.

Para el desarrollo de las actividades mineras, la empresa minera necesitaba conocer el reemplazo de los motores diésel de los camiones 785C que trabajaba en el yacimiento, por lo que desarrolló un software de confiabilidad con la distribución Weibull que permitió que a la empresa determinar el reemplazo y los tiempos para el reemplazo de estos motores diésel.

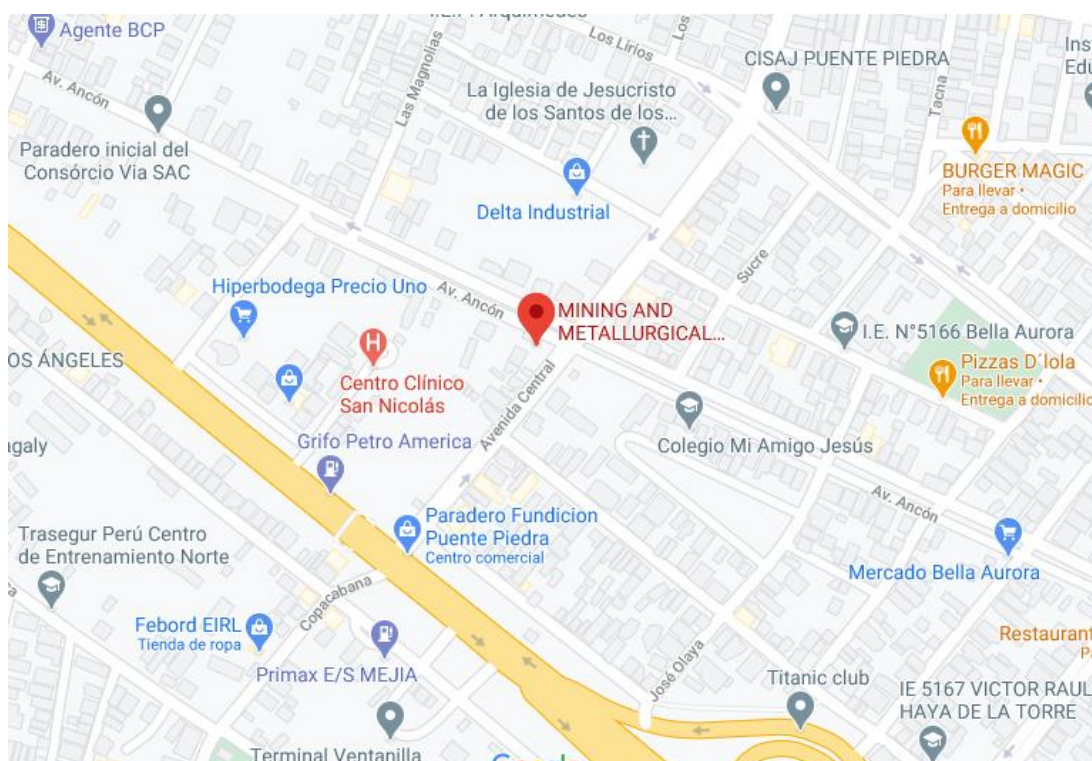
#### 1.1.1 Información de la empresa

**Tabla 1: Información de la empresa: MINING AND METALLURGICAL SERVICES EO SAC**

MINING AND METALLURGICAL SERVICES EO SAC	
RUC	20551133436
Tipo de contribuyente	Sociedad anónima

Nombre Comercial	MINING AND METALLURGICAL SERVICES EO SAC
Fecha de inscripción	11-01-2013
Domicilio Fiscal	KM. 36 MZA. J LOTE. 6-D AS.PEQ.PEC.LAS MAGNOLIAS (ASOC. PEQUEÑOS AGRICULTORES Y PECUARIOS) LIMA - LIMA - PUENTE PIEDRA
Actividades	Principal - CIU 34303 - FAB. PARTES, PIEZAS Y Secundaria 1 - CIU 60230 - TRANSPORTE DE CARGA POR CARRETERA.

Fuente: SUNAT (2021).



**Figura 1:** Ubicación de la empresa MINING AND METALLURGICAL SERVICES EO SAC. Fuente: Google Maps (2021)



### **¿Quiénes somos?**

Somos una empresa peruana socialmente responsable comprometida con el resguardo del medio ambiente, enfocada en brindar servicios de reparación de componentes de equipos mecánicos e hidráulicos, fabricación de piezas y soldadura en los sectores industrial y minero.

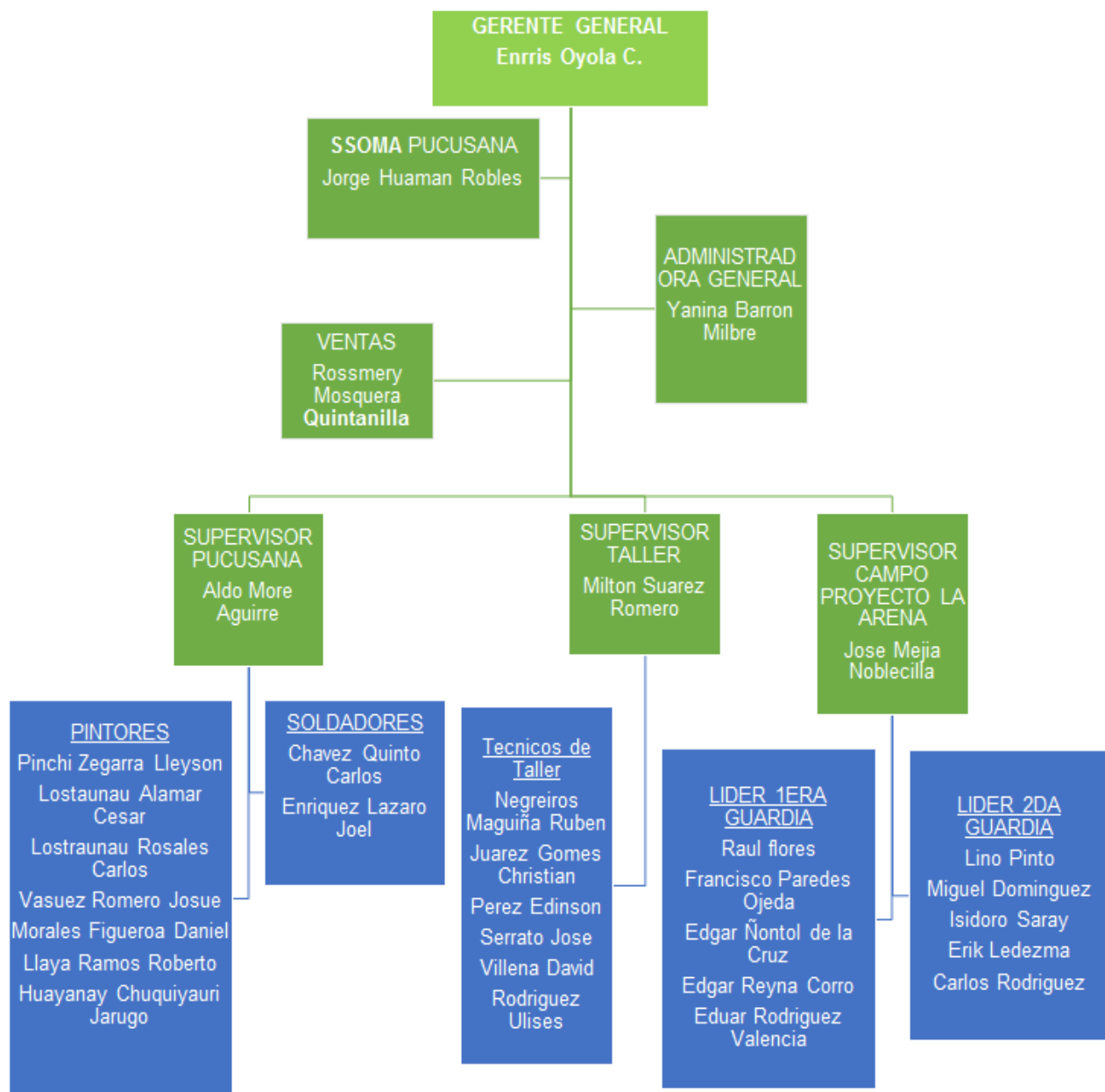
#### **Misión:**

Ser una de las empresas líderes en el mercado metalmecánico peruano, reconocida por la calidad humana y profesional de nuestro equipo. Ser competitivo y consolidarse como una empresa preferida por su innovación, calidad y servicio de clase mundial a nuestros clientes.

#### **Visión:**

Nos esforzamos por ser la empresa metalmecánica, dedicada a desarrollar y poseer los mejores activos, con las mejores personas, para brindar resultados sostenibles a nuestros propietarios y socios.

### **Organigrama de la empresa**



**Figura 2:** Organigrama del yacimiento minero Jangas. Fuente: Elaboración propia (2021)

### 1.1.2 Valores de la empresa

- Puntualidad
- Responsabilidad
- Transparencia

-Honestidad

-Calidad

-Trabajo en equipo

-Solidaridad

-Responsabilidad

### **- Descripción de la Confiabilidad de los motores diésel antes de usar el método Weibull**

Antes de emplear el método Weibull en el yacimiento minero de Jangas en la provincia de Huaraz, cliente de MINING AND METALURGICAL SERVICES EO SAC, la disponibilidad de los motores diésel era deficiente porque tenían un historial de mantenimientos solamente en formato Excel y sin ningún monitoreo confiable. Muy a menudo había fallas en los motores diésel debido a una calibración ineficiente de las válvulas y no había un taller de mantenimiento en la mina. No teníamos un área de confiabilidad ni tampoco de análisis predictivos, no teníamos un monitoreo de las condiciones de los equipos por falta de un software de gestión de datos del motor. Hubo deficiencias en la inversión para la formación del personal técnico y no se compró equipos para el diagnóstico predictivo de fallas.

Antes de utilizar el método Weibull, no había un seguimiento de cuántas veces podíamos reparar un motor diésel antes de ponerlo fuera de servicio y estábamos gastando excesivamente en reparaciones y no habíamos ahorrado en el presupuesto anual de mantenimiento de la mina. Para cambiar los componentes principales del camión 785C, utilizaban las recomendaciones del proveedor, que indicaba que cada componente principal solo puede trabajar 12 mil horas, la cantidad de horas que cubrimos en aproximadamente 3 años (normalmente cada máquina trabajaba 20 horas al día). El reemplazo de los componentes secundarios del camión 785C se realizó cada 8 mil horas sin considerar el deterioro de las



piezas ni el sobredimensionamiento realizado por el proveedor, trayendo esta pérdida económica a la empresa minera. Este software comenzó a operar en 2015 y se llamó CCM.

### **1.1.3 Descripción de la Confiabilidad de los motores diésel después de usar el método Weibull**

La empresa minera habilitó el área de confiabilidad para establecer el tiempo de reemplazo de los motores diésel en los camiones 785C, para lo cual se creó un equipo de trabajo mixto de trabajadores de la empresa mineras y de la empresa MINERÍA Y SERVICIOS METALÚRGICOS EO SAC. El objetivo era capacitar a los técnicos de minera los cuales tenían experiencia en mantenimiento predictivo y en el uso del software CCN para establecer el tiempo de reemplazo del motor y detectar prematuramente las fallas que aparecen en el camión 785C.

El método Weibull nos permite tener una confiabilidad del camión 785C y beneficiarse del tiempo de reemplazo óptimo para los motores diésel, lo que permite a la mina ahorrar reparaciones en estos motores. Este software comienza validando los datos del técnico o personal que desea recibir información para reparar las máquinas. La Figura 3 muestra la pantalla de registro de usuario a través del software CCM



**Figura 3:** Registro de usuarios. Fuente: Elaboración propia (2020)

Así mismo el personal técnico tenía ya estandarizado en un software el **registro de las horas de uso de la máquina**. En la figura 4 se ve la pantalla para que el usuario registre estos datos (Horómetro). En la figura 4 se ve el registro de horómetros usando el software CCM.







**Registro de Cambio de Componente**

Menu

Nro. Registro

Fecha :  (\*) Hora del trabajo:

Flota :  (\*) Equipo :  (\*)

Componente :  (\*) Horometro :  >> (\*)

WD :  Número de Parte :

**Componente Instalado**

Codigo Identif. :  >> (\*)

Nro. Serie :

Proveedor :

Condición :  (\*)

OT Repar. :

Nro. O/C :

**Componente Retirado**

Codigo Identif. :  >> (\*)

Nro. Serie :

Proveedor :

OT Pierina

Requisición :

OT Proveedor-Reparación :  (\*)

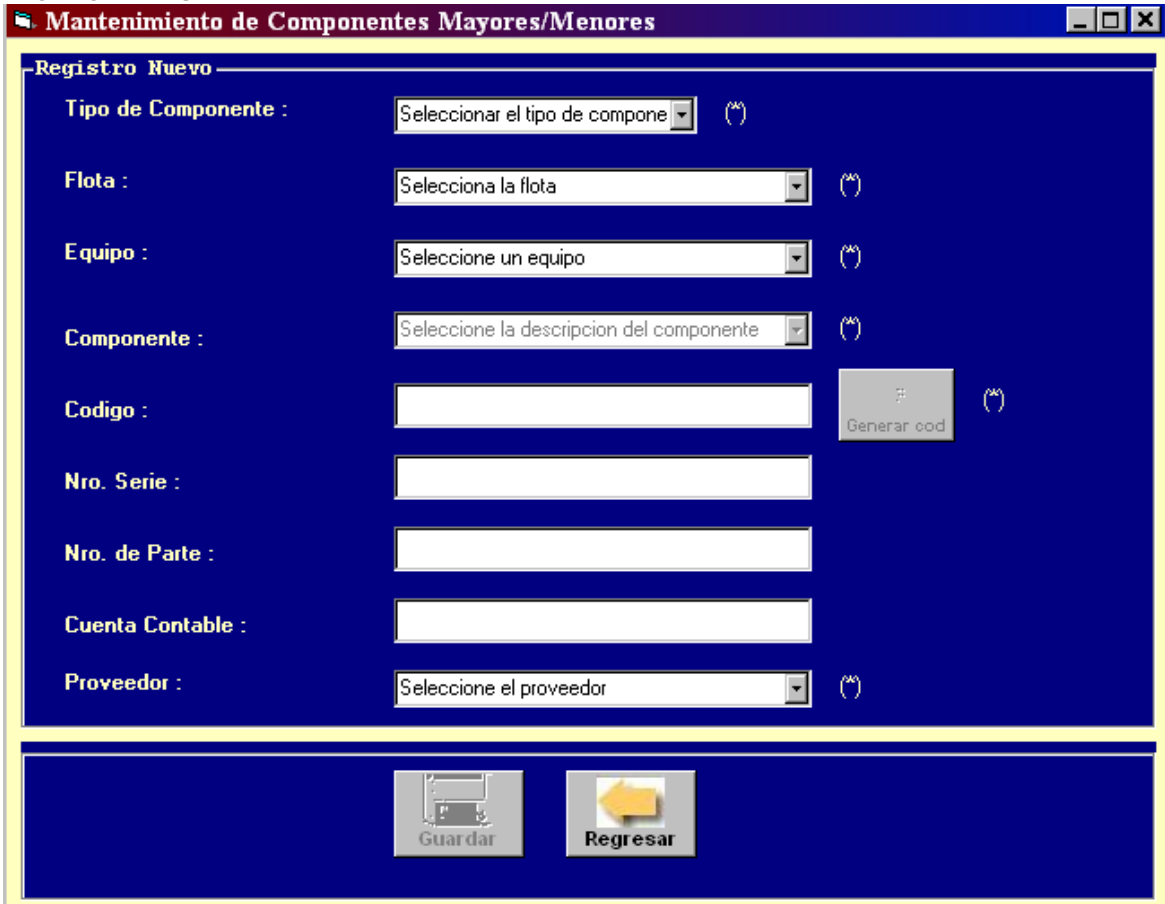
Motivo de Retiro :  (\*)

Observaciones :

Trabajado por :  (\*)

**Figura 5:** Registro de cambio de componentes. Fuente: Elaboración propia (2020)

En el caso de realizar mantenimiento a componentes mayores o menores el software CCM también puede realizar el registro de los mismos.



The screenshot shows a software window titled "Mantenimiento de Componentes Mayores/Menores". Inside the window, there is a section titled "Registro Nuevo" which contains a form with the following fields and controls:

- Tipo de Componente :** A dropdown menu with the text "Seleccionar el tipo de compone" and a required field asterisk (\*).
- Flota :** A dropdown menu with the text "Selecciona la flota" and a required field asterisk (\*).
- Equipo :** A dropdown menu with the text "Seleccione un equipo" and a required field asterisk (\*).
- Componente :** A dropdown menu with the text "Seleccione la descripcion del componente" and a required field asterisk (\*).
- Codigo :** A text input field, a "Generar cod" button, and a required field asterisk (\*).
- Nro. Serie :** A text input field.
- Nro. de Parte :** A text input field.
- Cuenta Contable :** A text input field.
- Proveedor :** A dropdown menu with the text "Seleccione el proveedor" and a required field asterisk (\*).

At the bottom of the form area, there are two buttons: "Guardar" (with a floppy disk icon) and "Regresar" (with a yellow arrow icon).

**Figura 6:** Mantenimiento de componentes mayores y menores. Fuente: Elaboración propia (2020)

Otra de sus aplicaciones de este software es brindar y registrar los mantenimientos que realizan los proveedores de los equipos, así como sus contactos.



**Mantenimiento de Proveedores**

Registro nuevo de Proveedores

Código : 00038

Descripción :

Contacto :

Fono :

Figura 7: Mantenimiento de los proveedores. Fuente: Elaboración propia (2020)



**Proveedores**

**Lista de Proveedores**

Codigo	Proveedor	Contacto	Fono
00001	ATLAS COPCO PERUANA S.A.	Miguel Granados	411-6100
00002	AUTOLAND S.A.	Salomon Montoya	242-5856
00003	AUTOREX PERUANA S.A.	Jorge Cristinis Corde	224-9110
00004	B Y F POWER S.A.	Julio Nishima	878-6991
00005	CIA.IMPORTADORA DERTEANO & STUCKER S.A.	Claude Pruvost	470-3333
00006	COSAPI S.A.	Manuel Cigaran	
00007	CROSLAND TECNICA S.A.	Luis Quiroz	465-0393

Seleccione un proveedor para su eliminacion

Figura 8: Lista de proveedores. Fuente: Elaboración propia (2020)

En el Mantenimiento de Trabajadores permite el registro del nuevo personal que se encarga de la tarea de realizar el cambio de componentes, necesario para realizar

consultas en que caso de que suceda fallas imprevistas después de la instalación y retiro de los componentes.



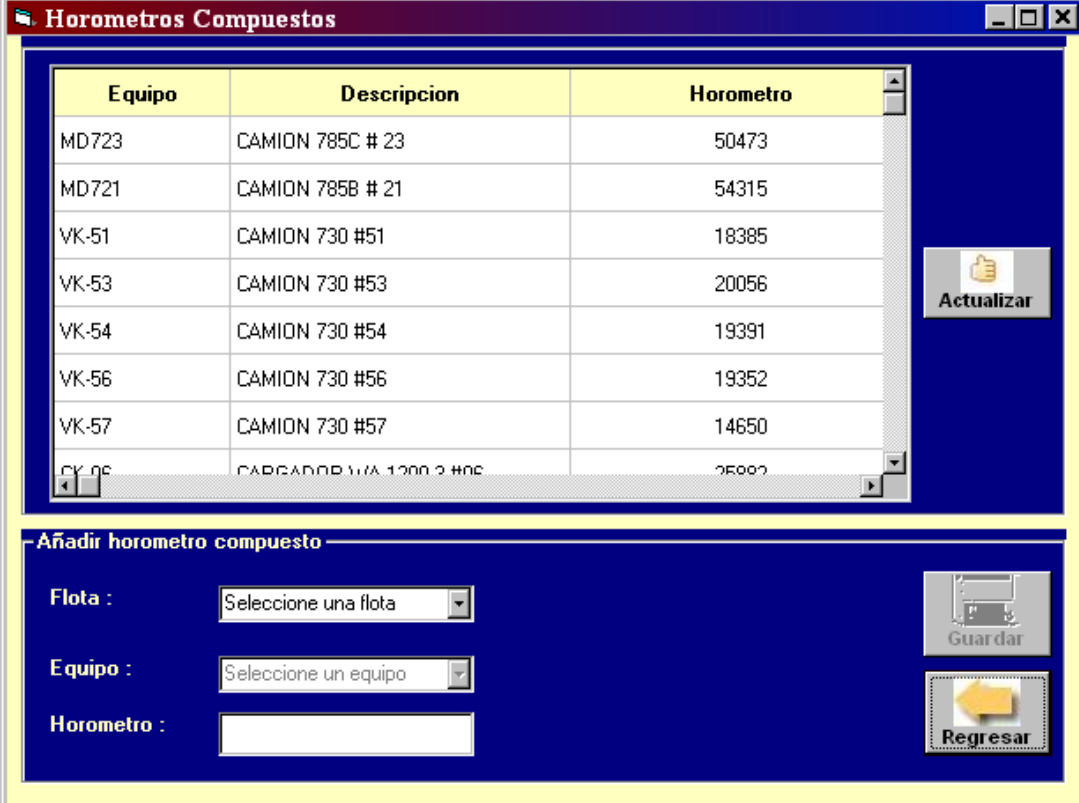
The image shows a software window titled "Trabajador" with a dark blue background. The window contains a form with the following fields:

- Datos Personales** (Section Header)
- Codigo del Trabajador :** Text input field with a help icon.
- Nombres :** Text input field with a help icon.
- Apellido Paterno :** Text input field with a help icon.
- Apellido Materno :** Text input field with a help icon.
- DNI :** Text input field with a help icon.
- Puesto :** Dropdown menu with the text "Seleccione un puesto" and a help icon.
- Flota :** Dropdown menu with the text "Seleccione una flota" and a help icon.

At the bottom of the window, there are two buttons: "Guardar" (Save) and "Cancelar" (Cancel).

**Figura 9:** Mantenimiento de trabajadores. Fuente: Elaboración propia (2020)

En el Mantenimiento de horómetros el software permite registrar horómetros compuestos debido a que el dispositivo tuvo una falla. Parte importante debido a que los datos de horas de servicio son vitales para indicar las horas de servicio de cada componente



Equipo	Descripcion	Horometro
MD723	CAMION 785C # 23	50473
MD721	CAMION 785B # 21	54315
VK-51	CAMION 730 #51	18385
VK-53	CAMION 730 #53	20056
VK-54	CAMION 730 #54	19391
VK-56	CAMION 730 #56	19352
VK-57	CAMION 730 #57	14650
CY-06	CARGADOR WA 1200 2 #06	25887

**Añadir horometro compuesto**  
 Flota :   
 Equipo :   
 Horometro :

**Figura 10:** Horómetro compuesto. Fuente: Elaboración propia (2020)

Otras características del software CCM son:

**-Registro de usuarios nuevos.**



**Registro de Usuario**  
 Codigo :   
 Login :   
 Password :   
 Confirmar password :   
 Tipo de permiso :  Bajo  Alto

**Figura 11:** Registro de usuarios nuevo. Fuente: Elaboración propia (2020)

-Consulta de equipos: Módulo muy importante que permite mostrar la evolución del componente, también servirá para el reclamo de garantías, podemos visualizar una alarma (colores) que indican el cambio del componente:

Verde – Normal

Naranja – Se acerca a sus horas de vida

Rojo – Cambio de componente

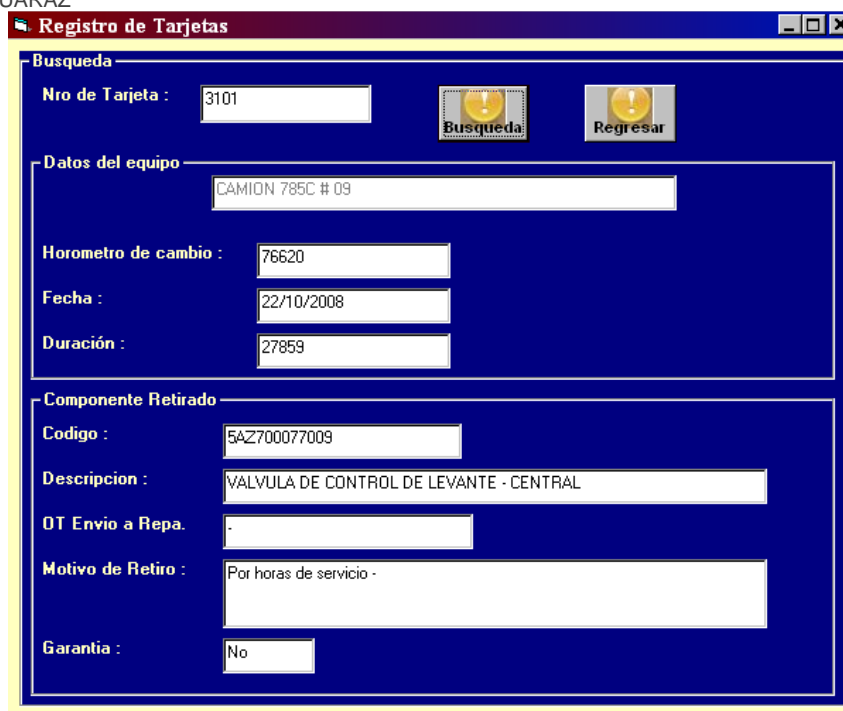
Además, el usuario podrá ajustar la fecha de cambio según análisis, es decir extender la vida del componente.



Codigo	Descripcion	Ubicacion	FecInstal.	HoromInst.	Hrs.Serv.	HrsVida	Fec.Proy.	Nro.Meses.	FecPlanif.
9YF10007001	Motor	Central	06/03/2007	63117	10297	15000	Jul-09	0	Jul-09
9YF75007001	Turbo	Delantero Derecho	06/03/2007	63117	10297	8000	Nov-08	0	Nov-08
9YF75007002	Turbo	Delantero Izquierdo	28/06/2008	71355	2059	8000	Sep-09	0	Sep-09
9YF75007003	Turbo	Posterior Derecho	06/03/2007	63117	10297	8000	Nov-08	0	Nov-08
9YF75007004	Turbo	Posterior Izquierdo	09/06/2008	71016	2398	8000	Ago-09	0	Ago-09
9YF30007002	Transmision	Central	21/11/2006	61147	12267	10000	Nov-08	0	Nov-08
9YF76007001	Bomba de Transmision	Central	28/09/2007	66843	6571	10000	May-09	0	May-09
9YF32587003	Diferencial	Delantero	17/10/2006	60372	13042	16000	Abr-09	0	Abr-09
9YF32587004	Diferencial	Posterior	18/09/2007	66695	6719	16000	Feb-10	0	Feb-10

**Figura 12:** Consulta de equipos. Fuente: Elaboración propia (2020)

-Consulta por tarjetas: Si es que hubiese un reclamo de garantías y se necesite mayor información (Nro. De OT de reparación, horas de servicio del componente, fecha de cambio, etc.), es necesario haber ingresado previamente el número de tarjeta durante el Registro de cambio de componente.



**Registro de Tarjetas**

Busqueda

Nro de Tarjeta : 3101

Datos del equipo

CAMION 785C # 09

Horometro de cambio : 76620

Fecha : 22/10/2008

Duración : 27859

Componente Retirado

Codigo : 5AZ700077009

Descripcion : VALVULA DE CONTROL DE LEVANTE - CENTRAL

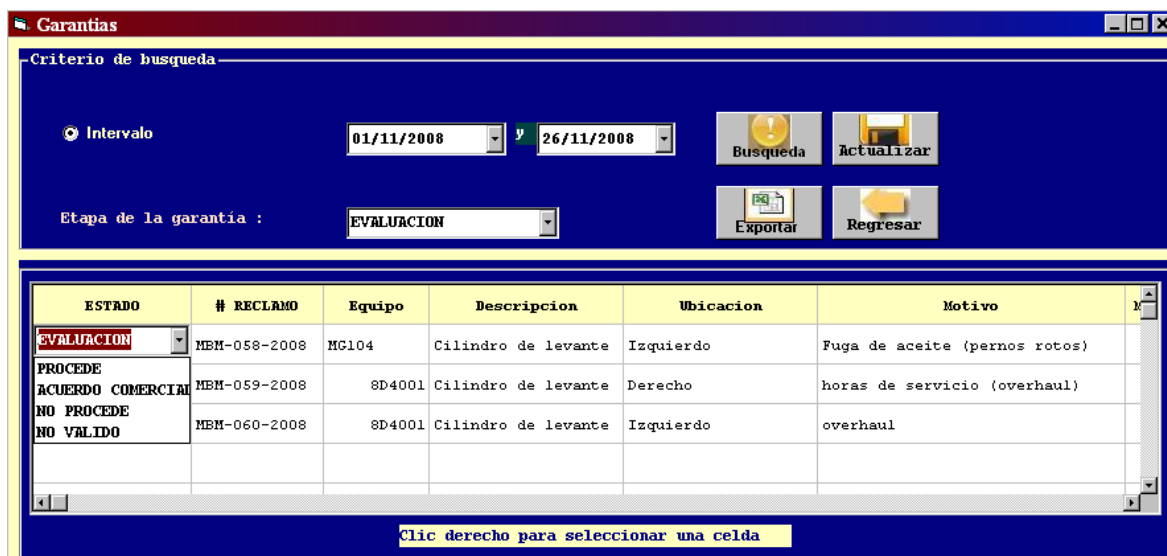
OT Envio a Repa. :

Motivo de Retiro : Por horas de servicio -

Garantía : No

**Figura 13:** Registro de tarjetas: Elaboración propia (2020)

- **Seguimiento de garantías**



**Garantías**

Criterio de busqueda

Intervalo: 01/11/2008 y 26/11/2008

Etapa de la garantía : EVALUACION

ESTADO	# RECLAMO	Equipo	Descripcion	Ubicacion	Motivo
EVALUACION	MEM-058-2008	MG104	Cilindro de levante	Izquierdo	Fuga de aceite (pernos rotos)
PROCEDE	MEM-059-2008	8D4001	Cilindro de levante	Derecho	horas de servicio (overhaul)
ACUERDO COMERCIAL					
NO PROCEDE	MEM-060-2008	8D4001	Cilindro de levante	Izquierdo	overhaul
NO VALIDO					

Clic derecho para seleccionar una celda

**Figura 14:** Seguimiento de garantías: Elaboración propia (2020)

-Cambio de componentes: En este submódulo que es importante para el Responsable de Planeamiento y Costos. Con respecto a Planeamiento le permitirá



planificar con anticipación que cambios de componentes se aproximan para asegurar los recursos como: personal, repuestos, etc.



Figura 15: Proyección cambio de componentes: Elaboración propia (2020)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	PROGRAMA DE CAMBIO DE COMPONENTES													
2														
3														
4														
5	<b>CCosto</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Modelo</b>	<b>Descripcion</b>	<b>Gener</b>	<b>Equipo</b>	<b>Ene/09</b>	<b>Feb/09</b>	<b>Mar/09</b>	<b>Abr/09</b>	<b>May/09</b>	<b>Jun/09</b>	<b>Jul/09</b>	<b>Ago/09</b>
6	504	6250	785C	MOTOR CENTRAL		MD702								
7	504	6250	785C			MD704							1	
8	504	6250	785C			MD705								
9	504	6250	785C			MD709				1				
10	504	6250	785C			MD711								
11	504	6250	785C			MD713	1							
12	504	6250	785C	TURBO DELANTER		MD701								
13	504	6250	785C			MD702			1					
14	504	6250	785C			MD703								
15	504	6250	785C			MD704								
16	504	6250	785C			MD705			1					1
17	504	6250	785C			MD706								
18	504	6250	785C			MD707								
19	504	6250	785C			MD708				1				
20	504	6250	785C			MD710								
21	504	6250	785C			MD711		1						1
22	504	6250	785C			MD712								1
23	504	6250	785C			MD723								1
24	504	6250	785C	TURBO DELANTER		MD701								
25	504	6250	785C			MD702								
26	504	6250	785C			MD703			1					
27	504	6250	785C			MD705				1				
28	504	6250	785C			MD706								
29	504	6250	785C			MD707						1		
30	504	6250	785C			MD708				1				
31	504	6250	785C			MD710							1	

Figura 16: Reporte cambio de componentes: Elaboración propia (2020).

- Costos

**Costos**

**Criterios de Búsqueda**

Cuenta Contable :

Flota :

Fecha Programada :

**Imprimir** **Regresar**

Figura 17: Proyección de costos: Elaboración propia (2020).

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		PROGRAMA	DE	CAMBIO	DE	COMPONENTES							
2													
3													
4													
5	CCosto	Cuent:Modelo		Descripción General	Equipo	Ene/09	Feb/09	Mar/09	Abr/09	May/09	Jun/09	Jul/09	Ago/09
6	504	6250 785C		MOTOR CENTRAL	MD702								
7	504	6250 785C			MD704							220463.3	
8	504	6250 785C			MD705								
9	504	6250 785C			MD709					220463.3			
10	504	6250 785C			MD711								
11	504	6250 785C			MD713	220463.3							
12	504	6250 785C		TURBO DELANTERO DERECH	MD701								
13	504	6250 785C			MD702		4057.2						
14	504	6250 785C			MD703								
15	504	6250 785C			MD704							4057.2	
16	504	6250 785C			MD705		4057.2						
17	504	6250 785C			MD706								
18	504	6250 785C			MD707						4057.2		
19	504	6250 785C			MD708				4057.2				
20	504	6250 785C			MD710							4057.2	
21	504	6250 785C			MD711		4057.2						
22	504	6250 785C			MD712							4057.2	
23	504	6250 785C			MD723								4057.2
24	504	6250 785C		TURBO DELANTERO IZQUIER	MD701								
25	504	6250 785C			MD702		4057.2						
26	504	6250 785C			MD703								
27	504	6250 785C			MD705		4057.2						
28	504	6250 785C			MD706								
29	504	6250 785C			MD707						4057.2		
30	504	6250 785C			MD708				4057.2				
31	504	6250 785C			MD710							4057.2	

Figura 18: Reporte proyección de costos: Elaboración propia (2020).

## 1.2 Justificación

### 1.2.1 Justificación Teórica

Radica la inserción del método de confiabilidad de Weibull como herramienta de diagnóstico de los motores diésel que se encuentran en los camiones 785C utilizados en el



Yacimiento minero de Jangas en la Provincia de Huaraz. Este método permite determinar el reemplazo de los motores diésel aumentando así la confiabilidad de los camiones 785C.

### **1.2.2 Justificación Práctica**

Busca tomar conciencia con respecto a la importancia que produce el método de confiabilidad de Weibull como herramienta de diagnóstico para determinar el tiempo de reemplazo de los motores en el Yacimiento minero de Jangas en la Provincia de Huaraz.

## **1.3 Formulación del problema**

### **1.3.1 Problema general**

¿Cómo influye el método de confiabilidad de Weibull en el reemplazo de los motores diésel en el yacimiento minero de Jangas en la provincia de Huaraz?

### **1.3.2 Problemas específicos**

¿Cómo se relaciona el método de confiabilidad de Weibull con el tiempo medio de reemplazo por falla?

¿Cómo se relaciona el método de confiabilidad de Weibull con el costo total de reemplazo por falla?

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

-Determinar cómo influye el método de confiabilidad de Weibull en el reemplazo de los motores diésel en el yacimiento minero de Jangas en la provincia de Huaraz

### **1.4.2 Objetivos específicos**

-Determinar cómo se relaciona el método de confiabilidad de Weibull con el tiempo medio de reemplazo por falla

-Determinar cómo se relaciona el método de confiabilidad de Weibull con el costo total de reemplazo por falla

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

#### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Pulgarín S. (2019). En la tesis para optar el grado de Magister en Ingeniería. Universidad EAFIT. Medellín-Antioquia -Colombia referida: *Aproximación de la confiabilidad para optimizar procesos de mantenimiento y productivos con distribución Weibull*

La labor del mantenimiento es incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción cuando se realizan actividades como planificar, organizar, controlar y realizar métodos de mantenimiento de equipos. Sus funciones no se limitan a las reparaciones; Su valor se reconoce como una disminución de las reparaciones debido al trabajo planificado y sistemático con el apoyo y los medios de una política de gestión integral.

Este antecedente de investigación demostró que la distribución de Weibull se utiliza tanto para estudios de producción como para estudios de mantenimiento. El procesamiento de estos dos tipos de datos es diferente pero la percepción es la misma y basa sus resultados estadísticos en probabilidades que pueden suministrar ahorros importantes para las empresas que los utilizan. En términos de nuestra investigación, el estudio se aplicó al mantenimiento de motores diésel de los camiones mineros 785C.

Este antecedente estudia los cálculos que se realizan para establecer la confiabilidad de Weibull utilizando el método gráfico. En contraste con nuestra investigación que se usa un software que realiza el cálculo de la confiabilidad.

Agualongo L. (2019) en su trabajo de titulación previo a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención Diseño. Universidad técnica de Ambato.



Ecuador referida: *Análisis de fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de Weibull en el área de extrusión de la empresa Holviplas S.A y su incidencia en la disponibilidad.*

Este antecedente menciona los beneficios del método Weibull, explica la evolución de los cálculos realizados para determinar los parámetros de esta distribución y realiza un programa Matlab para automatizar el cálculo. En nuestra investigación la toma de decisiones para los tiempos de reemplazo de los motores se basaba en esta distribución estadística. La empresa minera utilizó un software realizado por la empresa MINERÍA Y SERVICIOS METALÚRGICOS EO SAC basado en varios parámetros y condiciones de la máquina. Una diferencia con estos antecedentes de nuestra investigación es que el método Weibull en estos antecedentes se aplica en equipos de extrusión y no en motores Diesel.

Salas M. (2017) en su Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Mecánica. Universidad de Concepción. Chile referida: *Monitoreo de condición en motores diésel de gran número de cilindros.*

Este historial muestra que es necesario controlar la presión de los cilindros del motor. Desafortunadamente, muchos motores no tienen espacio para colocar los sensores de presión en los cilindros. Por esta razón, este sistema monitorea los sensores midiendo la velocidad angular instantánea (VAI) para detectar fallas en motores diésel. La contribución que este antecedente hace a nuestro trabajo es la información teórica sobre motores diésel y las fallas en el motor que se pueden detectar midiendo el VAI. Este antecedente difiere de nuestra investigación en que la distribución de Weibull no se utiliza para la detección de errores

Giraldo J.& Florez A. (2012) *Desarrollo de un banco didáctico para pruebas de laboratorio a partir de un motor diésel 4 tiempos y 4 cilindros en línea.* Universidad Pontificia Bolivariana. Venezuela



Este antecedente desarrolló un banco de pruebas para motores diésel de 4 tiempos.

La diferencia con nuestra investigación es que los motores diésel que estamos estudiando son de 16 cilindros. Asimismo, este tipo de banco de pruebas no mide los tiempos en los que podría volver a producirse el error del motor, solo detecta el error que tiene presente. Este antecedente no utiliza la distribución de Weibull para ningún propósito, solo ejecuta pruebas en los motores para identificar sus fallas y modos de operación.

### 2.1.2 Antecedentes nacionales

Torres K. (2018). *El modelo de larga duración Weibull-geométrica*. Tesis para optar por el grado de magister en estadística. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Este antecedente estudia el método de Weibull Geométrico para larga data y realiza cálculos a un ejemplo de tarjetas de la cancelación de tarjetas de crédito. Este antecedente lo usamos en nuestra investigación para comprender la matemática de esta distribución debido a que su explicación es metódica y fácil de entender.

Giacomo A. (2016). *Determinación del tiempo de vida en anaquel de pizzas en cadena de frío por el método de Weibull*. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial y Agronegocios. Universidad San Ignacio de Loyola. Lima

Este antecedente estudia la vida útil de pizzas producidas por una cadena de supermercados, listas para el consumo, conservadas en cadena de frío (0-4 ° C) y envasadas en poliolefina termocontraíble, se determinó microbiológicamente y con el método probabilístico de Weibull que, en condiciones reales, las pizzas tienen una vida útil de 10 días y 16 horas, almacenado en la cadena de frío, con una confiabilidad del 95%.

Este antecedente utiliza la distribución de Weibull para conseguir a estas conclusiones de manera similar en nuestro estudio. El método Weibull determinará el tiempo necesario para reemplazar el motor diésel de los camiones 785C.

Gordillo V. & Rojas E. (2015). *Propuesta de mejora en el servicio de reparación de motores diésel para la empresa distribuidora Cummins Perú SAC*. Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Este antecedente presenta el estudio realizado en el servicio post venta de reparación y mantenimiento de motores en la empresa Distribuidora Cummins Perú SAC. También se diagnostican los cuellos de botella del servicio de reparación de motores diésel. El aporte en esta tesis radica en la descripción de los procesos que se realiza para el mantenimiento o reemplazo de los motores diésel.

Ponce C. (2020). *Comparación del uso de buses con motor eléctrico, motor diésel y motor híbrido para el transporte público*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú

Este antecedente tiene como objetivo comparar el uso de buses de motor eléctrico con buses diésel e híbridos para el transporte público; como alternativa de transporte con energías renovables. Se utilizó una metodología de tipo documental para formar una base teórica para el desarrollo conceptual y / o metodológico de la investigación. Esto permitió ejecutar una comparación entre realidades y / o variables que, en el caso de este trabajo, serían los modelos de vehículos estudiados. Los autobuses que funcionan con diésel tienen la desventaja de ser más rentables en comparación con otros sistemas y su operación produce contaminación ambiental.

Los autobuses eléctricos no producen contaminación ambiental ni acústica, su producción es costosa, requieren una recarga constante debido al bajo rendimiento actual de sus baterías. Los autobuses híbridos son más grandes y pesados que un vehículo eléctrico. Su funcionamiento produce un cierto nivel de contaminación ambiental y acústica. Este antecedente nos muestra la diferencia de un motor un motor diésel en



comparación con otros motores. La diferencia con nuestra investigación es que este antecedente no habla de mantenimiento y menos del método Weibull para saber el tiempo de sustitución de estos motores.

## 2.2 Bases Teóricas

### 2.2.1: Método de confiabilidad de Weibull

Salazar R, Fitz E., López I & Rojano A. (2017). Menciona que el estudio de la distribución de Weibull es importante porque es una distribución muy versátil que puede aproximarse a la distribución Exponencial, Normal y Raleigh. Estas propiedades son útiles para modelar varios tipos de fallas: tempranas, aleatorias y fallas debido a equipos obsoletos.

La función de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull se muestra mediante la siguiente ecuación:

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

Ecuación 1

#### Exponencial, Normal generales

Sabemos que la tasa de fallos se puede escribir, en función de la fiabilidad, de la siguiente forma:

$$R(t) = \exp\left[-\int \lambda(t) dt\right]$$

Ecuación 2

#### Donde:

$\lambda(t)$  =Tasa de fallos

$R(t)$  = Fiabilidad

$F(t)$  =Infiabilidad o Función acumulativa de fallos





t =Tiempo

En 1951 Weibull propuso la expresión más simple con la que se podría representar una gran cantidad de datos reales por lo que expresión que representa la fiabilidad es:

$$R(t) = \exp \left[ \frac{t-t_0}{\eta} \right]^\beta$$

Ecuación 3

**Donde:**

$t_0$  =parámetro inicial de localización

$\eta$  =parámetro de escala o vida característica

$\beta$  =parámetro de forma

### **Modos de fallo mediante la distribución de Weibull**

Weibull (1951) dio las siguientes combinaciones de los parámetros de la distribución con mecanismos de fallo particulares:

$t_0 = 0$ : el mecanismo no tiene una duración de fiabilidad intrínseca, y.

- Si  $\beta < 1$  la tasa de fallos decrementa con la edad sin llegar a cero, por lo que podemos suponer que nos encontramos en la juventud del componente con un margen de seguridad bajo, puede dar lugar a fallos por tensión de rotura.

- Si  $\beta = 1$  la tasa de fallo se mantiene constante siempre lo que nos indica una característica de fallos aleatoria o pseudoaleatoria. Nos encontramos en el caso en que la distribución de Weibull es igual a la exponencial.

-Si  $\beta > 1$  la tasa de fallo aumenta con la edad de forma continua lo que indica que los desgastes empiezan en el momento en que el mecanismo se pone en servicio.

- Si  $\beta = 3,44$  indica que la media es igual a la mediana y la distribución de Weibull es sensiblemente igual a la normal.



b)  $t_0 > 0$ : El mecanismo es intrínsecamente fiable desde el momento en que fue puesto en servicio hasta que  $t = t_0$ , y, además:

-si  $\beta < 1$  hay fatiga o de desgaste en el que la tasa de fallo decrementa con el tiempo después de un rápido incremento hasta  $t_0$ ; valores de  $\beta$  bajos ( $\sim 0,5$ ) se asocian con ciclos de fatigas bajos y los valores de  $\beta$  más elevados ( $\sim 0,8$ ) con ciclos más altos.

-si  $\beta > 1$  hay una erosión o desgaste similar en la que la constante de duración de carga disminuye continuamente con el incremento de la carga.

c)  $t_0 < 0$ . Se considera que el mecanismo fue utilizado o tuvo fallos antes de iniciar la toma de datos.

- si  $\beta < 1$  se trató de un fallo de juventud antes de su puesta en servicio, como resultado de un margen de seguridad bajo.

- si  $\beta > 1$  se trató de un desgaste por una disminución constante de la resistencia iniciado antes de su puesta en servicio, por ejemplo, debido a una vida propia limitada que ha finalizado o era inadecuada.

### **Aplicaciones del método de Weibull**

Abernethy (2006). Menciona que todo proceso de producción tiene datos de fabricación diarios generalmente organizados y estudiados en secuencias de tiempo. Pocas organizaciones ven los datos como la salida de una "caja negra" para estudiar los resultados de manera estadística y ver patrones en los datos. El análisis de Weibull es una forma de organizar los datos de la planta de manera que se puedan tomar decisiones en base a una probabilidad elevada (confiabilidad) (Abernethy, 2006).

Asimismo, Barringer (2000) argumentó que la técnica de Weibull ayudó a detallar un curso de acción estratégico basado en cuantificar la confiabilidad. Esta herramienta

optimiza la disponibilidad de sus productos para sus clientes y maximiza los beneficios

utilizando una predicción estadística basada en un parámetro llamado confiabilidad.

### **Graficas de Weibull**

Reliasoft (2017). Sostengo que los gráficos de Weibull definirán la confiabilidad de los procesos y calcularán las pérdidas debido a fallas en el proceso. Las pérdidas por productos defectuosos, paradas en los equipos y servicios deficientemente realizados es dinero que no se puede recuperar.

Muchas veces el problema es resolver si existe un problema de confiabilidad con el equipo o un problema con el proceso de producción. Los diagramas de Weibull ayudan a explicar y categorizar problemas en un formato visual comprensible para ingenieros, propietarios de procesos y gerencia. Estos gráficos nos pueden hacer entender dónde radica el problema (Barringer P. H., 2000).

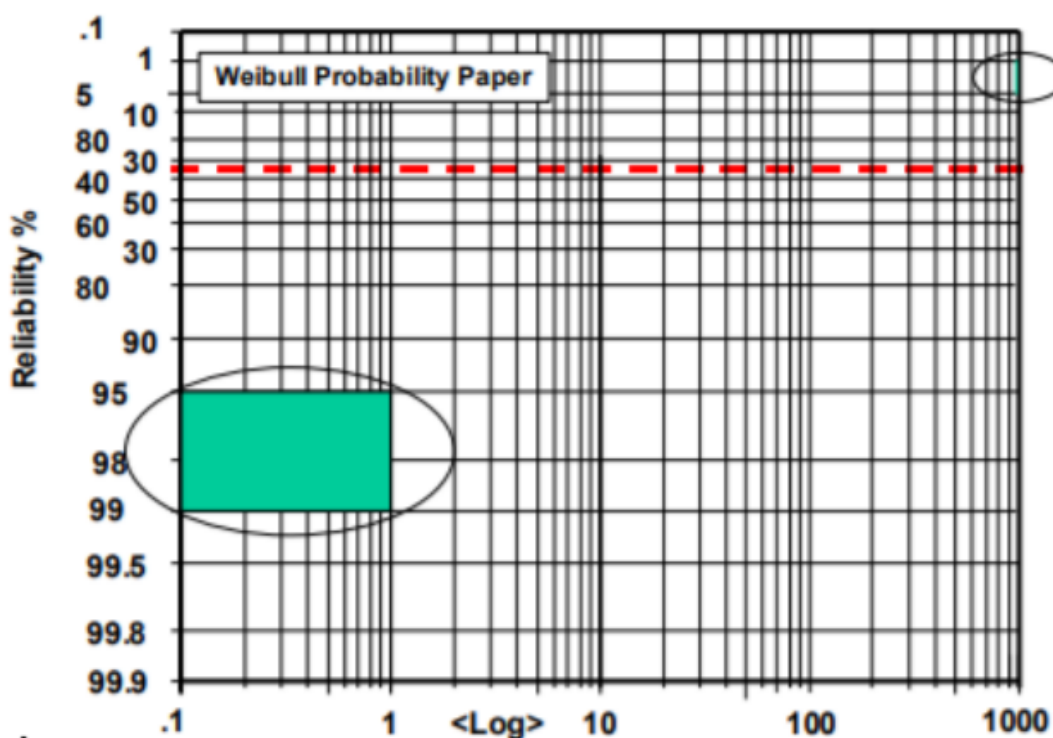
Los procesos de clase mundial muestran un  $\beta$  igual a 1,00 lo que representa una muy pequeña variación en la producción. La comparación del factor de forma de varios procesos permite eliminar la subjetividad y se hace de forma fácil (Barringer, 2008).

Rojas (1975). Mencionó que una de las ventajas que posee la distribución Weibull es que se acomoda a las tres zonas (infancia o rodaje, madurez o vida útil y envejecimiento) de la curva de Davies lo cual lo hace muy manejable. La distribución de Weibull posee tres parámetros, lo que le da una gran flexibilidad y cuya selección y ajuste adecuado permite obtener mejores ajustes, que con otras distribuciones

Barringer P. H.(2000) Menciono que el análisis Weibull clasifica cuidadosamente los distintos modos de falla para obtener datos con suspensiones (es decir, los datos están censurados) por lo que solo se representan modos únicos de falla en cada diagrama de Weibull en línea recta. Cuando los modos de falla mixtos se trazan en un diagrama de

Weibull, aparecen cúspides que dan pistas sobre los cambios y brindan evidencia de modos de falla mixtos. Las técnicas de confiabilidad aprovecharán las cúspides para proporcionar información sobre la confiabilidad del proceso

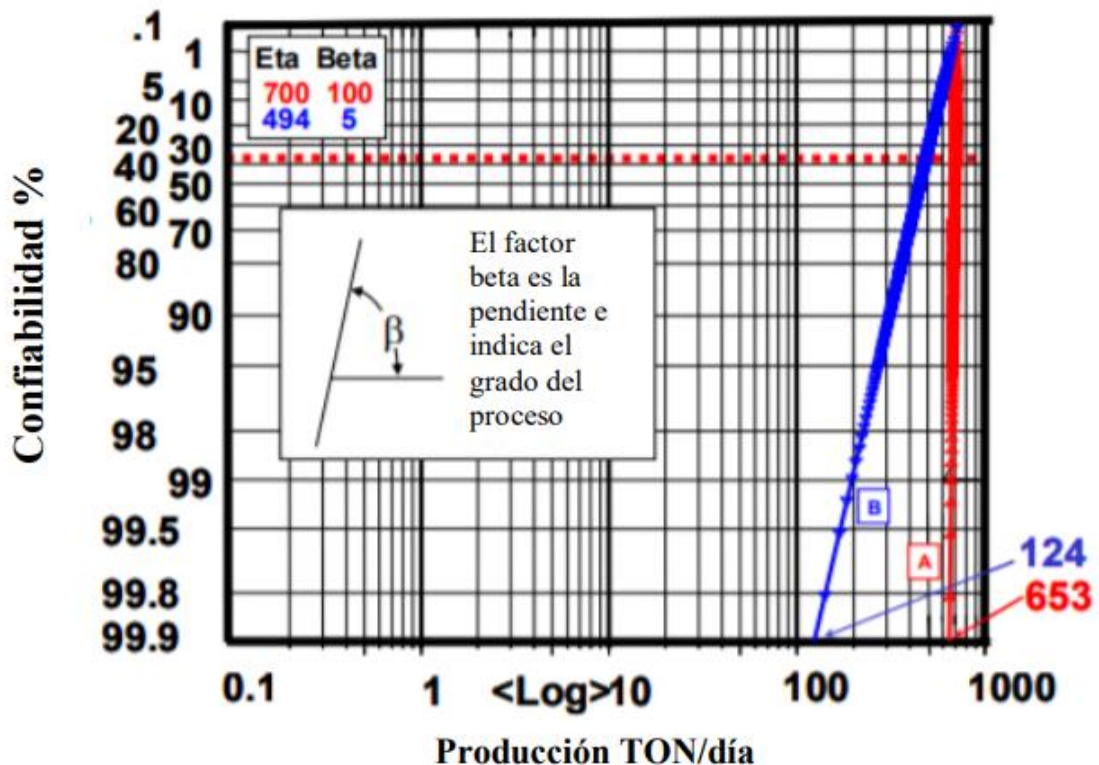
Abernethy (2006). Comento que la escala horizontal es una medida de la vida o el envejecimiento. Los ciclos de inicio / parada, kilometraje, tiempo de operación, aterrizajes o ciclos de misión son ejemplos de parámetros de envejecimiento. La escala vertical es el porcentaje acumulado por fallas. Los dos parámetros que definen la línea de Weibull son la pendiente, beta y la vida característica, eta. La pendiente de la línea,  $\beta$ , es particularmente significativa y puede proporcionar un indicio de la física de la falla o de la condición del proceso. La vida característica,  $\eta$ , es el tiempo típico de falla en el análisis de Weibull. Se relaciona con el tiempo medio hasta el fracaso



**Figura 19:** Papel de Weibull para producción (Probabilidad de Weibull). Fuente: Barringer P. H.,2000.

### Identificación de procesos según la gráfica Weibull

Los procesos se pueden determinar dependiendo de la gráfica que se obtiene de Weibull, de acuerdo con los datos de producción y las alineaciones que se hacen con las funciones. La grafica de los procesos sin problemas de confiabilidad muestra un patrón de línea recta al ser graficado en Weibull. En la figura 20, ninguna de las curvas tiene problemas de confiabilidad, es decir, una cúspide. La línea de tendencia A es el mejor proceso de su clase, con una pequeña variación en la producción, mientras que la línea de tendencia B, presenta mayor variación.

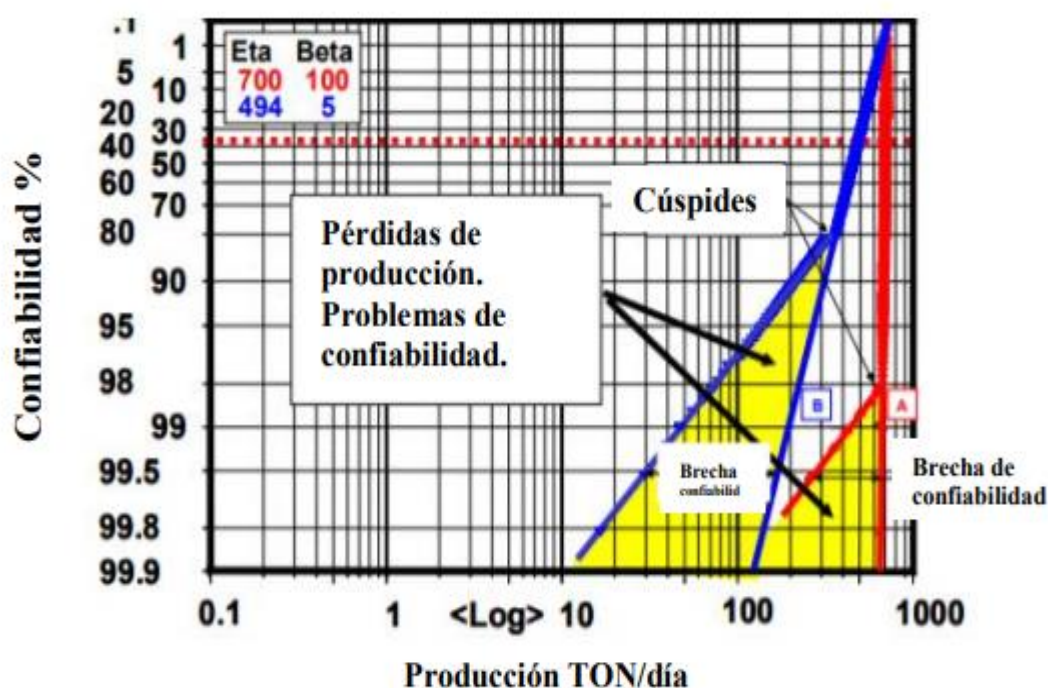


**Figura 20:** Weibull sin problemas de producción. Fuente Barringer P. H.(2005).

Barringer, P. H., & Woodrow, R. J. (2002). Mencionaron que si uno de los procesos tiene un  $\beta$  de 100 (proceso A, rojo en la ilustración) y el otro un  $\beta$  de 5. Los procesos considerados de clase mundial en cuanto al control de su producción son los que muestra un Beta ( $\beta$ ), mayor a 100, muy pocos procesos tienen valores cercanos a 200. La pendiente Beta

( $\beta$ ), y la localización de la producción nominal se deben al diseño del proceso y cómo esté operado.

En la figura 21 se muestran los procesos con fallos de fiabilidad. La primera cúspide en la esquina superior derecha de la gráfica en la línea de tendencia de Weibull define un punto de falla (es decir, la línea de tendencia cambia a una mayor variabilidad). La cúspide más alta en la esquina superior derecha generalmente identifica la confiabilidad del proceso.



**Figura 21:** Weibull con problemas de producción. Fuente: Barringer P. H. (2005).

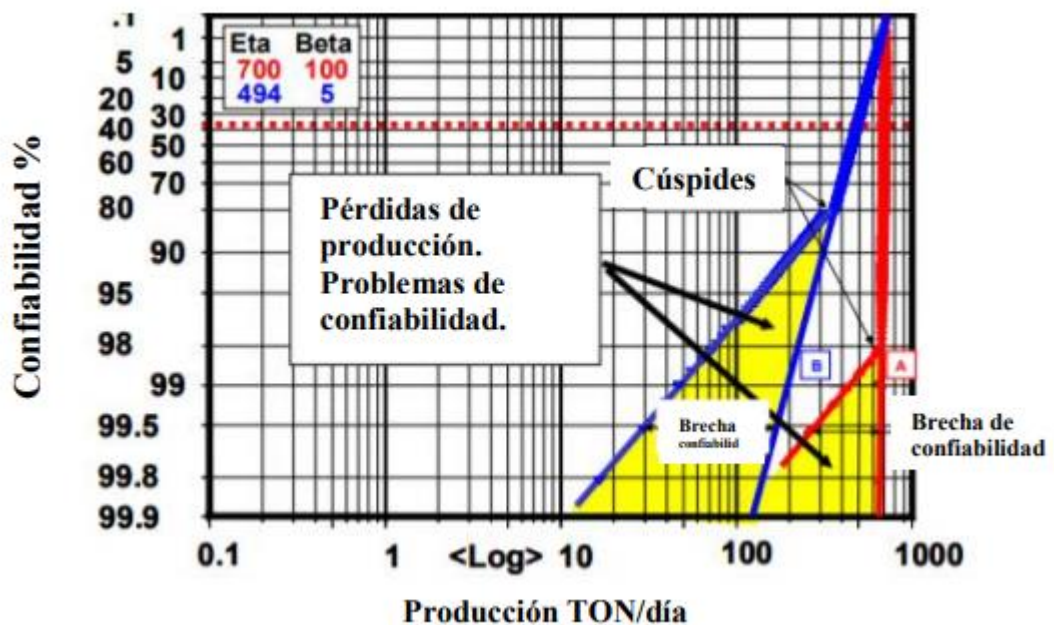
Las cúspides en la figura muestran problemas de confiabilidad. La cúspide de la línea A con una confiabilidad del 98% es mejor que la cúspide de la línea B con una confiabilidad del 80%. Las cúspides definen la confiabilidad del proceso donde comienza una dispersión más grande en la salida.

Barringer (2002). Menciona que las brechas a menudo se caracterizan como fábricas ocultas: una fábrica oculta tiene el costo de la fábrica real, pero la fábrica oculta genera residuos y, por lo tanto, reduce la producción. Los procesos muestran dispersión de

los datos cuando se presentan las cúspides, por lo tanto, la confiabilidad del proceso se mide en estos puntos

### Capacidad, productividad y pérdidas leídas desde el gráfico Weibull

Un tema importante para juzgar qué tan bien funciona un proceso es definir una capacidad nominal de identificación; es la capacidad de producción máxima en condiciones de operación y control ideales. El contratista del sitio que diseña y construye la fábrica generalmente proporciona la capacidad nominal. Algunas organizaciones miden sus mejores resultados en un período de tiempo contiguo, como los mejores 5 días, los mejores 10 días, etc., según un único valor para caracterizar la mejor clasificación de la capacidad nominal, lo que establece el rendimiento de producción demostrado que se encuentra a la izquierda de la línea de capacidad nominal. Las comparaciones entre los resultados reales de la planta y el análisis de Weibull muestran que la capacidad nominal tiene un valor característico mayor que la obtenida típicamente por los valores de producción demostrados (Barringer,2008).



**Figura 22:** Capacidad y pérdidas de producción. Fuente (Barringer P. H.,2005).

Barringer (2005). Analiza que el área en forma de cuña que está entre la línea demostrada y la línea nominal representa la brecha de producción relacionada con pérdida de eficiencia y pérdidas en la utilización. Las pérdidas de eficiencia se relacionan con problemas de salida / entrada. Por ejemplo, suponga que un proceso (sin errores ni desperdicios) podría generar 1000 lbs / h como estándar. Lo que se obtiene del proceso es de 750 lbs / h debido a la fábrica oculta, entonces la eficiencia es de  $750/1000 = 75\%$ . Esta es la relación de entrada / salida como si ganara 0.75 horas de trabajo mientras pasa 1.0 hora

Las pérdidas de utilización se relacionan con problemas de pérdida de tiempo. Por lo general, tiene dos cubos grandes para cargar el tiempo de fabricación: 1) mano de obra directa para hacer el producto (TD) y 2) mano de obra desperdiciada no imputable contra el producto o su valor de inventario, y esto se llama pérdida de mano de obra (TP). La utilización se puede calcular como:  $TD/(TD+TP)$ .

$$\text{Productividad} = \text{Eficiencia} * \text{Utilización de maquina o sistema} \quad \text{Ecuación 4}$$

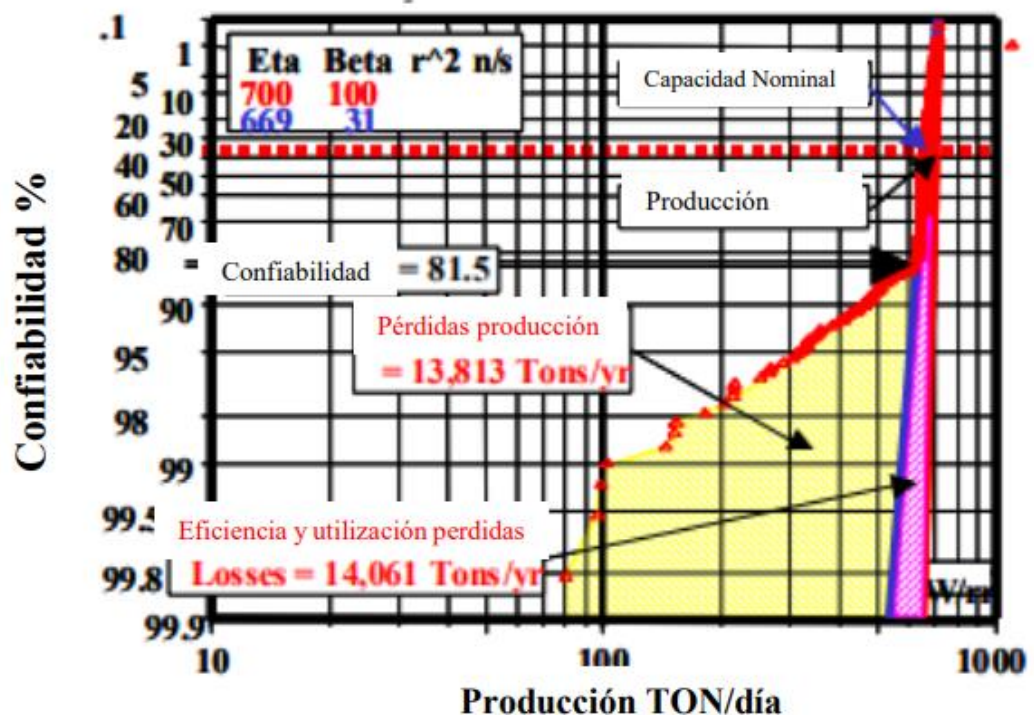
Por ejemplo, para un turno de 8 horas, si el trabajo directo fue de 4 horas, entonces el tiempo no asignado al producto es 4 horas, luego las utilidades de  $(4/8) = 50\%$ . Para el ejemplo mencionado.  $\text{Productividad} = 0.75 * 0.50 = 37.5\%$ .

En la Figura 23. Barringer, (2005) Mostró una planta oculta, un proceso de un año donde las brechas de eficiencia y utilización contienen 88,490 toneladas de producción no realizada. La brecha (una suma de la distancia horizontal desde la línea demostrada a la línea de la placa de identificación) es igual a  $88,490 / 494 = 179$  días a la capacidad demostrada o  $88,490 / 700 = 126$  días a la capacidad nominal.

Se debe tener en cuenta que la pendiente y la ubicación de la capacidad nominal se fijan por la forma en que se diseña el proceso y cómo se opera: ambos problemas están bajo el control de la administración. La figura 7 muestra también la producción diaria con una



línea de tendencia recta sin problemas de confiabilidad. La ausencia de cúspides en la línea demostrada deja una impresión de que el proceso no necesita trabajo. Sin embargo, cuando se agrega la línea de la capacidad nominal, aparece una enorme brecha de pérdidas. La mayoría de los procesos reales tienen tanto pérdidas de fiabilidad más pérdidas de eficiencia como de utilización. Resolver problemas de confiabilidad requiere herramientas diferentes que resolver problemas de eficiencia y utilización. La figura muestra los datos de producción de un proceso simple con un problema. Por consiguiente, no es lo mismo tener problemas de confiabilidad en el proceso productivo como tal, sino tener problemas con la eficiencia y la utilización que vienen arraigados por un defecto más humano que de las máquinas como tal.



**Figura 23:** Problema simple con problemas de confiabilidad. Fuente: Barringer (2008).

La Figura 23. Barringer (2008). Mostró los datos de producción de un proceso simple con problemas de confiabilidad. El proceso demostró confiabilidad del 81.5%. Las pérdidas de confiabilidad debajo de la cúspide son de 13,813 toneladas por año, como lo muestra la zona sombreada a la izquierda de la línea demostrada. La figura también muestra que el problema principal es un problema de producción seguido por un problema de confiabilidad

Si la capacidad demostrada está cerca de la línea de capacidad nominal, todos los problemas se ven como un problema de confiabilidad. De hecho, para la situación en la figura anterior, el problema principal se debe a la eficiencia y la utilización que está directamente controlada por la administración o el planeador de producción y mantenimiento.

### **Gráfica de Weibull en análisis de confiabilidad para mantenimiento**

La explicación que el libro “*Mantenimiento Industrial Efectivo*” del autor Mora narra sobre los pasos para la lectura de indicadores de Weibull por medio de alineaciones, Aquí tomo el ejemplo que se utilizó para la correcta explicación del concepto.

Mora (2014). Nos da a conocer que el procedimiento consiste en graficar los valores de  $F(t)$  o de  $M(t)$  en el eje Y, con respecto al eje X (eje de tiempos). La escala que posee el papel Weibull nos permitió dibujar una línea recta, a partir de la cual se logra calcular tanto la pendiente como la intersección de la misma con el eje Y vertical; y a partir de estos dos valores, se pueden obtener los parámetros propios de la función Weibull de  $\beta$ ,  $\eta$ , etc.

Para determinar los parámetros  $\beta$  y  $\eta$  se utiliza el papel de Weibull, así.  $\beta$  es el parámetro de forma y representa la pendiente de la recta. Para obtener el valor de  $\beta$  se traza una recta paralela a la obtenida con la representación de  $t$  y  $F(t)$  que pase por la

coordenada donde  $F(t)$  acumulado de fallas valga 63.2 en la ordenada y  $\ln(t)$  igual 1 en la abscisa; de allí se puede leer directamente el valor de  $\beta$  en una escala tabulada de 0 a 7

El valor de  $\eta$  es el parámetro de escala y su valor esta dado por la intersección de la recta trazada con la línea paralela al eje de abscisas correspondiente al 63,2 % de fallas acumuladas. A efectos de utilizar el método gráfico se toman los datos de un ejemplo que se venía trabajando con disponibilidad inherente en donde se trae en desarrollo, con los  $F(t)$  y  $M(t)$  calculados en el ejemplo dado, pero convertido con los UT (Tiempo Útil) no repetidos.

En los casos de mantenimiento, se supone una máquina en donde se hace un seguimiento de los tiempos de funcionamiento y no funcionamiento de ella. Para los cálculos que se tienen que hacer de mantenimiento, sí se deben de tener en cuenta los tiempos, ya que son la base de todo el conjunto de parámetros que se deben obtener en el proceso de construir la gráfica.

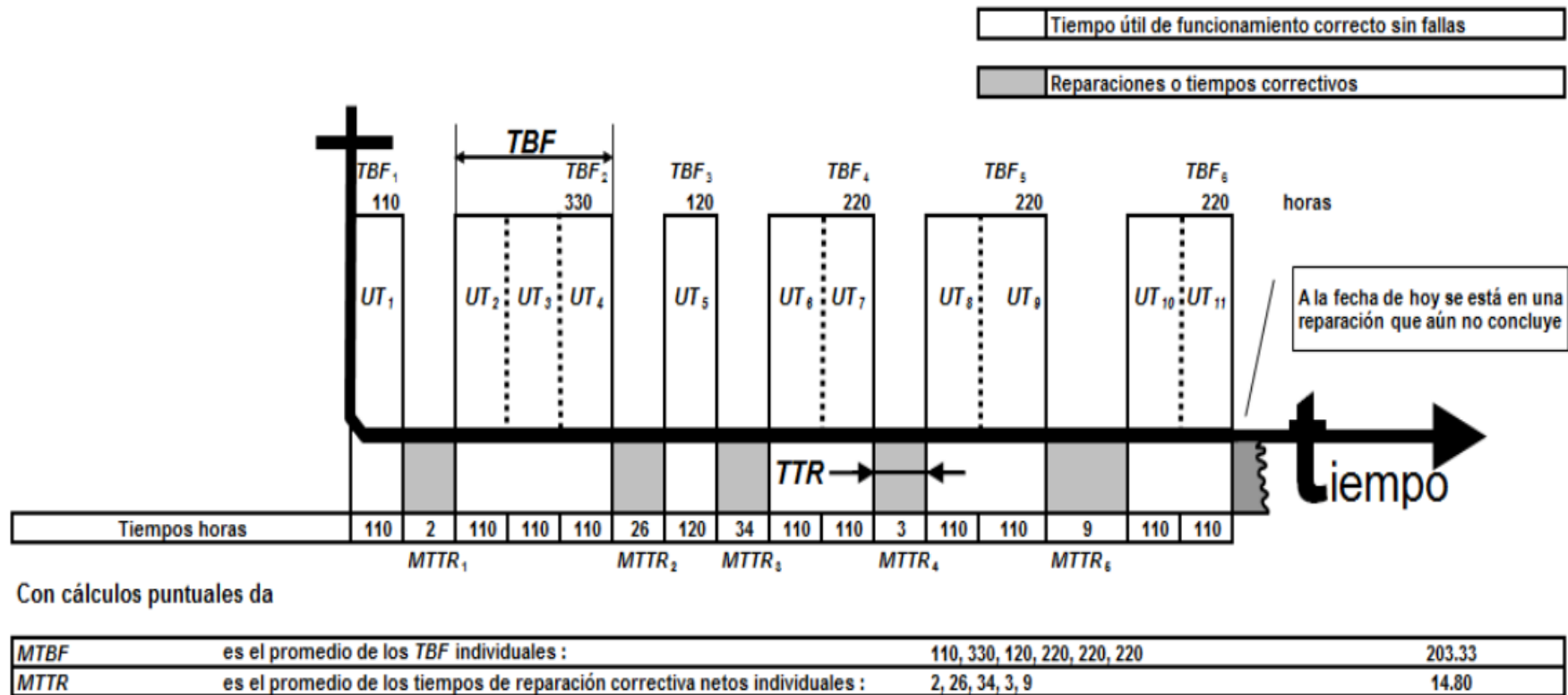


Figura 24: Ejemplo de tiempos de funcionamiento y no funcionamiento de una máquina

**Tabla 2:** Cálculos para alineación de Weibull

**Método i-kaésimo**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas - Runs Hours =λ - en horas	F(t) = j / N + 1
1	110	14.29%
2	120	28.57%
3	220	42.86%
4	220	57.14%
5	220	71.43%
6	330	85.71%
Media		50.00%

No. Dato j	Datos de reparación en horas	M(t) = j / N + 1
1	2	16.67%
2	3	33.33%
3	9	50.00%
4	26	66.67%
5	34	83.33%
Media		50.00%

**Método i-kaésimo con no repetición de UT**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas - Runs Hours =λ - en horas	F(t) = j / N + 1
1	110	14.29%
2	120	28.57%
5	220	71.43%
6	330	85.71%
Media		50.00%

No. Dato j	Datos de reparación en horas	M(t) = j / N + 1
1	2	16.67%
2	3	33.33%
3	9	50.00%
4	26	66.67%
5	34	83.33%
Media		50.00%

Los procedimientos dados por el Doctor Mora (2014) son diferentes a los que realiza el Maestro Barringer en sus documentos, debido a que Barringer es muy gráfico y busca el entendimiento de los conceptos por medio de su programa SuperSmith.

Mora (2017). Menciona que este método adopta la Función de probabilidades de fallas acumuladas F(t) la cual trata de alinearla (recta), utilizando la construcción de los ejes de coordenadas Y y X con transformaciones especiales, utilizadas en los papeles de cada función. Estos ejes son diseñados para la alineación de la función de tiempo de falla en la abscisa (X, en este caso eje t) y en el eje vertical (Y) la función de no confiabilidad o de probabilidad de falla acumulada, o la de mantenibilidad cuando de esta se trate el análisis.



**Tabla 3:** Resultados del Ejemplo de disponibilidad Inherente para alineación de Weibull

### No Confiabilidad

$\text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-F(t)))) - \text{Y de la regresion}$	$\text{Ln de datos - X de la regresion}$
-1.86982	4.700
-1.08924	4.787
0.22535	5.394
0.66573	5.799

### Mantenibilidad

$\text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-M(t)))) - \text{Y de la regresion}$	$\text{Ln de datos - X de la regresion}$
-1.70198	0.693
-0.90272	1.099
-0.36651	2.197
0.09405	3.258
0.58320	3.526

### Cálculos con método de regresión en excel

Intersección	-11.742
$\beta$ eta	2.171
Eta $\eta$	223.25

Intersección	-1.8708
$\beta$ eta	0.6355
Eta $\eta$	18.98

<b>MTBF</b>	<b>197.711</b>
-------------	----------------

<b>MTTR</b>	<b>26.61</b>
-------------	--------------

$$MTBF = \eta * \text{Gamma } \Gamma (1+ 1/\beta)$$

$$MTTR = \eta * \text{Gamma } \Gamma (1+ 1/\beta)$$

<b>MTBF puntual</b>	<b>203.300</b>
---------------------	----------------

<b>MTTR puntual</b>	<b>14.800</b>
---------------------	---------------

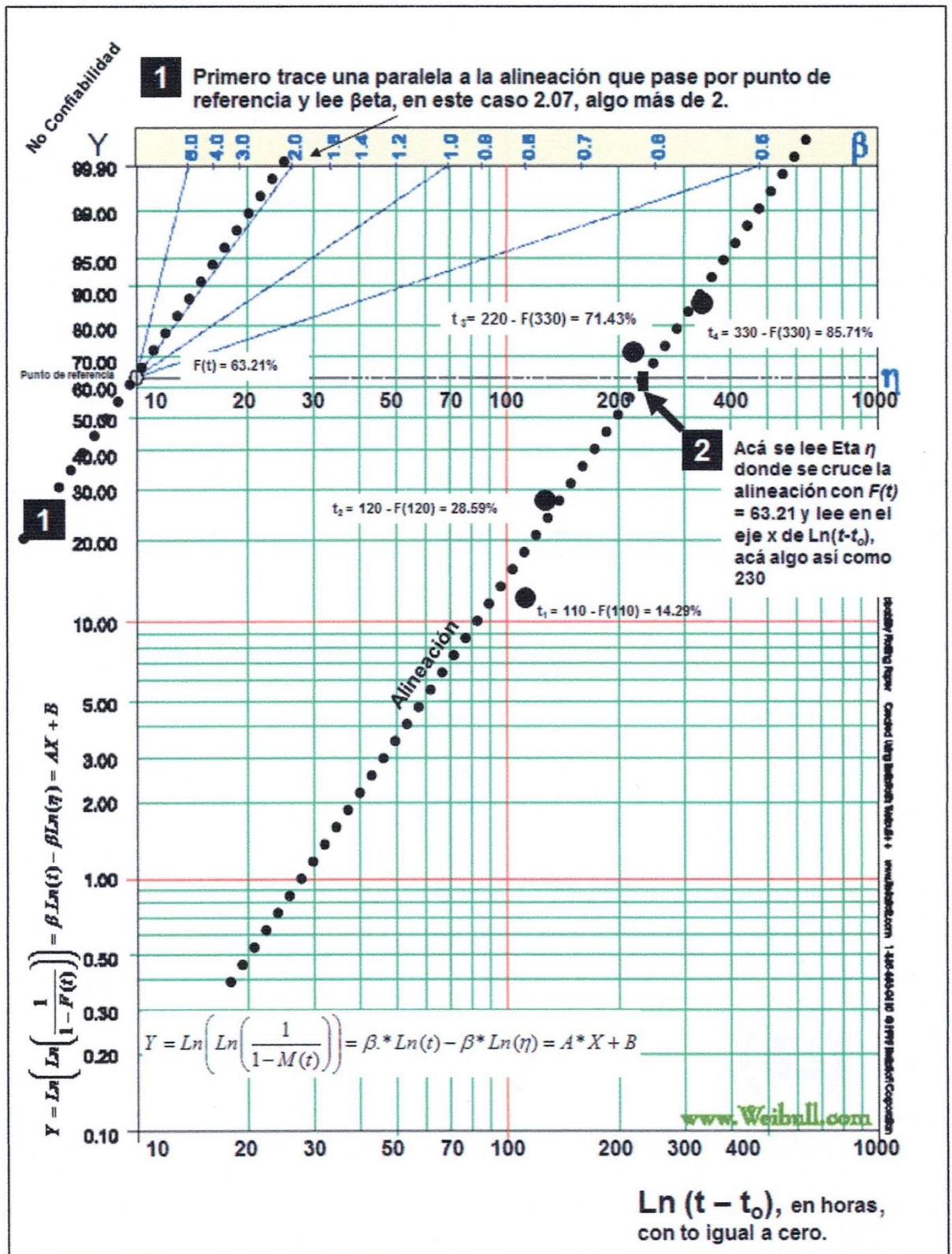


Figura 25: Obtención de parámetros para obtener MTBF por método gráfico

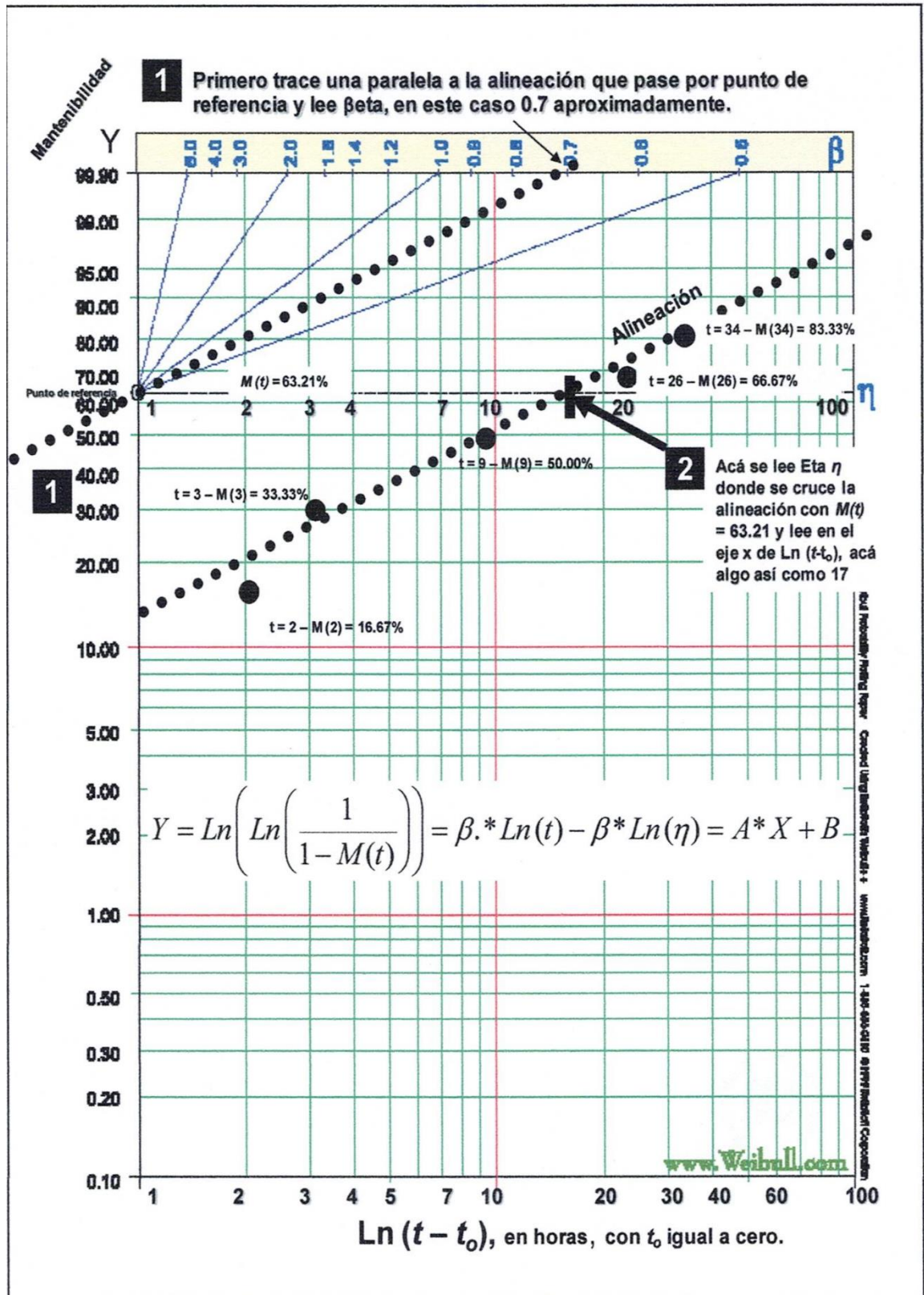


Figura 26: Obtención de parámetros para obtener MTTR por método gráfico



**Tabla 4:** Resultados de la lectura con el papel de Weibull

**Lectura de Allen - Plait o Papel Weibull**

<b>beta</b>	<b>2.070</b>	<b>beta</b>	<b>0.7000</b>
<b>Eta <math>\eta</math></b>	<b>230.00</b>	<b>Eta <math>\eta</math></b>	<b>17.00</b>
<b>MTBF</b>	<b>203.734</b>	<b>MTTR</b>	<b>21.52</b>

A pesar de que los resultados son similares siempre queda de manifiesto que el método de alineación con el método gráfico en este caso de Weibull, es muy subjetivo, lo que puede conducir a errores importantes en el análisis, en la selección de estrategias y acciones de mantenimiento (Mora ,2017).

### 2.2.2 Motores diésel

Los datos a estudiar son los provenientes del Camión 785C. Dicho camión tiene un motor Caterpillar 3516B diésel, ver Figura 27.



**Figura 27:** Motor 3516B. Fuente Cat (2021)

Este motor es de 4 tiempos, y posee 16 cilindros con configuración en V (60°).

### **Cinemática del sistema**

Una vez definido el motor, debemos comprender el movimiento del sistema en cuestión. Se hace necesario determinar las ecuaciones cinemáticas que rigen el movimiento del sistema pistón, biela, cigüeñal. De este modo, según la Figura 12, las ecuaciones que definen el movimiento lineal del pistón en función de la rotación del cigüeñal son las siguientes: (donde  $\gamma = R/L$ )

$$x(\theta) = R \left( 1 + \frac{\gamma}{4} \right) - R \left( \cos(\theta) + \frac{\gamma}{4} \cos(2\theta) \right)$$

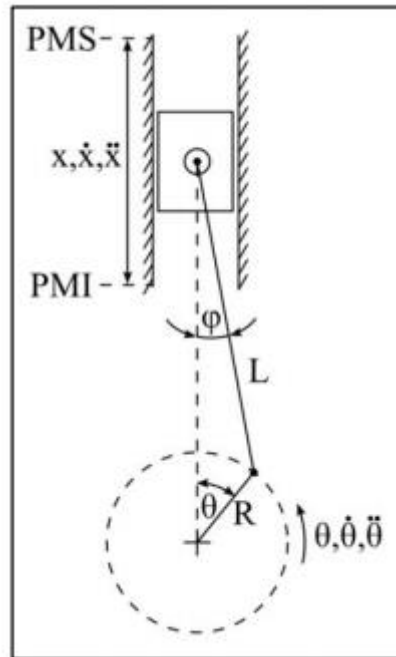
Ecuación 5

$$\dot{x}(\theta) = R\dot{\theta} \left( \sin(\theta) + \frac{\gamma}{2} \sin(2\theta) \right)$$

Ecuación 6

$$\ddot{x}(\theta) = R\ddot{\theta} \left( \sin(\theta) + \frac{\gamma}{2} \sin(2\theta) \right) + R\dot{\theta}^2 (\cos(\theta) + \gamma \cos(2\theta))$$

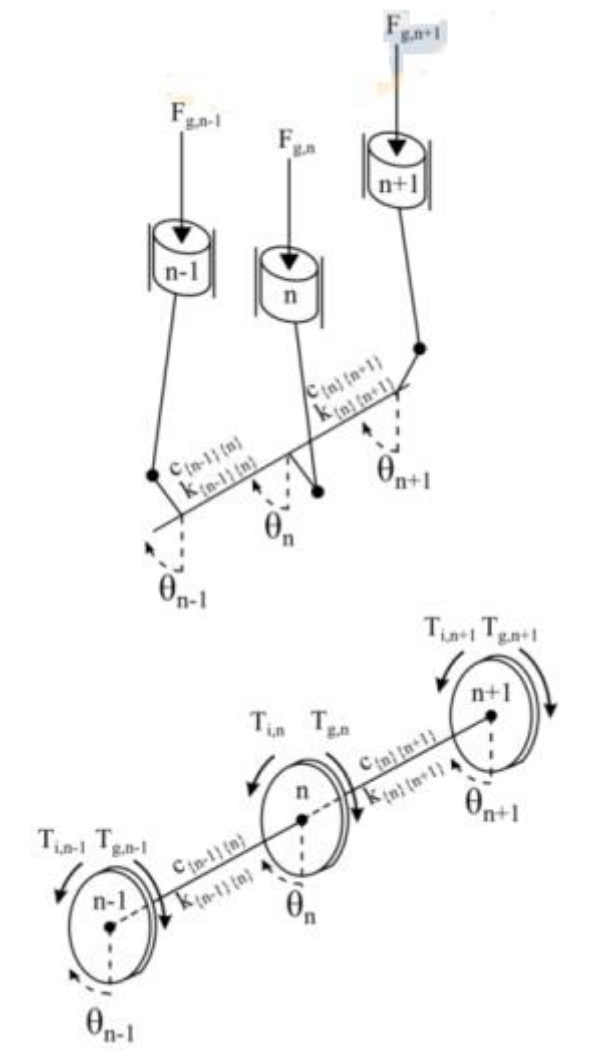
Ecuación 7



**Figura 28:** Esquema movimiento biela-manivela, fuente: elaboración propia (2021).

### **Dinámica del sistema generalizado para n grados de libertad**

Definidas las ecuaciones cinemáticas, se introducen al sistema los factores físicos que determinan el movimiento que tendrá el sistema (fuerza, masa, rigidez, amortiguación). Así, según la Figura 29, y luego de resolver las ecuaciones dinámicas que gobiernan el sistema, se determina una representación matricial según la ecuación 8 en donde las matrices inercia  $[I]$ , amortiguamiento  $[C]$ , rigidez torsional  $[K]$  y el vector de torques  $\{T\}$  se presentan en las Ecuaciones 9 a 12 respectivamente. Una vez discretizado el sistema, estas ecuaciones son aplicables para motores desde 1 cilindro hasta n cilindros. Para el motor 785C el valor de n es igual a 16.



**Figura 29:** Sistema de tres GDL en torsión, fuente: elaboración propia (2021)

$$[I]\{\ddot{\theta}\} + [C]\{\dot{\theta}\} + [K]\{\theta\} = \{T_g - T_i\}$$

Ecuación 8

$$[I] = \begin{bmatrix} I_{n-1} & & \\ & I_n & \\ & & I_{n+1} \end{bmatrix}$$

Ecuación 9



$$[C] = \begin{bmatrix} C_{\{n-1\}\{n\}} & -C_{\{n-1\}\{n\}} & \\ -C_{\{n-1\}\{n\}} & C_{\{n-1\}\{n\}} + C_{\{n\}\{n+1\}} & -C_{\{n\}\{n+1\}} \\ & -C_{\{n\}\{n+1\}} & C_{\{n\}\{n+1\}} \end{bmatrix}$$

Ecuación 10

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{\{n-1\}\{n\}} & -k_{\{n-1\}\{n\}} & \\ -k_{\{n-1\}\{n\}} & k_{\{n-1\}\{n\}} + k_{\{n\}\{n+1\}} & -k_{\{n\}\{n+1\}} \\ & -k_{\{n\}\{n+1\}} & k_{\{n\}\{n+1\}} \end{bmatrix}$$

Ecuación 11

$$\{T\} = \begin{cases} T_{g,n-1} - T_{i,n-1} \\ T_{g,n} - T_{i,n} \\ T_{g,n+1} - T_{i,n+1} \end{cases}$$

Ecuación 12

### Ciclo de combustión

En la fase de combustión es posible distinguir tres etapas características:

#### - Retardo de la ignición

-Tiempo entre la inyección del combustible y el momento de la autoignición.

#### -Combustión de premezcla

- Comienza inmediatamente después de la autoignición.

-Etapas en que se quema la mayor parte del combustible.

-Libera gran energía en poco tiempo generando aumento brusco de presión en la cámara de combustión.

#### -Combustión por difusión.

- Comienza al mismo tiempo que combustión de premezcla.

-Fase más lenta y progresiva que la anterior. No genera cambios bruscos en la presión.



-Se termina de quemar todo el combustible restante.

### -Confiabilidad

La confiabilidad operativa es una estrategia moderna que generan beneficios a quienes la han usado. Se basa en análisis de condición y en análisis estadísticos, orientados a mantener en alto la disponibilidad y confiabilidad de los activos, con la activa participación del personal de la organización”. (GARCÍA, 2012 pág. 90).

El cálculo de la confiabilidad (R) está en función del MTBF y el MTTR

$$R = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

Ecuación 13

MTBF = Tiempo medio entre averías

MTTR = Tiempo medio de reparación

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total disponible} - \textit{Tiempo de inactividad}}{\textit{Número de paradas}}$$

Ecuación 14

El tiempo disponible es el total de horas en las que la máquina podría haber estado operando, el tiempo de inactividad es el número de horas en las que estuvo parada y el número de paradas corresponde al número de averías.

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo Total de Mantenimiento}}{\textit{Número de reparaciones}}$$

Ecuación 15

El tiempo total de mantenimiento correctivo (y, consecuentemente, el Tiempo Medio de Reparación) puede incluir el tiempo desde el momento en que una avería es detectada hasta el momento en que los trabajos de reparación se inicien realmente (incluyendo el tiempo de identificación, notificación, diagnóstico



de la avería, etc.) En este caso, se denomina, generalmente, **Tiempo Medio de**

**Recuperación** y es importante que su definición sea muy clara en los contratos de mantenimiento.

## **CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA**

### **3.1 Experiencia Académica**

Mi experiencia academia empieza en 1989 en Senati en donde estude la especialidad de Mecánica de Automotores Diesel hasta 1993. Después estude en la Universidad Privada del Norte hasta el 2014 teniendo el grado académico de Bachiller.

### **3.2 Experiencia laboral**

Inicie mi carrera como técnico mecánico trabaje en empresas como EUROPA DIESEL S.A, AGENCIA MARITIMA MARES PACIFICO S.A. y AGENCIA MARITIMA SALVAMAR S.A en los años de 1990 a 1997. Hasta que tuve la oportunidad de ser jefe de taller en la empresa AGENCIA MARITIMA SALVAMAR S.A Luego tuve la oportunidad de trabajar en una sub contrata de Ferreyros llamada CALIDAD Y EXCELENCIA S.A empezando a fines de 1997. De 1998 en adelante trabajé directamente con Ferreyros en donde empecé a ver temas de maquinaria pesada y de minería. Trabaje con Ferreyros hasta el 2007. Después empecé a trabajar en la MINERA BARRICK MISQUICHILCA – MINA PIERINA – HUARAZ el 2007 hasta el año 2014

### **3.3 Análisis de la situación**

En base a mi experiencia laboral la empresa MINING AND METALLURGICAL SERVICES EO SAC contrato mi servicio como un técnico multifuncional cuyas funciones se desarrollaban como programador de mantenimiento de equipos de maquinaria pesada y planificador de mantenimiento. Trabajaba directamente con los programadores proporcionándole información acerca de los parámetros de los equipos.





Forme parte de una nueva sección dentro de la empresa llamada Área de confiabilidad que en ese entonces se estaba desarrollando. Esta área tenía como objetivo dar inicio al mantenimiento predictivo de los equipos de mina. El software a diseñar se llamaba CCN. Este software debe realizar un análisis estadístico para informarnos el tiempo de reemplazo de los motores diésel instalados en los camiones de modelo 785C, así como los mantenimientos y cambio de partes de otras máquinas.

Acorde al modelo matemático y a los datos que ya teníamos los matemáticos demostraron que esta confiabilidad que se calculaba era del 80%.

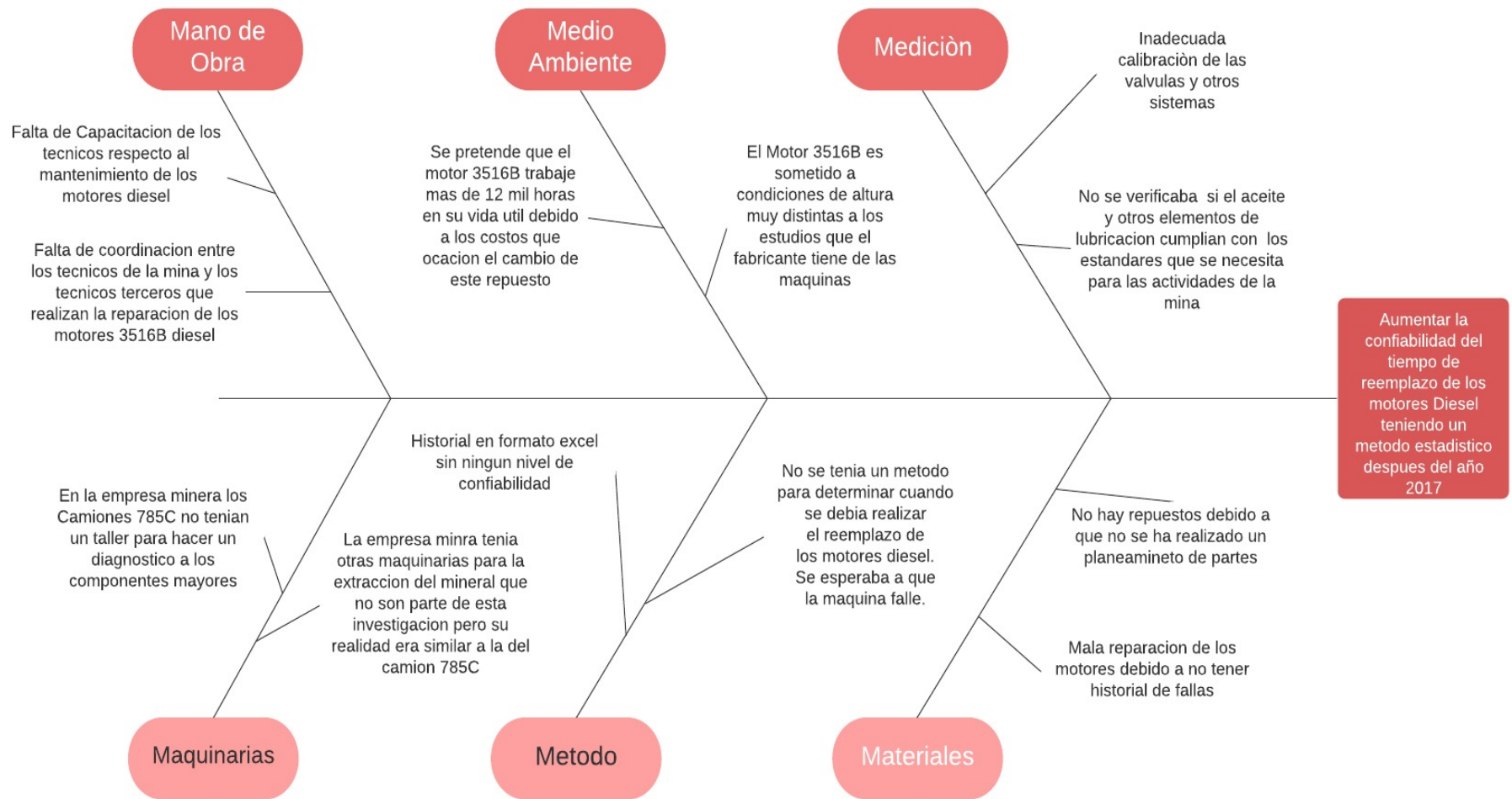
En el capítulo 1 sección: Descripción de la Confiabilidad de los motores diésel antes de usar el método Weibull se narra la situación antes de la implementación del método de confiabilidad de Weibull en donde se realizaba el reemplazo de los motores diésel de los camiones 785C a las 12 mil horas sin realizar un análisis técnico o estadístico del motor solamente se realizaba con esta cantidad de horas de operación debido a que eran las indicaciones del proveedor. Con esta descripción se desarrolló la figura 30 el cual es un gráfico Ishikawa que nos permite desarrollar un diagnóstico de los problemas que ocurrían y la razón por la cual la en el yacimiento minero se realizó el desarrollo de este software.

En el capítulo 1 sección: Descripción de la Confiabilidad de los motores diésel después de usar el método Weibull se narra el uso de un software realizado por la empresa contratista MINING AND METALLURGICAL SERVICES EO SAC llamado CCN el cual dentro de su algoritmo realiza la confiabilidad de Weibull mostrando gráficos de confiabilidad los cuales se desarrollan utilizando datos proporcionados por ex trabajadores de Ferreyros y datos propios del yacimiento



mineros el cual tiene información de 10 años de operación minera utilizando los camiones 785C.

Cabe resaltar que la elección del método estadístico de distribución de Weibull fue propuesta por la empresa del yacimiento minero. Esta empresa ya tenía referencias de los beneficios de tener un mantenimiento predictivo en sus equipos sin embargo no había desarrollado un software. El software CCN desarrollado por MINING AND METALLURGICAL SERVICES EO SAC acorde al contrato celebrado por ambas partes debía ser en su totalidad de propiedad de la empresa que tenía a cargo el yacimiento minero con el objetivo de utilizarlo en otros yacimientos que esta empresa poseía.



**Figura 30:** Diagrama Causa – Efecto (Ishikawa). Fuente Elaboración propia (2021)

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

En el anexo 3 se muestra el historial de vida de los motores diésel 3516B por etapas. Para entender las ventajas de utilizar la confiabilidad de Weibull veamos el historial de motor diésel utilizado en el yacimiento minero de código 5AZ100076017 como el que se muestra en la tabla 5

**Tabla 5: Historial del motor diésel 5AZ100076017 sin uso del software CCM (Antes de la mejora)**

Plaqueteo	Estado	N° de Equipo	Hrs Comp	Hrs Acum	Vida	OT Rep I	Costo Rep I	OT Rep R
5AZ100076017	Desmontado	MD707	10573	56105.1	5	CR21428	278764.56	CR21427
5AZ100076017	Instalado	MD707				CR15587		CR17168
5AZ100076017	Desmontado	1262	15068	45532.1	4	CR14943	40501.57	CR15587
5AZ100076017	Instalado	1262				CR09200		CR09894
5AZ100076017	Desmontado	1268	623.4	30464.1	3	CR09901	170150.67	CR09200
5AZ100076017	Instalado	1268				CR08111		CR09560
5AZ100076017	Desmontado	1259	14436.5	29840.7	2	CR02345	212863.29	CR08111
5AZ100076017	Instalado	1259				YN04144		YN04592
5AZ100076017	Desmontado	1260	15404.2	15404.2	1	YN03014		YN04144
5AZ100076017	Instalado	1260				NUEVO		

Como podemos observar en la tabla 5 el motor diésel 5AZ100076017 tuvo 15404.2 horas medidas en el horómetro (columna Hrs Comp). Después de ese tiempo el motor necesito una reparación (columna vida 1).

Después de la primera reparación este motor trabajo 14436.5 horas (Hrs Comp) teniendo un total de 29840.7 horas de operación necesitando una segunda reparación (columna vida 2).

Podemos observar que el motor diésel 5AZ100076017 trabajo en su ciclo de vida 56105.1 horas en un total de 5 reparaciones. Estas reparaciones nos generaron un gasto de 702280.09 dólares. Según el proveedor de los equipos se debería realizar una reparación cada 12 mil horas lo cual implica que este motor debió llegar a las 60 mil horas, pero en la



realidad solamente llego a 56 mil horas lo cual implica que tuvimos 4 mil horas de maquinaria en perdida.

Veamos ahora un motor diésel en el cual se ha utilizado el software CCM para realizar sus mantenimientos y cambios de parte.

**Tabla 6: Historial del motor diésel 5AZ100076017 sin uso del software CCM**

**(Después de la mejora)**

Plaqueteo	Estado	N° de Equipo	Hrs Comp	Hrs Acum	vida	OT Rep I	Costo Rep I	OT Rep R
5AZ100076001	Desmontado	MD712	15941	66920	5	CR27951	256661.14	CR29698
5AZ100076001	Instalado	MD712				CR19937		CR22404
5AZ100076001	Desmontado	1255	19222	50979	4	CR19301	230035.27	CR19937
5AZ100076001	Instalado	1255				CR10594	211069.27	CR12183
5AZ100076001	Desmontado	1267	16123	31757	3	CR09560	225505.62	CR10378
5AZ100076001	Instalado	1267				YN10629		YN06684
5AZ100076001	Desmontado	1244	13233	15634	2	YN04546	139676.68	YN10629
5AZ100076001	Instalado	1244				YN05656		ZU06872
5AZ100076001	Desmontado	1254	2401	2401	1			YN05656
5AZ100076001	Instalado	1254						

En la tabla 6 observamos que el motor diésel 5AZ100076001 posee 5 reparaciones y en ese lapso ha tenido 66920 horas de operación. Si consideramos que el proveedor sugiere que cada reparación debe darse cada 12 mil horas tenemos que en 5 reparaciones la maquina debería tener 60 mil horas de operación sin embargo esta máquina supero este valor en 6920 horas. El costo total de estas 5 reparaciones es 1062947.44 dólares.

### **Influencia del método de confiabilidad de Weibull en el reemplazo de los motores diésel en el yacimiento minero de Jangas en la provincia de Huaraz**

De lo anteriormente expuesto vemos que con la confiabilidad de Weibull podemos realizar preventivamente ciertas acciones que den como resultado que estadísticamente sea posible alargar la vida de los motores diésel de los camiones 785C dando como resultado un aumento en las horas de disponibilidad de la máquina.

Evidentemente una confiabilidad de 80% no hace que esto sea absoluto por tal razón es necesario tener un camión de backup para imprevistos o de alguna manera tener algún medio de precaución para la disponibilidad de camiones 785C acorde a su confiabilidad.

De lo anteriormente descrito podemos mencionar un motor más reciente en donde ya poseemos más datos en el software CCM. Para lo cual podemos ver la tabla 6.

**Tabla 7: Historial del motor diésel 5AZ100077012 con uso del software CCM (Después de la mejora)**

Plaqueo	Estado	N° de Equipo	Hrs Comp	Hrs Acum	vida	OT Rep I	Costo Rep I	OT Rep R
5AZ100077012	Instalado	MD704				CR28903	256853.61	CR30089
5AZ100077012	Desmontado	MD705	16984	75499	5	CR27355		CR28903
5AZ100077012	Instalado	MD705				CR20474	261870.28	CR21179
5AZ100077012	Desmontado	MD704	16066	58515	4	CR20025		CR20474
5AZ100077012	Instalado	MD704				CR13085	192868.49	
5AZ100077012	Desmontado	MD709	13579	42449	3	CR14516		CR13085
5AZ100077012	Instalado	MD709						
5AZ100077012	Desmontado	MD711	7747	28870	2			
5AZ100077012	Instalado	MD711						
5AZ100077012	Desmontado	MD712	21123	21123	1			
5AZ100077012	Instalado	MD712		0				

En el motor diésel 5AZ100077012 podemos ver que el total de horas operativas en sus 5 reparaciones es 75499 horas. Según las especificaciones técnicas del fabricante este motor solamente debería llegar a 60 mil horas es decir hemos ganado 15499 horas de operatividad del motor si nos hubiéramos referido solo al fabricante. Durante su vida útil el costo por reparaciones de este motor fue de 711592.38 dólares.

**Determinar cómo se relaciona el método de confiabilidad de Weibull con el tiempo medio de reemplazo por falla**

En base a lo anteriormente expuesto en el objetivo general y los valores de tiempo de operación del motor diésel del camión 785C podemos decir que estos motores aumentan su tiempo de operación al aplicarle un mantenimiento predictivo el cual se ha implementado con el método estadístico de Weibull que acorde a la cantidad de



información obtenida de varios yacimientos mineros. Los especialistas del cálculo

estadístico estimaron una confiabilidad del 80%. Este valor es con el que empezó a

funcionar el software CCM. Cabe resaltar que la información de los motores diésel no

solamente fue extraída de este yacimiento minero si no de otras minas conocidas que los

trabajadores de la empresa MINING AND METALLURGICAL SERVICES EO SAC y

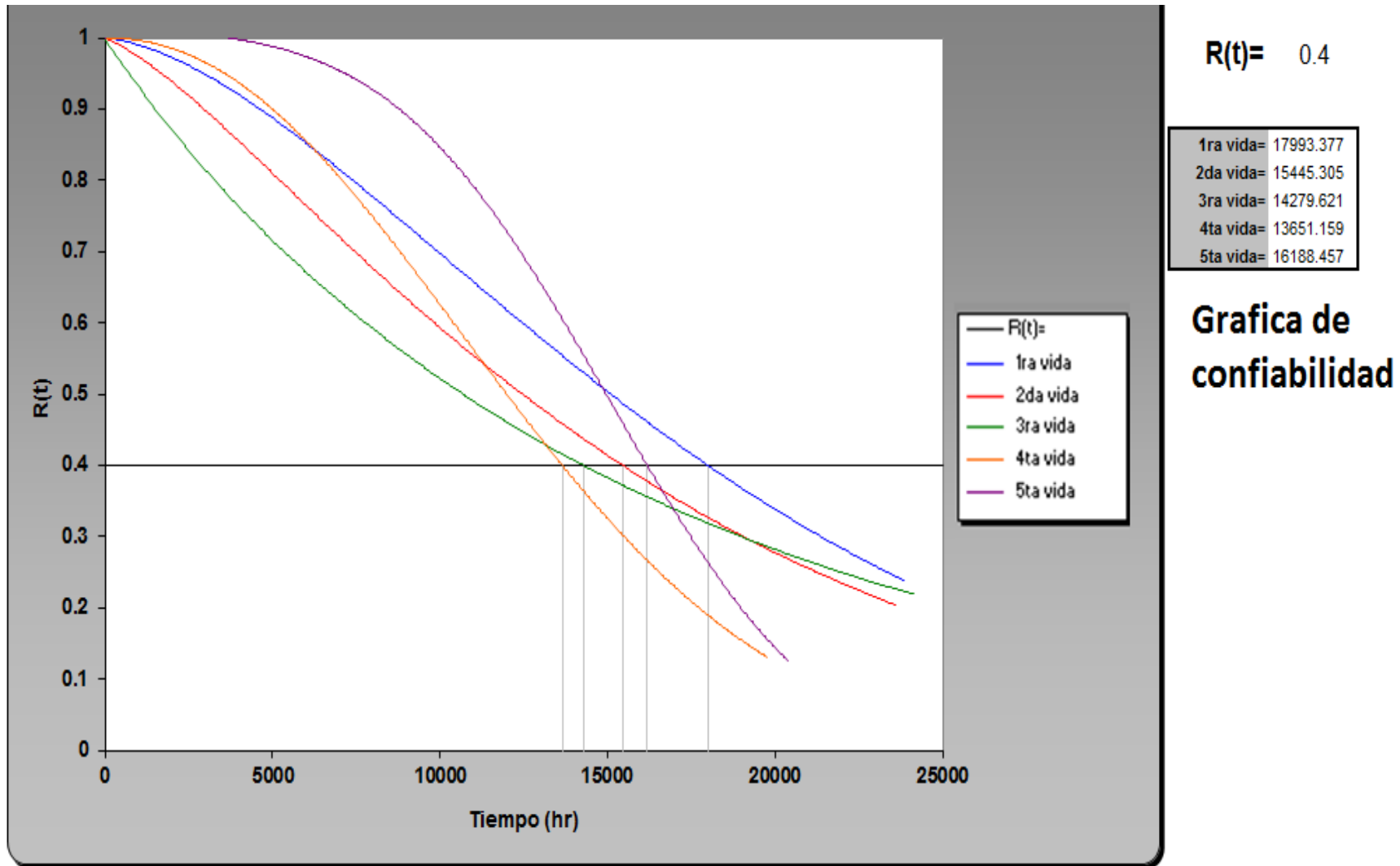
que antes trabajaron en empresas mineras lo proporcionaron.

### **Determinar cómo se relaciona el método de confiabilidad de Weibull con el costo total de reemplazo por falla**

El costo del proveedor por darle mantenimiento al motor diésel del camión 785C es aproximadamente 250 mil dólares y debería realizarse cada 12 mil horas. Si consideramos la tabla 7 donde se analiza al diésel 5AZ100077012 podemos ver que este motor tuvo 5 reparaciones lo cual debería generarnos un gasto por reparación aproximado de 1250000 dólares y 60 mil horas de operación del motor. Sin embargo, cuando se implementó la confiabilidad de Weibull utilizando el software CCM tenemos 75499 horas de operación y un gasto de 711592.38 dólares. Esto nos demuestra que el software CCM realmente genera un ahorro muy considerable para la empresa responsable del yacimiento minero.

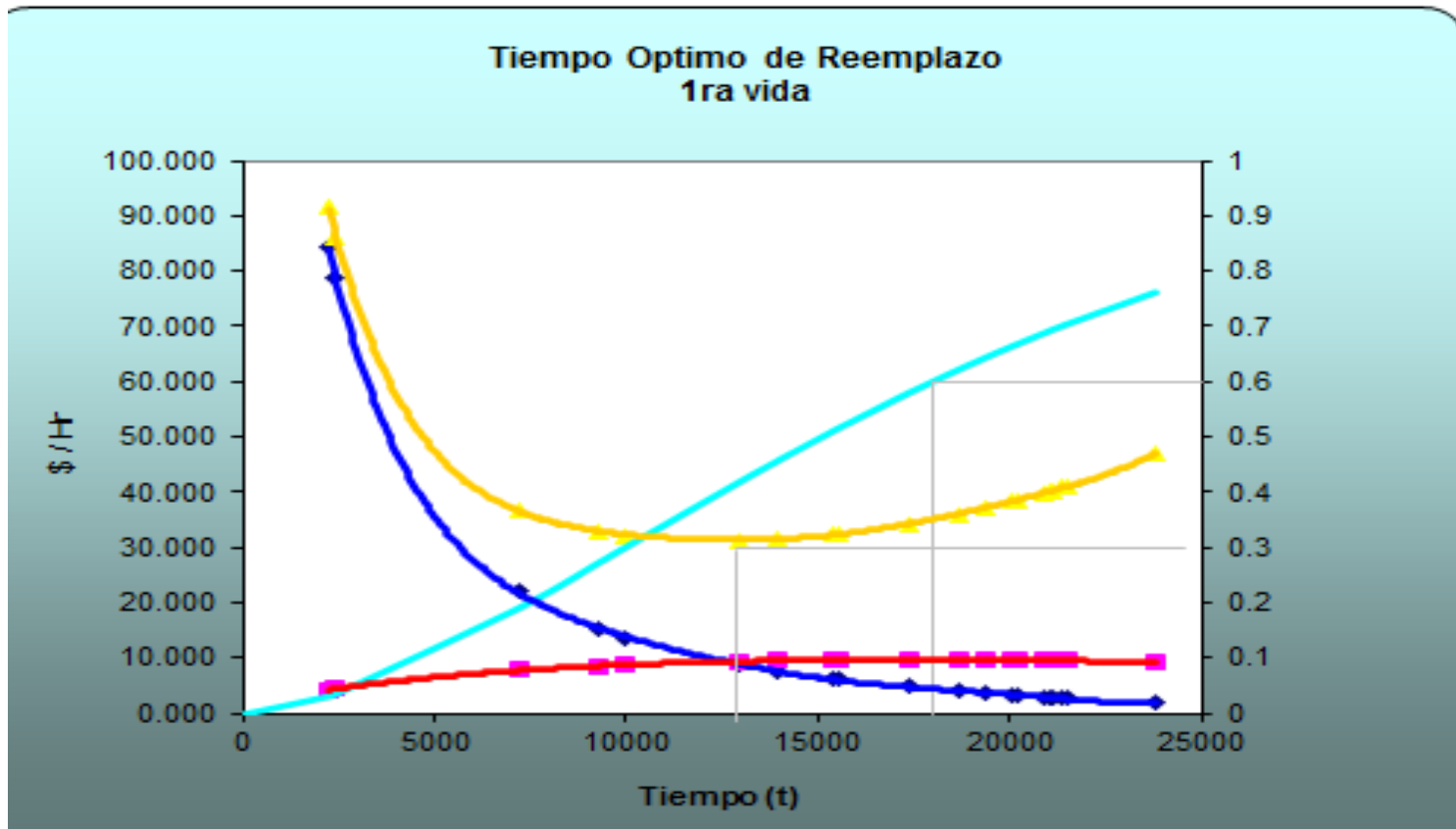
Así mismo la información referente a las horas de operación cambio de repuestos y mantenimientos es ingresada al software haciendo que el método estadístico sea más confiable y genere una mayor confiabilidad.

En el año 2019 este yacimiento minero se cerró. Al realizar el cierre de mina se recuperó las gráficas de confiabilidad de los camiones 785C los cuales funcionan con el motor diésel en estudio. A continuación, pondremos las gráficas las cuales servirán para otras investigaciones que se pudieran generar.



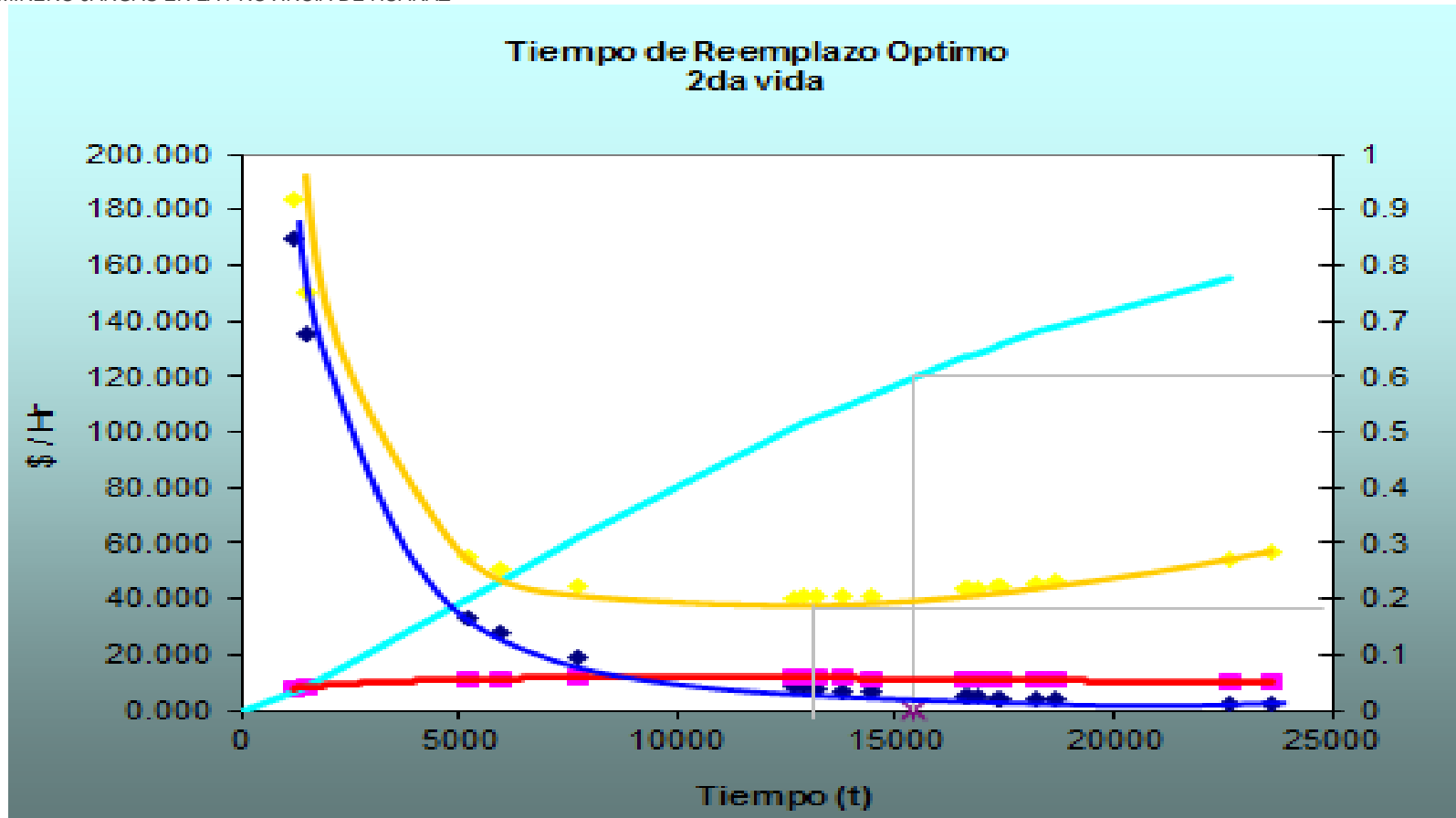
**Figura 31:** Gráfica de confiabilidad del camión 785C acorde a las vidas de su motor diésel. Fuente Elaboración propia (2021)



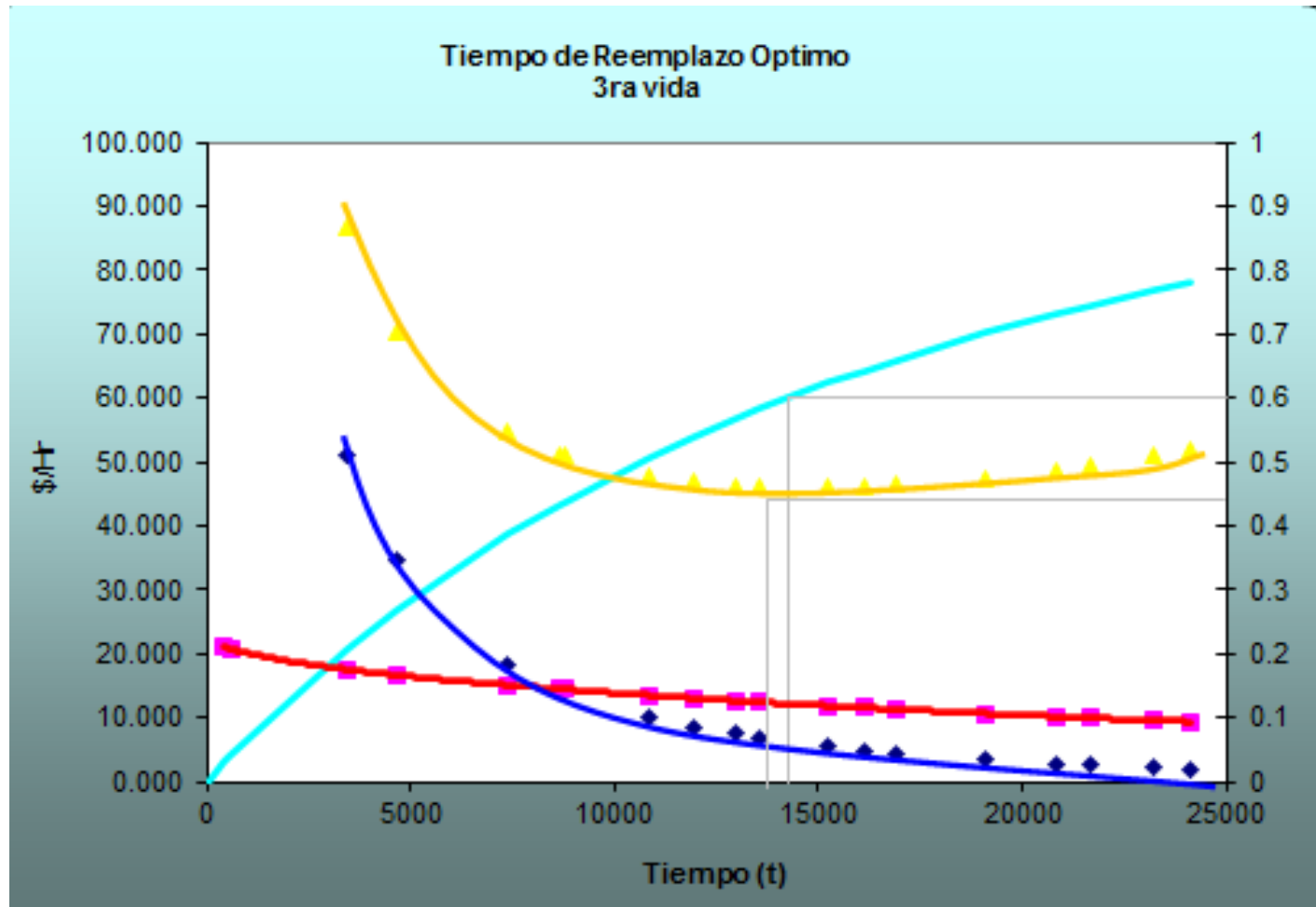


**Figura 32:** Tiempo óptimo del camión 785C cuando ocurre el reemplazo de la 1era Vida. Línea celeste: Inviabilidad Vs tiempo.

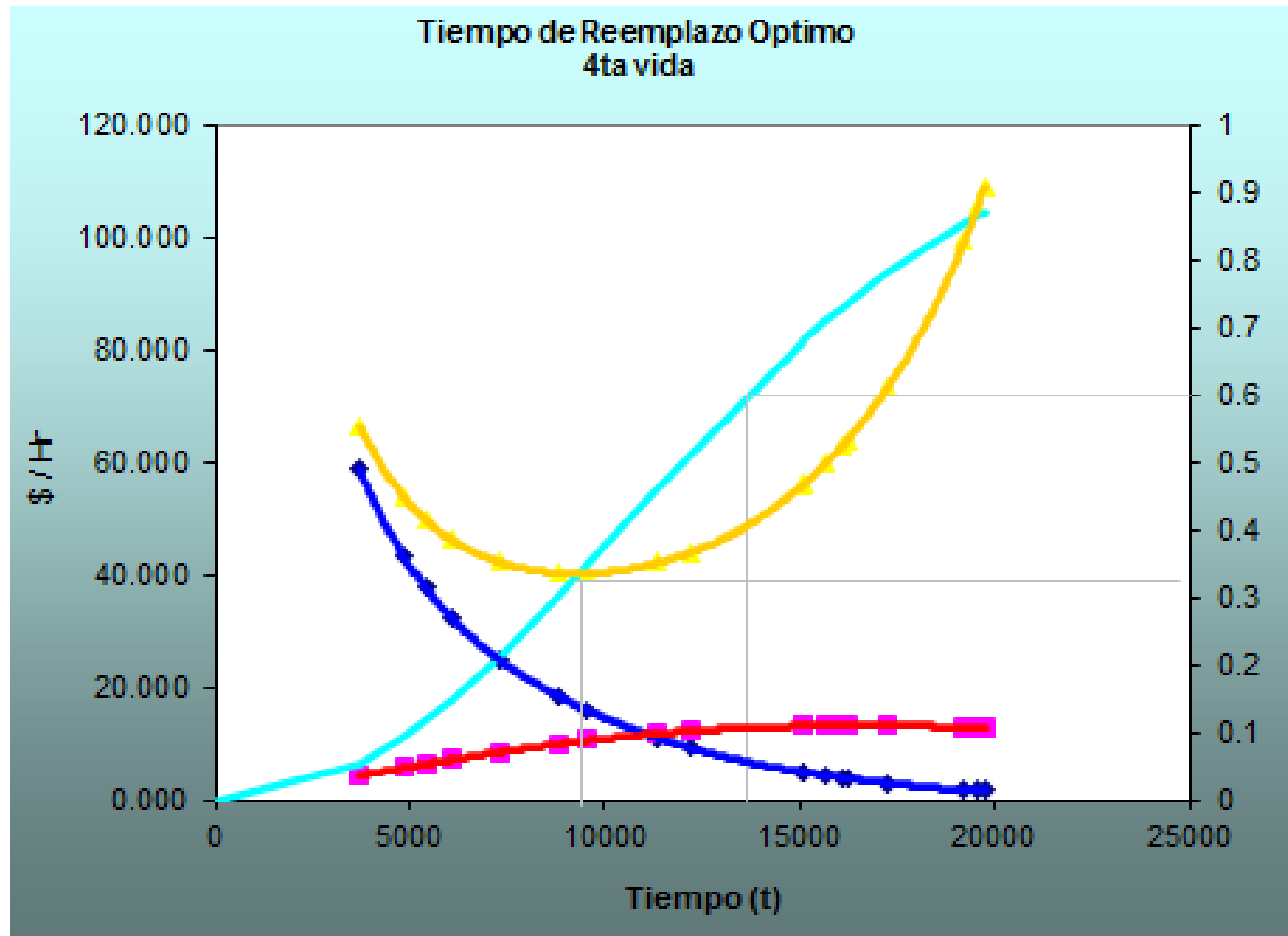
Línea azul: Costo del mantenimiento preventivo Vs tiempo, Línea Violeta: Costo de falla Vs tiempo, Línea Amarilla Costo del tiempo de reparación Vs tiempo. Fuente Elaboración propia (2021)



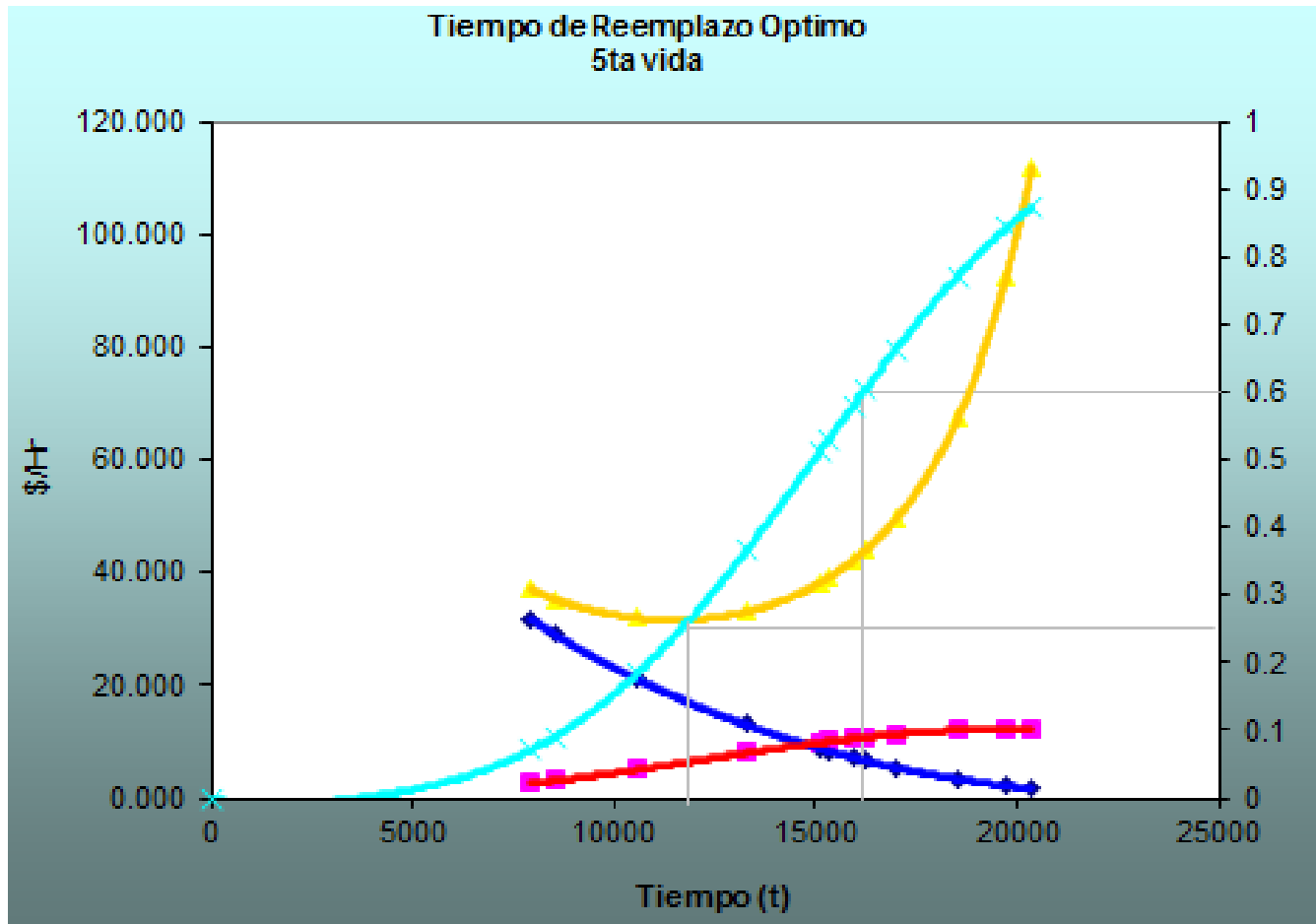
**Figura 33:** Tiempo óptimo del camión 785C cuando ocurre el reemplazo de la 1era Vida. Línea celeste: Inviabilidad Vs tiempo. Línea azul: Costo del mantenimiento preventivo Vs tiempo, Línea Violeta: Costo de falla Vs tiempo, Línea Amarilla Costo del tiempo de reparación Vs tiempo. Fuente Elaboración propia (2021)



**Figura 34:** Tiempo óptimo de reemplazo 3era Vida. Línea celeste: Inviabilidad Vs tiempo. Línea azul: Costo del mantenimiento preventivo Vs tiempo, Línea Violeta: Costo de falla Vs tiempo, Línea Amarilla Costo del tiempo de reparación Vs tiempo. Fuente Elaboración propia (2021)



**Figura 35:** Tiempo óptimo de reemplazo 4ta Vida. Línea celeste: Inviabilidad Vs tiempo. Línea azul: Costo del mantenimiento preventivo Vs tiempo, Línea Violeta: Costo de falla Vs tiempo, Línea Amarilla Costo del tiempo de reparación Vs tiempo. Fuente Elaboración propia (2021)



**Figura 36:** Tiempo óptimo de reemplazo 5ta Vida. Línea celeste: Inviabilidad Vs tiempo. Línea azul: Costo del mantenimiento preventivo Vs tiempo, Línea Violeta: Costo de falla Vs tiempo, Línea Amarilla Costo del tiempo de reparación Vs tiempo. Fuente Elaboración propia (2021)

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDADIONES

### Conclusiones:

Tras realizar la implementación de Confiabilidad de Weibull en el yacimiento minero de Jangas provincia de Huaraz para determinar el tiempo de reemplazo de los motores diésel de los camiones 785C se concluye que:

- Podemos realizar el método de Weibull con una data que nos asegure un 80% de confiabilidad analizando el historial de fallas de los motores diésel de los camiones 785C. Estos datos pueden proveer del proveedor de los camiones, datos de otros yacimientos mineros y datos de el mismo yacimiento minero donde trabajaron dichos camiones. Al realizar el cierre de la Mina estos datos pueden ser recopilados para que pueda usarse en otro yacimiento minero y con más información y utilizando los mismos modelos de las maquinas aumentar la confiabilidad. Cabe resaltar de que en este yacimiento minero después de 10 años lograron tener la suficiente información como para que los especialistas en la matemática de Weibull puedan realizar una predicción del 80% de confiabilidad. Después de llegar a este valor de confiabilidad es posible realizar mantenimientos predictivos mediante este método estadístico.
- Para realizar la programación de extracción de mineral el yacimiento minero busca tener una confiabilidad de los equipos de 80%. Esto sucede cuando el Motor diésel tiene entre 12 mil a 15 mil horas, Sin embargo, los motores diésel instalados en un camión 785C con confiabilidades menores pueden utilizarse, pero teniendo como backup o resguardo otro camión 785C que nos permita realizar el recojo de mineral si el primer camión en mención falla o en su defecto teniendo dos camiones trabajando, pero en el caso falle el primer camión el segundo camión pueda brindar



- un apoyo. Dado estas maniobras a realizar es posible aumentar el tiempo de reemplazo de 12 mil horas a valores superiores. Cabe señalar que para aumentar aun mas el tiempo de reemplazo de estos motores el software CCM tiene cargado información de los cambios de parte y mantenimientos preventivos que protegen la vida útil del motor pudiendo superar sus 12 mil horas realizando labores de apoyo o de backup debido a que su confiabilidad es menor a 80%.
- De la figura 33 podemos ver que el camión 785C cuando tiene instalado su motor diésel en la primera vida la alcanza hasta las 15 mil o 16 mil horas cuando la confiabilidad del camión es del 40%. Así mismo en la segunda vida dicha confiabilidad la alcanza hasta las 15 mil horas esto se puede apreciar en la figura 34. En la tercera vida la confiabilidad mayor del 40% lo alcanza hasta las 14 mil horas como máximo en la cuarta vida 14 mil horas figura 35 y en la quinta vida 16 mil horas como máximo lo cual se ve en la figura 36. Sin embargo, los costos de falla versus tiempo en cada una de las vidas del motor aumentan. En la primera vida tiene un costo de 10 mil dólares casi constantes durante su primera vida dentro del camión 785C, en la segunda vida el costo de falla del camión versus el tiempo es de 15 mil dólares casi constantes durante todo el tiempo de su segunda vida. En su tercera vida es de 20 mil dólares, y se mantiene así en su cuarta y quinta vida. Estos valores ayudaban mucho para la toma de decisiones y ahorro de costos.
  - De los gráficos de confiabilidad también sabemos que un motor que tenga 4ta vida y 20 mil horas de operación necesariamente tenía que ser cambiado porque la inviabilidad se acerca a 1 en la 5ta vida un motor que estaba en 20 mil horas ya quedaba en desuso porque máximo le dábamos a los motores 5 vidas.



- La confiabilidad a base de la probabilidad de Weibull es una extensión del curso de gestión de mantenimiento. Aquí se aplica el mantenimiento predictivo lo cual nos permite predecir en forma anticipada algunas fallas que nos van a permitir realizar los mantenimientos antes de que exista una parada por parte de la máquina.

### **RECOMENDACIONES**

- La recomendación más importante que se puede dar para la determinación de un método para reemplazar los motores diésel es realizar un historial de las maquinas desde el inicio de las actividades de mantenimiento. Medir y anotar los días donde se realizan los mantenimientos, fallas tiempos de parada y demás. Esto nos va a permitir cuando tengamos un historial de la vida útil de varios equipos diseñar un mantenimiento predictivo con alta confiabilidad dependiendo de la cantidad de datos e información que tengamos (Historial de datos).
- Las empresas que poseen varios yacimientos mineros pueden recolectar en un menor plazo gran cantidad de datos, esto se puede realizar cruzando información entre uno y otro yacimiento minero con el objetivo de utilizar un método estadístico (distribución estadística) que le permita conocer anticipadamente las posibles fallas de los equipos, así como sus cambios de parte y mantenimientos.
- Recomendamos la confiabilidad de Weibull porque nos permite trabajar nuestros propios criterios de tiempo de reemplazo de componentes mayores (motor diésel) así como componentes menores y tomar solo de manera referencial los tiempos de los proveedores que nos venden los equipos y que solamente mencionan características





de tiempos de duración de partes y operatividad en base a una media a condiciones normales y no a condiciones de mina o a elevadas altitudes sobre el nivel del mar.

- De la misma manera como encontramos la gráfica de confiabilidad de los camiones 785C la cual se encuentra en un 40% podemos realizar un estudio de toda la maquinaria pesada del yacimiento minero para poder realizar un mantenimiento predictivo eficaz que nos permita tomar decisiones de toda la operación de la extracción del mineral y no solamente tomar decisiones en el traslado del mineral que es como se desarrolló en este yacimiento minero.

## REFERENCIAS

- Abernethy, R. B. (2006). *The New Weibull Handbook*. Florida: Abernethy
- Agualongo L. (2019). *Análisis de fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de Weibull en el área de extrusión de la empresa Holviplas S.A y su incidencia en la disponibilidad*. Ecuador
- Barringer, P. H. (2000). *Process Reliability Concepts*.
- Barringer, P. H., & Woodrow, R. J. (2002) *Process Reliability: Do You Have It?*
- Barringer P. H. (2005). *Availability, Reliability, Maintainability, and Capability*
- Cat (2021). Recuperado de: [https://www.cat.com/es\\_US/products/new/power-systems/industrial/industrial-diesel-engines/18398166.html](https://www.cat.com/es_US/products/new/power-systems/industrial/industrial-diesel-engines/18398166.html)
- García, O. (2012). *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial*. Bogotá: Ediciones de la U
- Giacomo A. (2016). *Determinación del tiempo de vida en anaquel de pizzas en cadena de frío por el método de Weibull*. Lima
- Giraldo J.& Florez A. (2012) *Desarrollo de un banco didáctico para pruebas de laboratorio a partir de un motor diésel 4 tiempos y 4 cilindros en línea*. Venezuela
- Gordillo V. & Rojas E. (2015). *Propuesta de mejora en el servicio de reparación de motores diésel para la empresa distribuidora Cummins Perú SAC*. Perú
- Ponce C. (2020). *Comparación del uso de buses con motor eléctrico, motor diésel y motor híbrido para el transporte público*. Perú
- Reliasoft. (2017). *Life Data Analysis Reference*. Recuperado el 09 de febrero 2021, de [http://www.synthesisplatform.net/references/Life\\_Data\\_Analysis\\_Reference.pdf](http://www.synthesisplatform.net/references/Life_Data_Analysis_Reference.pdf)



- Rojas, J. A. (1975). *Introducción a la confiabilidad*. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.

- Mora, A. -G. (2014). *Mantenimiento Industrial Efectivo* (Tercera ed.). Medellín, Antioquia, Colombia: COLDI Limitada.

- Mora, A. L. (2017). *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Medellín.

-Pulgarín S. (2019). *Aproximación de la confiabilidad para optimizar procesos de mantenimiento y productivos con distribución Weibull*. Colombia.

-Salas M. (2017). *Monitoreo de condición en motores diésel de gran número de cilindros*.

Chile

-Salazar R, Fitz E., López I & Rojano A. (2017). *Confiabilidad y Análisis de Fallas utilizando la Distribución Weibull*. México: Universidad Autónoma Chapingo.

-Torres K. (2018). *El modelo de larga duración´ Weibull-geométrica*. Perú



## **ANEXOS**

**ANEXO 1: Matriz de consistencia**

TÍTULO:	<p align="center"><b>IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE CONFIABILIDAD WEIBULL PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE REEMPLAZO DE LOS MOTORES DIESEL EN EL YACIMIENTO MINERO JANGAS EN LA PROVINCIA DE HUARAZ</b></p>			
PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema General</b> ¿Como influye el método de confiabilidad de Weibull en el reemplazo de los motores diésel en el yacimiento minero de Jangas en la provincia de Huaraz?</p> <p><b>Problema Específico</b> a._ ¿Cómo se relaciona el método de confiabilidad de Weibull con el tiempo medio de reemplazo por falla? b._ ¿Cómo se relaciona el método de confiabilidad de Weibull con el costo total de reemplazo por falla?</p>	<p><b>Objetivo General</b> -Determinar cómo influye el método de confiabilidad de Weibull en el reemplazo de los motores diésel en el yacimiento minero de Jangas en la provincia de Huaraz</p> <p><b>Objetivo Específico</b> -Determinar cómo se relaciona el método de confiabilidad de Weibull con el tiempo medio de reemplazo por falla -Determinar cómo se relaciona el método de confiabilidad de Weibull con el costo total de reemplazo por falla</p>	<p><b>Antecedentes:</b> <b>Antecedentes Internacionales</b></p> <p>- Pulgarín S. (2019). En la tesis para optar el grado de Magister en Ingeniería. Universidad EAFIT. Medellín-Antioquia -Colombia referida: <i>Aproximación de la confiabilidad para optimizar procesos de mantenimiento y productivos con distribución Weibull</i></p> <p>- Agualongo L. (2019) en su trabajo de titulación previo a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención Diseño. Universidad técnica de Ambato. Ecuador referida: <i>Análisis de fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de Weibull en el área de extrusión de la empresa Holviplas S.A y su incidencia en la disponibilidad.</i></p> <p>- Salas M. (2017) en su Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Mecánica. Universidad de Concepción. Chile referida: <i>Monitoreo de condición en motores diésel de gran número de cilindros.</i></p> <p>-Giraldo J.&amp; Florez A. (2012) Desarrollo de un banco didáctico para pruebas de laboratorio a partir de un motor</p>	<p><b>Variable 1:</b> X=MÉTODO DE CONFIABILIDAD DE WEIBULL</p> <p><b>Variable 2:</b> Y=TIEMPO DE REEMPLAZO DE LOS MOTORES DIESEL</p>	<p><b>Tipo de Investigación</b> Descriptivo</p> <p><b>Nivel de Investigación</b> Aplicada porque utiliza el método de Weibull para determinar el tiempo de reemplazo de los motores diésel de los camiones 785C aplicando el software CCM</p> <p><b>Método General:</b> Analítico.</p> <p><b>Técnicas de recolección</b> Mediciones realizadas en la empresa donde se realizó la investigación</p> <p><b>Técnicas de procesamiento</b> Datos históricos de los motores diésel de los camiones 785C</p>



		<p>diésel 4 tiempos y 4 cilindros en línea. Universidad Pontificia Bolivariana. Venezuela</p> <p><b>Antecedentes Nacionales</b></p> <p>-Torres K. (2018). El modelo de larga duración Weibull-geométrica. Tesis para optar por el grado de magister en estadística. Pontificia Universidad Católica del Perú</p> <p>-Giacomo A. (2016). <i>Determinación del tiempo de vida en anaquel de pizzas en cadena de frío por el método de Weibull</i>. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial y Agronegocios. Universidad San Ignacio de Loyola. Lima</p> <p>-Gordillo V. &amp; Rojas E. (2015). <i>Propuesta de mejora en el servicio de reparación de motores diésel para la empresa distribuidora Cummins Perú SAC</i>. Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.</p> <p>-Ponce C. (2020). <i>Comparación del uso de buses con motor eléctrico, motor diésel y motor híbrido para el transporte público</i>. Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú</p> <p>.</p>		
--	--	---	--	--

## ANEXO 2: Características técnicas Camión 785C

**MOTOR 3516B**

**POTENCIA 1290 HP**

**PESO VACIO 96353 KG.**

**PESO CARGADO  
249,480 KG**

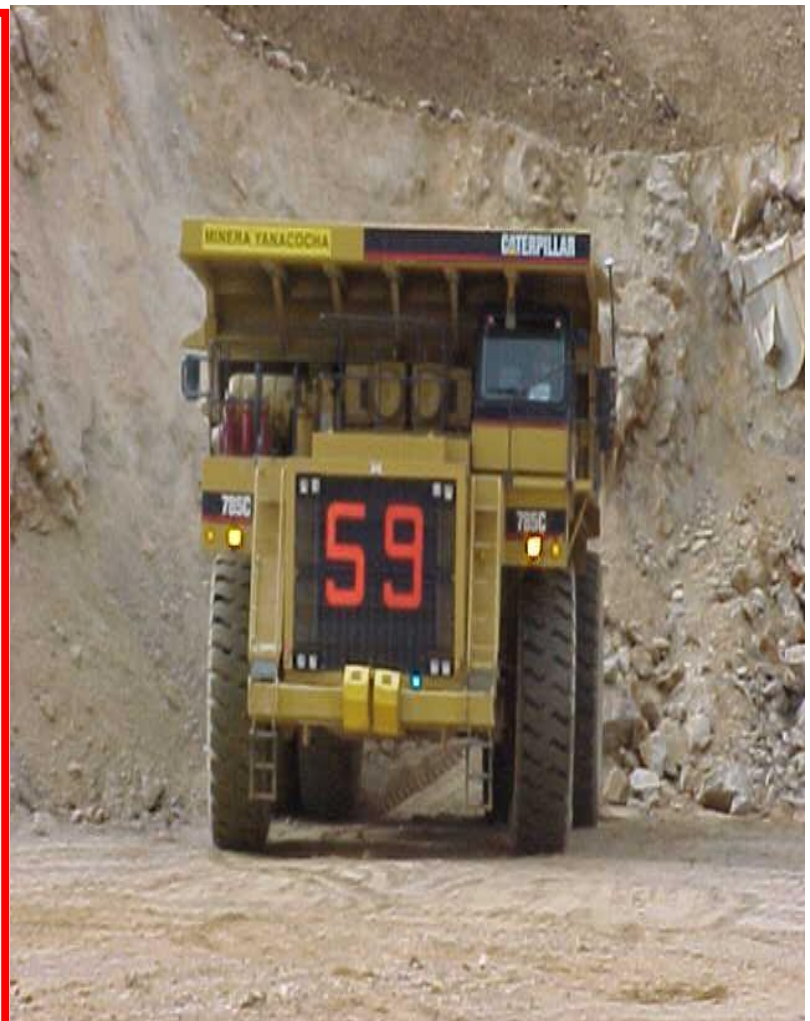
**VELOCIDAD DE  
DESPLAZAMIENTO  
56 KM/H**

**CAPACIDAD 136 TM  
(150 TON)**

**MEDIDAS:**

**LARGO : 11.60  
MTS**

**ANCHO : 06.30**



**CAPACIDAD DE  
FRENADO:**

**CARGADO:**

**FRONTALES: 33.3 %**

**POSTERIORES: 6.7%**

**VACIO:**

**FRONTALES: 47 %**

**POSTERIORES: 53.0%**

**NEUMATICOS:  
33.00R51**

### ANEXO 3: Historial de vida de los motores por etapas

Plaqueo	Estado	N° de Equipo	Hrs Comp	Hrs Acum	Vida	OT Rep I	Costo Rep I	OT Rep R
5AZ100076001	Desmontado	MD712	15941	66920	5	CR27951	256661.14	CR29698
5AZ100076001	Instalado	MD712				CR19937		CR22404
5AZ100076001	Desmontado	1255	19222	50979	4	CR19301	230035.27	CR19937
5AZ100076001	Instalado	1255				CR10594	211069.27	CR12183
5AZ100076001	Desmontado	1267	16123	31757	3	CR09560	225505.62	CR10378
5AZ100076001	Instalado	1267				YN10629		YN06684
5AZ100076001	Desmontado	1244	13233	15634	2	YN04546	139676.68	YN10629
5AZ100076001	Instalado	1244				YN05656		ZU06872
5AZ100076001	Desmontado	1254	2401	2401	1			YN05656
5AZ100076001	Instalado	1254						
5AZ100076017	Desmontado	MD707	10573	56105.1	5	CR21428		CR21427
5AZ100076017	Instalado	MD707				CR15587	278764.56	CR17168
5AZ100076017	Desmontado	1262	15068	45532.1	4	CR14943		CR15587
5AZ100076017	Instalado	1262				CR09200	40501.57	CR09894
5AZ100076017	Desmontado	1268	623.4	30464.1	3	CR09901		CR09200
5AZ100076017	Instalado	1268				CR08111	170150.67	CR09560
5AZ100076017	Desmontado	1259	14436.5	29840.7	2	CR02345		CR08111
5AZ100076017	Instalado	1259				YN04144	212863.29	YN04592
5AZ100076017	Desmontado	1260	15404.2	15404.2	1	YN03014		YN04144
5AZ100076017	Instalado	1260				NUEVO		
5AZ100076020	Instalado	MD711				CR25767	101632.48	CR25951
5AZ100076020	Desmontado	MD706	4842	55528	4	CR24242		CR25767
5AZ100076020	Instalado	MD706				CR22966	210926.7	CR23655
5AZ100076020	Desmontado	MD701	20850	50686	3	CR22665		CR22966
5AZ100076020	Instalado	MD701				CR10594	211069.27	CR14089
5AZ100076020	Desmontado	1269	16898	29836	2	CR09945		CR10594
5AZ100076020	Instalado	1269				YN06622	132979.72	YN06622
5AZ100076020	Desmontado	1263	12938	12938	1	YN05973		YN05973
5AZ100076020	Instalado	1263				NUEVO		
5AZ100077001	Desmontado	MD705	15691	67346	4	CR20474		CR21179
5AZ100077001	Instalado	MD705				CR14268	195287.22	
5AZ100077001	Desmontado	MD710	23220	51655	3	CR14089		CR14268
5AZ100077001	Instalado	MD710						
5AZ100077001	Desmontado	MD704	12904	28435	2			
5AZ100077001	Instalado	MD704						
5AZ100077001	Desmontado	MD701	15531	15531	1			
5AZ100077001	Instalado	MD701						
5AZ100077002	Instalado	MD708				CR28107	292162.66	CR29216
5AZ100077002	Desmontado	MD702	15124	66685	5	CR26679		CR28107
5AZ100077002	Instalado	MD702				CR14306	19613.44	CR21300
5AZ100077002	Desmontado	MD712	7284	51561	4	CR13999		CR14306
5AZ100077002	Instalado	MD712						
5AZ100077002	Desmontado	MD703	7406	44277	3			
5AZ100077002	Instalado	MD703						
5AZ100077002	Desmontado	MD705	18208	36871	2			
5AZ100077002	Instalado	MD705						
5AZ100077002	Desmontado	MD702	18663	18663	1			
5AZ100077002	Instalado	MD702						
5AZ100077003	Instalado	1260				CR22355	229588.22	CR24580
5AZ100077003	Desmontado	MD723	20384	65054	5	CR21300		CR22355





5AZ100077003	Instalado	MD723				CR13231	248327.28	
5AZ100077003	Desmontado	MD707	12192	44670	4			CR13231
5AZ100077003	Instalado	MD707						
5AZ100077003	Desmontado	MD705	404	32478	3			
5AZ100077003	Instalado	MD705						
5AZ100077003	Desmontado	MD706	12691	32074	2			
5AZ100077003	Instalado	MD706						
5AZ100077003	Desmontado	MD703	19383	19383	1			
5AZ100077003	Instalado	MD703		0				
5AZ100077004	Desmontado	MD703	15069	70710	6	CR22404		CR23636
5AZ100077004	Instalado	MD703				CR16463	50568.27	CR17392
5AZ100077004	Desmontado	MD709	8534	55641	5	CR14516		CR16463
5AZ100077004	Instalado	MD709						
5AZ100077004	Desmontado	MD710	19760	47107	4			CR11969
5AZ100077004	Instalado	MD710						
5AZ100077004	Desmontado	MD701	8772	27347	3			
5AZ100077004	Instalado	MD701						
5AZ100077004	Desmontado	MD710	1220	18575	2			
5AZ100077004	Instalado	MD710						
5AZ100077004	Desmontado	MD704	17355	17355	1			
5AZ100077004	Instalado	MD704		0				
5AZ100077005	Instalado	MD723				CR21300	261173.65	CR22355
5AZ100077005	Desmontado	MD702	16243	65588	4	CR14306		CR21300
5AZ100077005	Instalado	MD702				CR14183	74855.37	CR14516
5AZ100077005	Desmontado	MD706	11960	49345	3			CR14183
5AZ100077005	Instalado	MD706						
5AZ100077005	Desmontado	MD707	17311	37385	2			
5AZ100077005	Instalado	MD707						
5AZ100077005	Desmontado	MD705	20074	20074	1			
5AZ100077005	Instalado	MD705		0				
5AZ100077006	Instalado	MD705				CR27355	265291.4	CR28903
5AZ100077006	Desmontado	MD704	16220.9	76597.9	5	CR25454		CR27355
5AZ100077006	Instalado	MD704				CR20025	215056.06	CR20474
5AZ100077006	Desmontado	MD709	8836	60377	4	CR18305		CR20025
5AZ100077006	Instalado	MD709				CR14516	58760.7	CR13085
5AZ100077006	Desmontado	MD702	8657	51541	3	CR14516		CR16463
5AZ100077006	Instalado	MD702				CR14183	74855.37	CR14516
5AZ100077006	Desmontado	MD708	22697	42884	2			CR11355
5AZ100077006	Instalado	MD708						CR11917
5AZ100077006	Desmontado	MD706	20187	20187	1			
5AZ100077006	Instalado	MD706		0				
5AZ100077007	Instalado	MD713				CR22555	46302.18	BAJA
5AZ100077007	Desmontado	MD710	19575	67656	4			CR22555
5AZ100077007	Instalado	MD710				CR14089	34884.28	CR14268
5AZ100077007	Desmontado	MD701	3445	48081	3	CR10594		CR14089
5AZ100077007	Instalado	MD701						CR11917
5AZ100077007	Desmontado	MD702	23604	44636	2			
5AZ100077007	Instalado	MD702						
5AZ100077007	Desmontado	MD707	21032	21032	1			
5AZ100077007	Instalado	MD707		0				
5AZ100077008	Desmontado	MD706	18506	66627	5	CR22966		CR23655
5AZ100077008	Instalado	MD706				CR14662	192643.35	CR15695



5AZ100077008	Desmontado	MD705	17266	48121	4	CR14268		CR14662
5AZ100077008	Instalado	MD705						
5AZ100077008	Desmontado	MD709	4669	30855	3			CR08229
5AZ100077008	Instalado	MD709						
5AZ100077008	Desmontado	MD712	1512	26186	2			CR04217
5AZ100077008	Instalado	MD712						
5AZ100077008	Desmontado	MD708	21517	21517	1			CR02816
5AZ100077008	Instalado	MD708		0				
5AZ100077009	Desmontado	MD703	14569	81054	6	CR30033		
5AZ100077009	Instalado	MD703				CR22404	281328.11	CR23636
5AZ100077009	Desmontado	MD712	13299	66485	5	CR19937		CR22404
5AZ100077009	Instalado	MD712				CR15695	65632.95	CR16971
5AZ100077009	Desmontado	MD706	3717	53186	4	CR14662		CR15695
5AZ100077009	Instalado	MD706						
5AZ100077009	Desmontado	MD713	21697	49469	3	CR13527		CR13974
5AZ100077009	Instalado	MD713						CR14183
5AZ100077009	Desmontado	MD710	13782	27772	2			
5AZ100077009	Instalado	MD710						
5AZ100077009	Desmontado	MD709	13990	13990	1			
5AZ100077009	Instalado	MD709		0				
5AZ100077010	Instalado	MD707				CR21428	103580.45	CR21427
5AZ100077010	Desmontado	MD708	7944	7944	5	CR21100		CR21428
5AZ100077010	Instalado	MD708				CR16971	94367.42	CR18305
5AZ100077010	Desmontado	MD712	6082	6082	4	CR15695		CR16971
5AZ100077010	Instalado	MD712						
5AZ100077010	Desmontado	MD711	19124	19124	3	CR13387		CR13999
5AZ100077010	Instalado	MD711				CR13999	83231.72	CR14306
5AZ100077010	Desmontado	MD709	16624	16624	2			
5AZ100077010	Instalado	MD709						
5AZ100077010	Desmontado	MD710	10014	10014	1			
5AZ100077010	Instalado	MD710		0				
5AZ100077011	Desmontado	MD713	15129	68425	4	CR22555		BAJA
5AZ100077011	Instalado	MD713				CR17392	186371.67	CR18665
5AZ100077011	Desmontado	MD703	15242	53296	3	CR16463		CR17392
5AZ100077011	Instalado	MD703						
5AZ100077011	Desmontado	MD704	16660	38054	2			CR11243
5AZ100077011	Instalado	MD704						
5AZ100077011	Desmontado	MD711	21394	21394	1			
5AZ100077011	Instalado	MD711		0				
5AZ100077012	Instalado	MD704				CR28903	256853.61	CR30089
5AZ100077012	Desmontado	MD705	16984	75499	5	CR27355		CR28903
5AZ100077012	Instalado	MD705				CR20474	261870.28	CR21179
5AZ100077012	Desmontado	MD704	16066	58515	4	CR20025		CR20474
5AZ100077012	Instalado	MD704				CR13085	192868.49	
5AZ100077012	Desmontado	MD709	13579	42449	3	CR14516		CR13085
5AZ100077012	Instalado	MD709						
5AZ100077012	Desmontado	MD711	7747	28870	2			
5AZ100077012	Instalado	MD711						
5AZ100077012	Desmontado	MD712	21123	21123	1			
5AZ100077012	Instalado	MD712		0				
5AZ100077013	Instalado	MD712				CR27951	262780.96	CR29698
5AZ100077013	Desmontado	MD711	15313	63627	5	CR25767		CR27951



5AZ100077013	Instalado	MD711				CR18665	200270.96	CR21100
5AZ100077013	Desmontado	MD713	11337	48314	4	CR17392		CR18665
5AZ100077013	Instalado	MD723				CR08839	152180.62	CR10128
5AZ100077013	Desmontado	MD723	10859	36977	3			
5AZ100077013	Instalado	MD723						CR13527
5AZ100077013	Desmontado	MD706	5224	26118	2	CR13527		CR13974
5AZ100077013	Instalado	MD706						
5AZ100077013	Desmontado	MD713	20894	20894	1			
5AZ100077013	Instalado	MD713		0				
5AZ100077014	Instalado	1245				CR28234	296272.71	CR28768
5AZ100077014	Desmontado	1266	19748	61678	5	CR27015		CR28234
5AZ100077014	Instalado	1266				CR17168	261411.26	CR19742
5AZ100077014	Desmontado	MD707	9569	41930	4	CR15587		CR17168
5AZ100077014	Instalado	MD707						
5AZ100077014	Desmontado	MD701	24154	32361	3	CR12859		CR12859
5AZ100077014	Instalado	MD701						
5AZ100077014	Desmontado	MD702	5926	8207	2			CR02976
5AZ100077014	Instalado	MD702						
5AZ100077014	Desmontado	MD701	2244	2244	1			CR01213
5AZ100077014	Instalado	MD701						
5AZ100077015	Desmontado	MD704	5411	60921	4	CR28903		CR30089
5AZ100077015	Instalado	MD704				CR25454	110390.44	CR27355
5AZ100077015	Desmontado	MD709	12999	55510	3	NO REP		CR25454
5AZ100077015	Instalado	MD709				CR18305	253056.46	CR20025
5AZ100077015	Desmontado	MD709	18676	42511	2	CR16971		CR18305
5AZ100077015	Instalado	MD708				CR10406		
5AZ100077015	Desmontado	MD708	23835	23835	1			CR10406
5AZ100077501	Instalado	MD709				CR29216	270593.94	CR30033
5AZ100077501	Desmontado	MD708	16886	37574	3	CR28107		CR29216
5AZ100077501	Instalado	MD708				CR21100	250997.21	CR21428
5AZ100077501	Desmontado	MD711	17395	20688	2	CR18665		CR21100
5AZ100077501	Instalado	MD711				CR13387	161267.42	CR13999
5AZ100077501	Desmontado	MD704	7214	7214	1			CR13387
5AZ100077502	Instalado	MD703				CR30033		
5AZ100077502	Desmontado	MD709	9252	15425	1	CR29216		CR30033
5AZ100077502	Instalado	MD709				NO REP		CR25454
5AZ100077502	Desmontado	MD710	6192	6192	0	CR25700		NO REP
5AZ100077502	Instalado	MD710						CR22555
5AZ100077503	Instalado	MD701				CR22665		CR22966
5AZ100077503	Desmontado		0	0				CR22665
5AZ100077504	Instalado	MD706				CR24242		CR25767
5AZ100077504	Desmontado		0	0				CR24242
5AZ100077505	Instalado	MD706				CR24242		CR25767
5AZ100077505	Desmontado		0	0				CR24242
5AZ100077506	Instalado	MD702				CR26679		CR28107
5AZ100077506	Desmontado		0	0				CR26679

### Anexo 3: Costos de algunos repuestos y motores del camión 785C



#### Tarifario de Reparación de Componentes - PIC

Cliente

Cod.Tarifa: 2009T1

Store 77 PIERINA

#### GENERALIDADES

\*Tarifas unitarias, en dólares americanos, para reparación general de componentes antes de falla.

No incluyen: Fletes, RI, Fee, base metálica, faltantes, ni el listado de ítems descritos ("ítems no considerados"), que de ser necesario su reemplazo, se presupuestarán como adicionales a la tarifa presentada.

De existir algún cambio en la política de precios, ya sea por temas inflacionarios, cambiarios, proveedores (Ej. Caterpillar, etc) o ajuste de gobierno (Ej: arancelarios, etc), se coordinará previamente entre ambas partes, el monto del reajuste respectivo.

Modelo: 16H Serie: 6ZJ Store 77 PIERINA

Tipo	Trabajo	Descripción Comp	Nro Parte	US\$ Nuevo	Tar.Rep \$	FEE \$	Tar.PIC \$	Estado	Items no Considerados
Mayor	REPAIR	3030 TRANSMISION	8E-3030	104,945	26,073	10,495	36,568	Vigente	Housings, Shaft, Gears (Suns, Rings & Planetarios)
Mayor	REPAIR	3258 DIFERENCIAL	8D-4290	43,252	12,349	4,325	16,674	Vigente	Housing
Mayor	REPAIR	4050 MANDOS FINALES	5T-7158*	30,577	15,357	3,058	18,415	Vigente	Housing, Carrier.
Mayor	REPAIR	4251 FRENO SERVICIO POSTERIOR	8D-1690*	17,357	7,999	1,736	9,735	Vigente	Hub, Housing, Spindle.

Modelo: 777C Serie: 4XJ MINERA BARRICK MISQUICHILCA Store 77 PIERINA

Tipo	Trabajo	Descripción Comp	Nro Parte	US\$ Nuevo	Tar.Rep \$	FEE \$	Tar.PIC \$	Estado	Items no Considerados
Mayor	REPAIR	3030 TRANSMISION	8E-9035	141,202	28,718	14,120	42,838	Vigente	Housing, Shaft, Gears (Suns, Rings & Planetarios)
Mayor	REPAIR	3101 CONVERTIDOR (TC)	8E-8999	51,717	17,740	5,172	22,912	Vigente	Housing, Cover, Body, Turbine, Impeller, Leva, Gears.
Mayor	REPAIR	3258 DIFERENCIAL	104-9410	46,612	21,754	4,661	26,415	Vigente	Housing
Mayor	REPAIR	4050 MANDOS FINALES	107-8544*+ 8X-9371	68,695	32,559	6,870	39,429	Vigente	Hub, Housing, Carrier, Piston, Spindle, Gears Planetary, Wheel, Trabajos de Reconstruccion del Wheel.

### Tarifario de Reparación de Componentes - PIC

Modelo:		834B		Serie:		7BR		Store		77 PIERINA	
Tipo	Trabajo	Descripción Comp		Nro Parte	US\$ Nuevo	Tar.Rep \$	FEE \$	Tar.PIC \$	Estado	Items no Considerados	
Mayor	REPAIR	1000	MOTOR	3408	123-0203	81,473	66,521	8,147	74,668	Vigente	Block, Cigüeñal, Eje de Levas, Culata, ECM, Carter. Trabajos de Recuperacion de Block.
Mayor	REPAIR	3030	TRANSMISION		8E-4905	141,473	19,447	14,147	33,594	Vigente	Housing, Shaft, Gears (Suns, Rings & Planetarios)
Mayor	REPAIR	3101	CONVERTIDOR (TC)		143-1234	26,344	4,983	2,634	7,617	Vigente	Housing, Cover, Body, Turbine, Impeller, Leva, Gears.
Mayor	REPAIR	3258	DIFERENCIAL		145-2439	36,029	17,800	3,603	21,403	Vigente	Housing
Mayor	REPAIR	4050	MANDOS FINALES		115-9753+ 115-9756	37,949	14,352	3,795	18,147	Vigente	Hub, Housing, Carrier, Piston, Spindle, Gears Planetary, Wheel. Trabajos de Reconstruccion del Wheel.

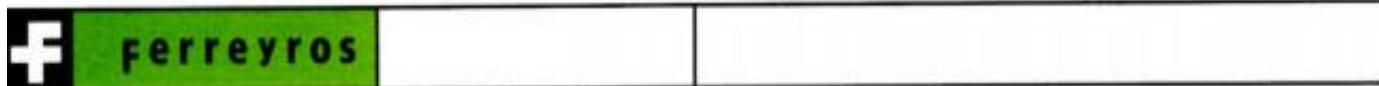
Modelo:		992G		Serie:		ADZ		Store		77 PIERINA	
Tipo	Trabajo	Descripción Comp		Nro Parte	US\$ Nuevo	Tar.Rep \$	FEE \$	Tar.PIC \$	Estado	Items no Considerados	
Mayor	REPAIR	1000	MOTOR	3508	161-1592	224,455	138,931	22,446	161,377	Vigente	Block, Cigüeñal, Eje de Levas, Culata, Carter, ECM, Trabajos de Recuperacion de Block.
Mayor	REPAIR	3030	TRANSMISION		6Y-6965	153,004	34,759	15,300	50,059	Vigente	Housing, Shaft, Gears (Suns, Rings & Planetarios)
Mayor	REPAIR	3101	CONVERTIDOR (TC)		123-6259	75,361	21,220	7,536	28,756	Vigente	Housing, Cover, Body, Turbine, Impeller, Leva, Gears.
Mayor	REPAIR	3258	DIFERENCIAL		204-7007	53,703	21,948	5,370	27,318	Vigente	Housing
Mayor	REPAIR	4050	MANDOS FINALES		169-6898	71,322	22,019	7,132	29,151	Vigente	Hub, Housing, Carrier, Piston, Spindle, Gears (Sun, Ring & Planetary), Wheel, Trabajos de Reconstruccion del Wheel.

Modelo:		D10R		Serie:		3KR		Store		77 PIERINA	
Tipo	Trabajo	Descripción Comp		Nro Parte	US\$ Nuevo	Tar.Rep \$	FEE \$	Tar.PIC \$	Estado	Items no Considerados	
Mayor	REPAIR	1000	MOTOR	3412	115-7641	109,370	85,454	10,937	96,391	Vigente	Block, Cigüeñal, Eje de Levas, Culata, ECM, Carter, Trabajos de Recuperacion de Block.
Mayor	REPAIR	3030	TRANSMISION		110-9296	106,199	32,054	10,620	42,674	Vigente	Housings, Ejes Principales, Engranajes (solo Suns, Rings & Planetarios)
Mayor	REPAIR	3101	CONVERTIDOR (TC)		110-2769	36,729	9,221	3,673	12,894	Vigente	Housing, Cover, Impeller, Turbine, Leva, Body, Engranajes.
Mayor	REPAIR	4050	MANDOS FINALES		110-2656+ 106-0466	79,237	27,049	7,924	34,973	Vigente	Hub, Housing, Carrier, Piston, Spindle, Gears Planetary, Wheel, Trabajos de Reconstruccion del Wheel.

Modelo: 785C Serie: 5AZ

Store 77 PIERINA

Tipo	Trabajo	Descripción Comp	Nro Parte	US\$ Nuevo	Tar.Rep \$	FEE \$	Tar.PIC \$	Estado	Items no Considerados	
Mayor	REPAIR	1000 MOTOR	3516	147-0785	351,306	227,059	35,131	262,190	Vigente	Block, Cigüeñal, Eje de Levas, Culata, ECM, Carter, Trabajos de Recuperacion de Block.
Mayor	REPAIR	3030 TRANSMISION		3T-0034	143,949	37,915	14,395	52,310	Vigente	Housings, Shaft, Gear Suns, Rings & Planetarios
Mayor	REPAIR	3101 CONVERTIDOR (TC)		117-3357	51,033	21,436	5,103	26,539	Vigente	Housing, Cover, Body, Turbine, Impeller, Leva, Gears.
Mayor	REPAIR	4050 MANDOS FINALES		245-6468	171,822	59,034	17,182	76,216	Vigente	Hub, Housing, Carrier, Piston, Spindle, Gears Ring, Wheel, Trabajos de Reconstruccion del Wheel.
Mayor	REPAIR	4201 RUEDA + SUSP DELANTERA		6G9270*+ 8X9702+ 9T9073	147,060	28,700	14,706	43,406	Vigente	Hub, Housing, Carrier, Piston, Spindle, Gears Ring) Wheel. Trabajos de Reconstruccion del Wheel.



## Constancia de Trabajo

Por el presente documento, dejamos constancia que el señor *Alfredo Daniel Valverde Arellano*, trabaja en nuestra empresa desde el 01 de diciembre de 1997, desempeñándose actualmente como Mecánico del Proyecto Zublin - Yanacocha de la Gerencia Contratos Minería, percibiendo una remuneración mensual de S/. 1,235.00.

Extendemos la presente constancia a solicitud del interesado y para los fines que sean convenientes

Lima, 03 de marzo de 1999

Ferreyros S.A.  
CARLOS A. CORTES CORTES  
Jefe Departamento Adm. Personal



**ferreyros**

## CONSTANCIA DE TRABAJO

Por el presente documento, dejamos constancia que el señor **Alfredo Daniel Valverde Arellano** trabaja en nuestra empresa desde el 01 de agosto de 1997, desempeñándose como Asistente Técnico del Proyecto Marc Yanacocha de la Gerencia Contratos Minería, en la ciudad de Cajamarca.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que sean convenientes.

Lima, 31 de mayo de 2000

  
  
**CARLOS A. CORTÉS CARRILLO**  
Jefe Departamento Adm. Personal

CCC/cv.





## CONSTANCIA DE TRABAJO

Por el presente documento, dejamos constancia que el Sr. **VALVERDE ARELLANO, ALFREDO DANIEL**, trabaja en nuestra empresa desde 1 de diciembre del 1997, desempeñando el puesto de SUPERVISOR de la GERENCIA OPERACIONES MINERAS.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que sean convenientes.

Lima, 1 de agosto del 2003

CCC/av





Av. Industrial 675  
Lima 1 Perú

**Ferreyros**

T 511 336 7070  
F 511 336 8331

### CERTIFICADO DE TRABAJO

Dejamos constancia que el Señor **ALFREDO DANIEL VALVERDE ARELLANO** laboró en nuestra empresa en calidad de **EMPLEADO** desde el 01 de Diciembre de 1997 desempeñando labores de **Analista de Flota** en el Proyecto Yanacocha, así como que dejó de pertenecer a nuestra empresa el 15 de junio de 2007.

Cabe mencionar que durante el tiempo que el señor **VALVERDE ARELLANO** ha permanecido a nuestro servicio, desempeñó con eficiencia y puntualidad las labores encomendadas a su responsabilidad.

Se expide el presente documento a solicitud de el interesado.

Lima, 21 de Junio de 2007

  
CARLOS C. CORTES CARRILLO  
Jefe Departamento de Recursos Humanos

www.ferreyros.com.pe



## MARES PACIFICO S.A. AGENTES MARITIMOS

### CERTIFICADO DE TRABAJO

A quien corresponda :

Mediante el presente certificamos que el **SR. ALFREDO DANIEL VALVERDE ARELLANO** laboró en nuestra empresa desempeñando el cargo de Mecánico en Motores Diesel desde el 12/07/93 hasta el 30/05/96.

Durante su permanencia en la empresa demostró alto sentido de colaboración, eficiencia, puntualidad y responsabilidad, en las labores asignadas y desempeñadas.

Se extiende la presente a solicitud del interesado, para los fines que crea conveniente.

La Punta, 30 de Mayo de 1996

  
.....  
**MIGUEL HERMOZA JIMENEZ**  
**PRESIDENTE DEL DIRECTORIO**





## CERTIFICADO DE TRABAJO

Por el presente documento, certificamos que el Sr. Alfredo Daniel Valverde Arellano, ha laborado en nuestra Empresa desde el 20 de agosto de 2007 hasta el 30 de septiembre de 2019.

El último cargo que desempeñó el Sr. Valverde fue Planner de Mantenimiento I en el área de Mantenimiento Mina de la Mina Pierina.

Durante el tiempo que el Sr. Valverde ha estado en nuestra Compañía, ha demostrado honestidad, eficiencia y responsabilidad, integrándose en forma adecuada a los equipos de trabajo que le correspondió participar.

Se expide el presente certificado para los fines que estime conveniente.

Huaraz, 30 de septiembre de 2019

p. Minera Barrick Misquichilca S.A.  
Carlos Ivan Toma Morita  
Superintendente de Recursos Humanos



*Calidad & Excelencia Ltda.*  
COOPERATIVA DE TRABAJO Y FOMENTO DEL EMPLEO

A QUIEN CORRESPONDA

Dejamos constancia que el señor **ALFREDO VALVERDE ARELLANO** ha sido socio-trabajador de nuestra Cooperativa, y que desde el 01 de Agosto de 1997 hasta el 30 de Noviembre de 1997, estuvo destacado en las instalaciones de nuestra empresa cliente **FERREYROS S.A.** en donde se desempeñó como **MECANICO**.

Se expide el presente documento a pedido del interesado para los fines que estime convenientes.

*Calidad & Excelencia Ltda*  
COOPERATIVA DE TRABAJO Y FOMENTO DEL EMPLEO  
  
D/C: CARLOS LA SERNA G,  
GERENTE GENERAL

San Isidro, 30 de Diciembre de 1997.



## CONSTANCIA DE TRABAJO

El que suscribe, en representación de **MINING AND METALLURGICAL SERVICES EO SAC** con RUC N° 20551133436

### **CERTIFICA**

Que, Don: **VALVERDE ARELLANO ALFREDO DANIEL**, identificado con D.N.I. N° 08684152, ha laborado en esta empresa, desde el 12 de enero del 2015 hasta el 30 de noviembre del 2020, ocupando el cargo de **SUPERVISOR DE CONFIABILIDAD**.

El Sr. **VALVERDE ARELLANO ALFREDO DANIEL** durante el tiempo de su permanencia, ha demostrado responsabilidad, conocimiento, compromiso en el desarrollo de sus funciones y buena disciplina.

Se expide el presente documento, para los fines que el interesado crea conveniente.

Lima, 01 de diciembre del 2020

Atentamente,



  
**Enrris Oyola C.**  
GERENTE GENERAL



## CONSTANCIA DE TRABAJO

POR MEDIO DE LA PRESENTE, DEJAMOS CONSTANCIA QUE EL SR. ALFREDO DANIEL VALVERDE ARELLANO, CON L.E. 08684152, HA TRABAJADO EN NUESTRA EMPRESA DESDE EL 13 DE ENERO DE 1997 HASTA EL 25 DE JULIO DEL MISMO AÑO, DESEMPEÑANDO EL PUESTO DE JEFE DE MECANICOS EN NUESTRA MAESTRANZA DE MOTORES DIESEL.

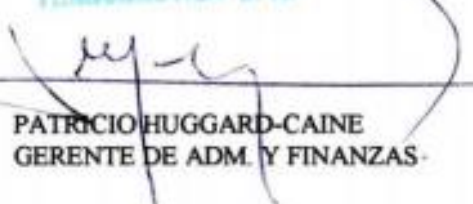
DURANTE SU PERMANENCIA EN NUESTRA EMPRESA DEMOSTRO SER UNA PERSONA CAPAZ Y RESPONSABLE, DEMOSTRANDO TAMBIEN IDONEIDAD PARA EL TRABAJO ADEMAS DE INICIATIVA.

EL SR. VALVERDE SE RETIRO DE NUESTRA EMPRESA POR PROPIA VOLUNTAD.

SE ESPIDE LA PRESENTE CONSTANCIA A SOLICITUD DEL INTERESADO PARA LOS FINES QUE ESTIME CONVENIENTE..

CALLAO, 25 DE NOVIEMBRE DE 1997

TRANSAUTICA S. A.

  
PATRICIO HUGGARD-CAINE  
GERENTE DE ADM. Y FINANZAS



### CONTRATO DE LOCACION DE SERVICIOS

Conste por el presente documento el Contrato de Locación de Servicios que celebran de una parte **SALVAMAR S.A.** a la que en adelante se denominará simplemente **EL COMITENTE**, con RUC No. 29688524 y domicilio en Las Camelias # 491 Oficina 203 - San Isidro, representado por **Sr. Bautista Lazo Vallenos** identificado con L.E. # 08516345 y de la otra parte el **Sr. Alfredo Valverde Arellano** identificado con L.E. 08684152 y domicilio en Jr. Bello Horizonte # 2091 - San Martín de Porres a quien en adelante se le denominará **EL PRESTADOR** en los términos y condiciones siguientes:

**PRIMERO:** Por el presente contrato de prestación de Servicios el Locador se obliga a prestar al Comitente el Servicio de Mecánica y Operador de las Máquinas Absorbentes existentes en el Puerto de Iquitos, para efectuar exclusivamente por esta única vez de la **M/N YACU PUMA** de propiedad de **NAPSA**, haciéndose presente que la Carga por descargar esta constituida por 1200 Toneladas de Maíz a Granel.

**SEGUNDO:** El tiempo de duración de los servicios del Locador, estarán determinados por la duración de los trabajos de la descarga a que se refiere el punto precedente; teniéndose en cuenta que el trabajo calculado por las partes se deberá efectuar un plazo de 6 días aproximadamente.

**TERCERO:** Como contraprestación por los servicios a efectuarse por el Locador el Comitente se obliga a pagar al Locador la suma de **S/ 1,000.00** de los cuales se adelantaran **S/ 500.00** y adicionalmente los gastos de ida y vuelta por avión Lima - Iquitos - Lima serán sufragados por la Empresa **NAPSA** dueña de la carga al igual que los viáticos y gastos de hotel o estadía en la Ciudad de Iquitos.

**CUARTO:** Se deja expresamente pactado que el Locador realizará sus servicios con entera libertad y de acuerdo a su oficio y a la calidad que requiere el servicio a prestarse.

Hecho en tres ejemplares de un mismo tenor y para un solo efecto que se firma en la ciudad de Lima el 09 de Enero de 1997.

**EL COMITENTE**  
**SALVAMAR S.A.**  
  
\_\_\_\_\_  
**SALVAMAR S.A.**

**EL PRESTADOR**  
  
\_\_\_\_\_  
**ALFREDO VALVERDE A.**  
**L.E. 08684152**