

# ARTÍCULOS



**BOLETÍN CIENTÍFICO TECNOLÓGICO**

**ACADEMIA POLITÉCNICA MILITAR**

**ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL REMANENTE  
DE UN VEHÍCULO ESPECIAL DE INGENIEROS  
DEL CUERPO MILITAR DEL TRABAJO**

**TCL. PABLO DE LA MAZA AGUAYO**





# ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL REMANENTE DE UN VEHÍCULO ESPECIAL DE INGENIEROS DEL CUERPO MILITAR DEL TRABAJO

TCL. Pablo de la Maza Aguayo<sup>1</sup>

**Resumen:** *El presente artículo tiene por objetivo presentar los resultados obtenidos de la aplicación de la “Metodología para determinar la vida útil remanente de un vehículo especial de Ingenieros del Cuerpo Militar del Trabajo” diseñada como parte del proceso de titulación como Ingeniero Politécnico Militar en Sistemas Logísticos, mención Mantenimiento. Esta buscó entregar antecedentes cuantitativos sobre la vida útil remanente del material que permitan ser un elemento más para la resolución del comandante de dicha unidad, al momento de resolver sobre la renovación y/o enajenación de sus activos.*

**Palabras claves:** *Cuerpo Militar del Trabajo, vida remanente, curva de Davies, Weibull, mantenimiento.*

**Abstract:** *The present article seeks to show the results obtained from the application of the “Methodology to define there main inglife of a Military Work Corps special vehicle” designed through the process of qualification as a Military Polytechnic Engineer in Logistic Systems, mention Maintenance. This paperwork was written to provide quantitative information about the material remaining useful life, which would be an additional element for the resolution of the Commander of this Unit, when deciding the renewal or disposal of its assets.*

**Keywords:** *Military Work Corps, remaining life, Davies curve, Weibull, maintenance.*

---

<sup>1</sup> Ingeniero Politécnico Militar en Sistemas Logísticos, mención Mantenimiento. Licenciado en Ciencias de la Ingeniería Politécnica Militar. Licenciado en Ciencias Militares. Licenciado en Gestión Ambiental.



## 1. INTRODUCCIÓN

El Cuerpo Militar del Trabajo (CMT), conforme lo establece el Decreto con Fuerza de Ley N° 200 de 1960 (Ministerio de Hacienda, 1960), tiene la misión, como organismo militar, de ejecutar trabajos que sean de beneficio público, los que se ejecutan bajo la dirección de los respectivos organismos técnicos de la administración pública, fiscal, semifiscal o autónoma y municipal. Para realizar lo anterior, el CMT periódicamente adquiere y enajena maquinaria, equipos y otros activos que son de su cargo como parte de su proceso de renovación del material, buscando mantener así sus índices de producción y eficiencia, de tal forma de poder dar cumplimiento a los diferentes contratos que mantiene con el Estado.

Para esto se diseñó una metodología que permitiese entregar antecedentes cuantitativos sobre la vida útil remanente del material al comandante del CMT, la que se aplicó en un activo de dicha unidad, se desagregó y se recolectaron sus datos de falla, a partir de lo cual se calcularon los tiempos en los que se encontró fuera de servicio y se definieron sus subsistemas o componentes afectados para hacer el respectivo análisis de criticidad, determinar el o los subsistemas representativos del sistema y determinar la etapa del ciclo de vida en la que se encuentra. Todo lo anterior para, finalmente, poder obtener los parámetros requeridos para determinar matemáticamente su vida remanente esperada.

## 2. DESARROLLO

### 2.1. Metodología empleada

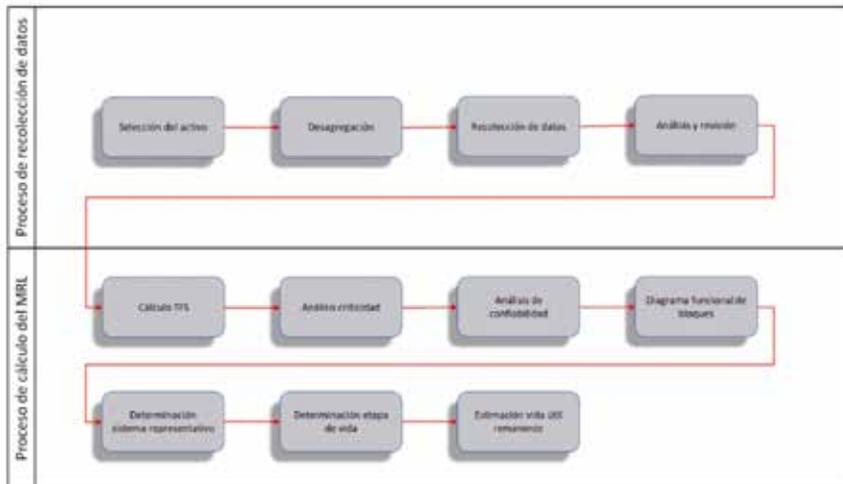
La metodología empleada se diseñó como un conjunto de procedimientos cuantitativos y secuenciales que permiten obtener, desde el análisis y revisión de los datos, los parámetros requeridos para la aplicación de modelos matemáticos para la obtención de la vida remanente esperada de un activo, desagregando esta en 11 pasos organizados, a su vez, en 2 fases, a saber, "Proceso de recolección de datos" y "Proceso de cálculo del MRL",<sup>2</sup> tal como se observa en el siguiente diagrama:

---

2 MRL: del Inglés "Mean remaininglife".



**Figura N° 1: “Diagrama metodología empleada”**



Fuente: elaboración propia.

## 2.2. Aplicación de la metodología

### 2.2.1. Selección del activo

En conjunto con el personal del departamento de maquinaria del Cuerpo Militar del Trabajo, se realizó la selección del activo a analizar, para lo que se consideró la totalidad del parque de maquinaria de dicha unidad y se la clasificó por tipo y marca, como asimismo por la cantidad y calidad de los datos asociados a las tareas y actividades de mantenimiento registrados. A partir de esto, se definió que el activo a analizar sería la excavadora JCB JS 200 LC del año 2006 de la Sub Jefatura Zonal del CMT de Puerto Montt, matrícula militar CI-82034 y con empleo actualmente en el campamento de Vodudahue.

### 2.2.2. Desagregación del activo en subsistemas

Con apoyo del manual de partes y piezas de la excavadora JCB JS 200, se desagregó esta conforme a los 11 subsistemas propuestos en la metodología (Generación y distribución eléctrica, Rodadura, Grupo motopropulsor, Hidráulica, Sistema de combustible, Unidad auxiliar de potencia, Indicación y registro, Acondicionamiento de aire, Equipamiento, Estructura y Control de conducción) y se agregaron los mantenimientos preventivos conservativos (MPC) con la finalidad de poder dejar reflejadas aquellas detenciones asociadas a dichas tareas de mantenimiento.



### 2.2.3. Recolección de datos de falla

Se viajó del 17 al 21 de julio de 2017 en comisión de servicio a la ciudad de Puerto Montt, con la finalidad de recolectar los datos de las fallas de la excavadora directamente desde del archivador de la misma y de las tarjetas de mantenimiento que se encuentran en el Departamento de Maquinaria de la Sub Jefatura Zonal de “Puerto Montt” y en el campamento de “Puelo” de dicha SJZ.

De acuerdo con los datos de las tareas y actividades de mantenimiento a las que fue sujeto el activo seleccionado, se contabilizaron un total de 168 detenciones, de las cuales 89 correspondían a fallas que dejaron el activo en condiciones de “No disponible”.

### 2.2.4. Análisis y revisión de los antecedentes

Consecuente con la desagregación realizada, se ordenaron los datos por subsistemas con la finalidad de contar con los antecedentes necesarios para determinar el tiempo fuera de servicio (TFS) de cada uno de estos, donde se define “Componente que falló” como aquel elemento que dejó al subsistema no disponible.

### 2.2.5. Cálculo del TFS

Se calculó el TFS conforme al procedimiento establecido en la metodología propuesta, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla N° 1: TFS de los subsistemas**

SUBSISTEMA	TFS [H]
Generación y distribución eléctrica	560
Rodadura	472
Grupo motopropulsor	16
Hidráulico	1.440
Sistema de combustible	136
Acondicionamiento de aire	32
Equipamiento	336
Estructura	120
TOTAL TFS	3.112

Fuente: elaboración propia.



### 3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

#### 3.1. Antecedentes de la excavadora

Tabla N° 2: Antecedentes de la excavadora

<b>SJZ</b>	Puerto Montt
<b>Activo</b>	Excavadora
<b>Marca</b>	JCB
<b>Modelo</b>	JS 200 LC Auto
<b>Matrícula</b>	CI-82034
<b>Inicio período</b>	07-11-2006
<b>Fin período</b>	27-10-2016
<b>Horas promedio trabajo diario</b>	8
<b>Días operación</b>	3642
<b>Horas de operación</b>	29136

Fuente: elaboración propia.

El “inicio período” corresponde a la fecha de la primera falla de la excavadora a las 517 horas de funcionamiento y el “fin período” corresponde a la fecha de la última falla registrada al momento de iniciar el análisis del activo.

#### 3.2. Cantidad de fallas y tiempo fuera de servicio

Tabla N° 3: Cantidad de fallas y TFS

SUBSISTEMA	CANTIDAD FALLAS [UU]	TOTAL TFS [H]
Hidráulico	22	1.440
Equipamiento	34	336
Generación y distribución eléctrica	7	560
Rodadura	10	472
Sistema de combustible	7	136
Estructura (chasis)	6	120
Grupo motopropulsor	2	16
Acondicionamiento de aire	1	32
TOTAL	89	3.112

Fuente: elaboración propia.



### 3.3. Cálculo de la frecuencia

Para el cálculo de la frecuencia de falla de cada subsistema analizado, se empleó la siguiente ecuación en *Excel*:

$$Frecuencia = \frac{Cantidad\ de\ fallas}{Horas\ de\ operación}$$

De esta forma, se obtuvieron las frecuencias de falla de cada subsistema considerando como “Horas de operación” las 29.136 horas totales disponibles en el período de análisis para operar.

**Tabla N° 4: Frecuencia fallas por subsistema**

SUBSISTEMA	FRECUENCIA (FALLAS/HORA)
Hidráulica	0,00076
Equipamiento	0,00117
Generación y distribución eléctrica	0,00024
Rodadura	0,00034
Sistema de combustible	0,00024
Estructura (chasis)	0,00021
Grupo motopropulsor	0,00007
Acondicionamiento de aire	0,00003
Promedio	0,00038

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Cálculo del tiempo medio de detención (MDT)<sup>3</sup>

Para el cálculo del MDT de cada subsistema analizado, se empleó la siguiente ecuación en *Excel*:

$$MDT = \frac{TFS}{Cantidad\ de\ fallas}$$

<sup>3</sup> MDT, del inglés “Mean down time”



**Tabla N° 5: MDT de cada subsistema**

SUBSISTEMA	MDT [H]
Hidráulica	65,46
Equipamiento	9,88
Generación y distribución eléctrica	80,00
Rodadura	47,20
Sistema de combustible	19,43
Estructura (chasis)	20,00
Grupo motopropulsor	8,00
Acondicionamiento de aire	32,00
Promedio	35,25

Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Cálculo de la indisponibilidad

Para el cálculo de la indisponibilidad de cada subsistema analizado, se empleó la siguiente ecuación en *Excel*.

$$\text{Indisponibilidad} = \text{Frecuencia} * \text{MDT}$$

**Tabla N° 6: Indisponibilidad de los subsistemas**

SUBSISTEMA	INDISPONIBILIDAD [%]
Hidráulica	4,94%
Equipamiento	1,15%
Generación y distribución eléctrica	1,92%
Rodadura	1,62%
Sistema de combustible	0,47%
Estructura (chasis)	0,41%
Grupo motopropulsor	0,05%
Acondicionamiento de aire	0,11%
Total	10,68%
Disponibilidad del activo	89,32%

Fuente: elaboración propia.



### 3.6. Gráfico de dispersión

Con los antecedentes anteriormente calculados, se realiza el respectivo gráfico de dispersión con los diferentes subsistemas analizados en función de su frecuencia (eje X) y su MDT individual (eje Y).



Figura N° 2: “Gráfico de dispersión para el análisis de criticidad”.

Fuente: elaboración propia.

## 4. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Del gráfico de dispersión se puede observar que los subsistemas “Rodadura”, “Generación y distribución eléctrica” e “Hidráulica” se encuentran por sobre el promedio de la mantenibilidad del activo; los subsistemas de “Equipamiento” e “Hidráulica”, por su parte, se encuentran por sobre el promedio de confiabilidad del activo; los sistemas de “Rodadura”, “Generación y distribución eléctrica” e “Hidráulica” se encuentran por sobre el promedio de la indisponibilidad del activo: y, finalmente, los subsistemas de “estructura”, “Grupo motopropulsor”, “Sistema de combustible” y “Acondicionamiento de aire” se encuentran por debajo de los promedios de mantenibilidad, confiabilidad e iso-indisponibilidad del activo.

Se concluye así que son subsistemas críticos de la excavadora CI-82034 los subsistemas de “Rodadura”, “Generación y distribución eléctrica” e “Hidráulica”, por encontrarse con sus valores por sobre dos o más criterios del referido análisis.



## 5. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD SUBSISTEMAS CRÍTICOS

### 5.1. Gráfico de tiempos de fallas de los subsistemas

Para graficar los tiempos de fallas del subsistema, se emplean los valores del horómetro a la falla y el número de falla, como se ejemplifica a continuación:



Figura N° 3: "Ejemplo tiempos de falla del subsistema".

Fuente: elaboración propia.

### 5.2. Segmentación de fallas $F(i)\%$

Se emplea la función de probabilidad acumulada de fallas con el método de rango de la mediana (Pascual, J., 2005), si la población es pequeña:

$$F(i) = \frac{i - 0,3}{N + 0,4} [\%]$$

Donde:

$i$ : número de falla

$N$ : cantidad total de fallas

O, con la función de distribución por el método de rangos medios (Pascual, J., 2005):

$$F(i) = \frac{i}{N + 1} [\%]$$



### 5.3. Obtención parámetros confiabilidad

Para obtener los parámetros requeridos para calcular la confiabilidad del sistema y subsistemas, se utiliza el método gráfico de *Weibull* en un gráfico de dispersión, cuyos ejes X e Y son obtenidos desde la ecuación de la probabilidad acumulada de fallas para *Weibull*, como sigue:

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

Donde:

$F$  : probabilidad acumulada de falla

$(t)$  : tiempo

$R$  : confiabilidad

Resolviendo:

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

Donde:

$\beta$  (beta) es el parámetro de forma, refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución.

$\eta$  (eta) es el parámetro de escala, su valor se emplea para fijar la vida útil del producto o del sistema

$\gamma$  (gamma) es parámetro de posición, indica el lapso en el que la probabilidad de fallar es cero.

Como ya se calculó  $t-t(0)$ , entonces  $\gamma = 0$

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

Ordenando:

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



Despejando la exponencial:

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

Comparando la ecuación anterior con una ecuación de la recta,

$$Y = aX - b$$

Se puede concluir que:

$$Y = \ln \ln \left( \frac{1}{1 - F(t)} \right)$$

$$X = \ln t$$

$$a = \beta$$

$$b = \beta \ln \eta$$

Por lo que  $\eta$  se obtiene de la siguiente forma:

$$\eta = e^{-\left(\frac{b}{\beta}\right)}$$

Concluido lo anterior, con la finalidad de obtener los parámetros requeridos para calcular la confiabilidad del sistema o subsistema, se hace mediante un gráfico de dispersión con línea de tendencia, de la cual se extraerán los valores de la ecuación de dicha recta.

Eje X en *Excel*:

$$= LN(Tiempo falla (t))$$

Eje Y en *Excel*:

$$= LN(LN(1/(1 - F(i)\%)))$$



Figura N° 4: “Ejemplo gráfico de dispersión con línea de tendencia”.  
Fuente: elaboración propia.

Así, se obtuvieron los siguientes parámetros y confiabilidades de los subsistemas críticos del activo:

**Tabla N° 7: Parámetros subsistema hidráulico**

$\beta$	b	$\eta$	MTBF [h]
2,08	-12,33	375,09	332,24

Fuente: elaboración propia.



Figura N° 5: “Confiabilidad subsistema hidráulico”.  
Fuente: elaboración propia.



**Tabla N° 8: Parámetros subsistema GyDE**

$\beta$	B	$\eta$	MTBF [H]
0,59	-4,02	896,25	1372,69

Fuente: elaboración propia.

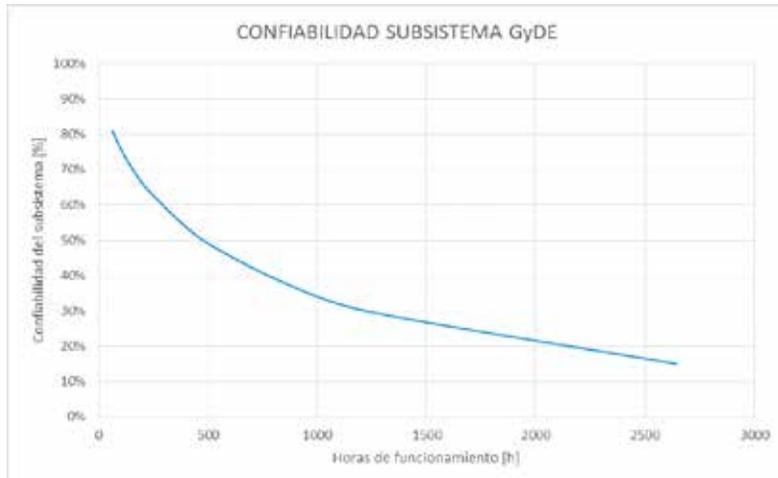


Figura N° 6: “Confiabilidad subsistema GyDE”.

Fuente: elaboración propia.

**Tabla N° 9: Parámetros subsistema rodadura**

$\beta$	b	$\eta$	MTBF [H]
1,01	-6,91	950,48	947,60

Fuente: elaboración propia.



Figura N° 7: “Confiabilidad subsistema rodadura”.

Fuente: elaboración propia.



## 5.4. Diagrama funcional de bloques

El siguiente diagrama representa el funcionamiento de los subsistemas determinados como “críticos” dentro del activo principal.

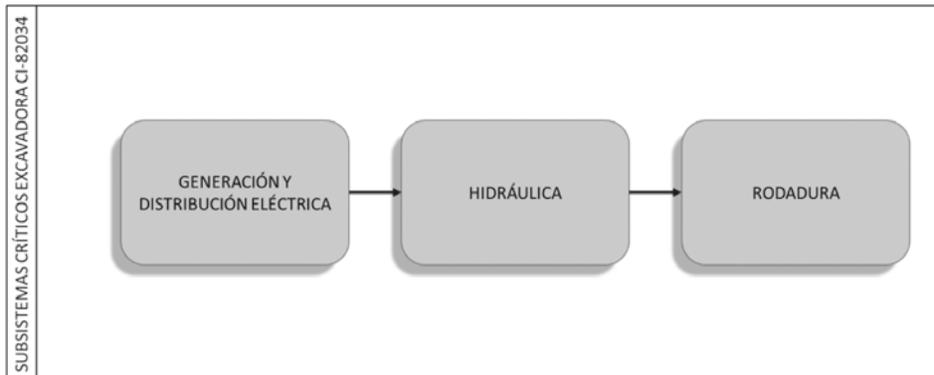


Figura N° 8: “Diagrama funcional de bloques de los subsistemas críticos”.

Fuente: elaboración propia.

El funcionamiento de los subsistemas se encuentra configurado como un sistema en serie, debido a que de fallar uno de los subsistemas, el activo en su totalidad queda no disponible.

## 5.5. Determinación sistema representativo

Para definir el sistema representativo del activo, se calcularon de forma inicial las confiabilidades de los subsistemas críticos determinados anteriormente, proyectados desde el  $t(0)$  al  $t(2.000)$ , momento en el cual la confiabilidades de los subsistemas GyDE y rodadura presentan una disminución de su confiabilidad menor al 0,01%, comportándose de forma tangencial a la horizontal del gráfico.

Una vez realizado lo anterior y, considerando que dichos subsistemas se encuentran funcionando en serie, se multiplican los resultados de las confiabilidades individuales de cada subsistema en cada período de tiempo  $t$  obteniendo así la confiabilidad del activo conforme lo siguiente:

$$Rs_{(t)} = Rh_{(t)} * Re_{(t)} * Rr_{(t)}$$



Donde:

$Rs_{(t)}$  : confiabilidad del sistema

$Rh_{(t)}$  : confiabilidad subsistema hidráulico

$Re_{(t)}$  : confiabilidad subsistema GyDE

$Rr_{(t)}$  : confiabilidad subsistema rodadura

Contando con la confiabilidad proyectada del activo desde  $t(0)$  a  $t(2000)$ , se comparan gráficamente las confiabilidades proyectadas de los subsistemas y del activo.

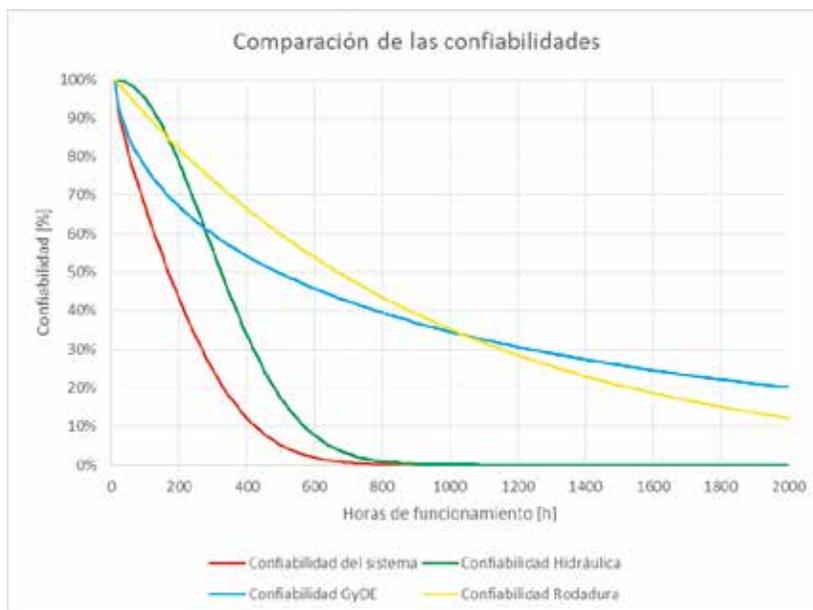


Figura N° 9: "Comparación de las confiabilidades".

Fuente: elaboración propia.

Si bien se puede inferir sobre la base de la representación gráfica de la comparación de las curvas de la confiabilidad proyectada hasta el  $t(2000)$ , que el subsistema representativo del activo es el subsistema "Hidráulico", igualmente se emplearon los otros procedimientos propuestos en la metodología.



## 5.6. Análisis de distribución

Para el análisis de distribución de las confiabilidades del sistema y subsistemas críticos, se crean archivos de texto plano con la información de las confiabilidades proyectadas, denominados “Test R hidráulico.txt”, “Test R GyDE.txt”, “Test R rodadura.txt” y “Test R sistema.txt”.

Dichos archivos son ingresados al software de simulación “Arena” y, haciendo uso de la herramienta de “Análisis de entradas”, se obtiene el respectivo histograma con los datos y la distribución de las curvas.

Tanto la confiabilidad proyectada del sistema como la del subsistema hidráulico presentan una curva con distribución *Weibull*; el subsistema de generación y distribución eléctrica, en tanto, presentan una distribución *Long normal*; y el subsistema rodadura presenta una distribución exponencial.

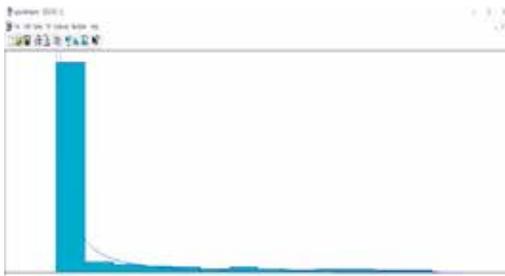


Figura N° 10: “Distribución confiabilidad del sistema”.

Fuente: elaboración propia.

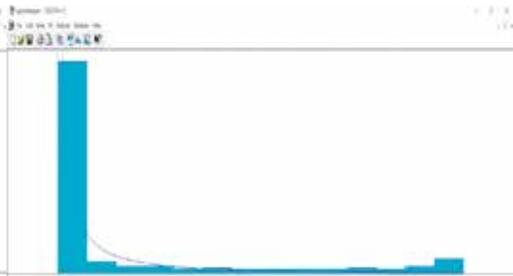


Figura N° 11: “Distribución confiabilidad subsistema hidráulico”.

Fuente: elaboración propia.

Habiéndose comparado las distribuciones de las confiabilidades proyectadas de los subsistemas con la del sistema, se concluye que el subsistema hidráulico es el único subsistema cuya distribución es del mismo tipo que la del activo, por lo que se define como “Subsistema representativo”.

## 5.7. Mediante el uso de la mediana

Se emplean los datos de las confiabilidades proyectadas desde  $t(0)$  a  $t(2000)$  del sistema y subsistemas críticos y se obtienen los respectivos “ $\Delta$  Hidráulica $_{(t)}$ ”, “ $\Delta$  GyDE $_{(t)}$ ” y “ $\Delta$  Rodadura $_{(t)}$ ” conforme lo siguiente:



$$\Delta \text{Hidráulica}_{(t)} = Rh_{(t)} - Rs_{(t)}$$

$$\Delta \text{GyDE}_{(t)} = Re_{(t)} - Rs_{(t)}$$

$$\Delta \text{Rodadura}_{(t)} = Rr_{(t)} - Rs_{(t)}$$

Donde:

$Rh_{(t)}$  : confiabilidad subsistema hidráulico

$Rs_{(t)}$  : confiabilidad del sistema

$Re_{(t)}$  : confiabilidad subsistema GyDE

$Rr_{(t)}$  : confiabilidad subsistema rodadura

De los cálculos anteriores, se obtienen las medianas de los “ $\Delta \text{Hidráulica}_{(t)}$ ”, “ $\Delta \text{GyDE}_{(t)}$ ” y “ $\Delta \text{Rodadura}_{(t)}$ ” desde el  $t(0)$  al  $t(2000)$  conforme lo siguiente:

**Tabla N° 10: Cálculo diferencia de medianas**

	$\Delta \text{Hidráulica}_{(t)}$	$\Delta \text{GyDE}_{(t)}$	$\Delta \text{Rodadura}_{(t)}$
Mediana [h]	0,03%	29,76%	30,41%

Fuente: elaboración propia.

Así, de la tabla anterior se puede concluir que la menor mediana de las diferencias encontradas entre los subsistemas críticos y el activo, es la mediana del subsistema hidráulico, por lo que define como el subsistema representativo del activo.

## 5.8. Determinación etapa de vida del activo

Habiéndose determinado que el subsistema representativo del activo es el “Subsistema Hidráulico”, se puede determinar que su indicador de confiabilidad Beta se encuentra en la etapa III de la fase III de la “Curva de Davies”, donde estas fallas son producto del desgaste de los elementos, su envejecimiento y consiguiente pérdida de funcionalidad.

**Tabla N° 11: Parámetros subsistema hidráulico**

$\beta$	b	$\eta$	MTBF [H]
2,08	-12,33	375,10	332,25

Fuente: elaboración propia.

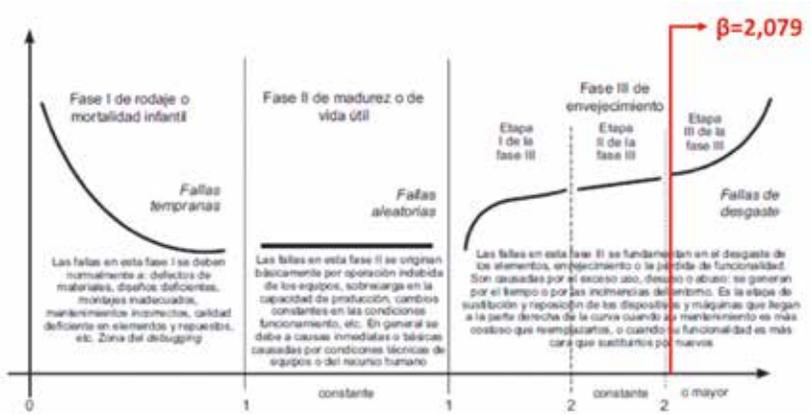


Figura N° 12: "Etapa de vida del activo".

Fuente: MORA, Luis. *Mantenimiento, planeación y control*.

México: Alfaomega, 2009.

## 5.9. Estimación de la vida útil remanente

Considerando que mediante el software Arena se determinó que la distribución de la confiabilidad proyectada del subsistema representativo corresponde a una distribución Weibull, se aplica la fórmula del MRL correspondiente a dicha distribución, donde:

Si  $f(t)$  corresponde a una distribución Weibull,

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

Entonces el MRL será:

$$MRL(t_0) = \int_0^{\infty} t * \frac{\frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{t+t_0}{\eta}\right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t+t_0}{\eta}\right)^\beta}}{e^{-\left(\frac{t_0}{\eta}\right)^\beta}} dt$$

### Tabla N° 12: Recorte tabla del cálculo del MRL

(Líneas segmentadas indican un salto intencional de los datos para su representación)



Estimación de la vida útil remanente de un vehículo especial de ingenieros del cuerpo militar...

t [h]	MRL [h]
10	322,4188577
50	286,7989381
100	249,7641308
2000	28,91899443
2050	0
2100	0

Fuente: elaboración propia.

Obteniéndose una vida útil remanente de 2.000 horas desde la fecha de la última falla registrada.

Así, el sistema tiene una vida útil proyectada de 12.225 horas antes de tener que realizar un mantenimiento recuperativo mayor, MRI u *overhaul*, de las que ya ha consumido 10.225 horas.

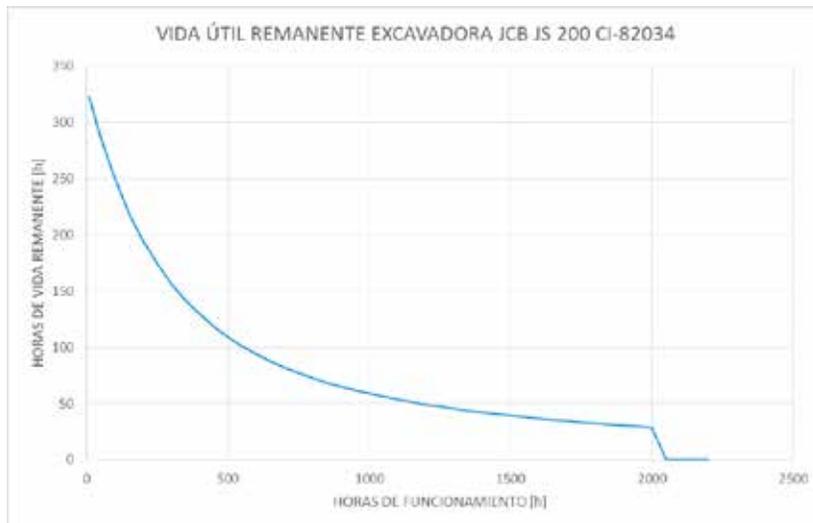


Figura N° 13: "Vida útil remanente subsistema hidráulico".

Fuente: elaboración propia.



Figura N° 14: "Vida útil consumida v/s remanente".

Fuente: elaboración propia.

## 6. CONCLUSIONES

En el caso particular del activo estudiado, se analizaron las fallas funcionales de 10 años, desde su puesta en servicio hasta noviembre de 2016, es decir, 29.136 horas disponibles para funcionar, presentando solo 3.112 horas fuera de servicio, lo que representa una disponibilidad superior al 89%, con solo 89 fallas en el tiempo estudiado.

El subsistema hidráulico (representativo del sistema), presenta su parámetro beta en  $\beta=2,07$ , por lo que se encuentra en la Fase III de envejecimiento de la *curva de Davies*, sus fallas se deben al desgaste de sus componentes, su envejecimiento y la consiguiente pérdida de funcionalidad y su tasa de falla irá incrementándose paulatinamente en el tiempo hasta hacer excesivamente costoso su mantenimiento.

Considerando lo anterior, es que, en vista de que a noviembre de 2016 le quedaban 2.000 horas de vida remanente y su empleo promedio anual de aproximadamente 1.000 horas, es que a finales del año 2018 esta máquina debiese quedar no operacional y sin vida remanente proyectada, por lo que se recomienda analizar y proyectar en el tiempo los costos asociados a la pérdida de funcionalidad del subsistema hidráulico.

Como en la etapa III de la fase III de la *curva de Davies*, lugar donde actualmente se encuentra el indicador de confiabilidad beta, la tasa de falla comienza a aumentar y las fallas que aparecen son, por lo general, conocidas, las estrategias de mantenimiento debiesen ir en la línea de acciones preventivas planeadas (proactivas), por lo que la ingeniería de mantenimiento debe tener un importante rol en el mantenimiento del sistema.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] DE LA MAZA AGUAYO, Pablo. "Metodología para determinar la vida útil remanente de un vehículo especial de ingenieros del Cuerpo Militar del Trabajo". Director: teniente coronel Rodrigo Guajardo Santana. [Memoria para la obtención de Título]. Academia Politécnica Militar, Santiago de Chile, 2017.
- [2] MORA GUTIÉRREZ, Luis (2009). Mantenimiento, planeación y control. Ciudad de México: Alfaomega.
- [3] CHILE. MINISTERIO DE HACIENDA. Decreto con Fuerza de Ley 200. Reestructuración del Servicio Militar del Trabajo. Santiago de Chile: Biblioteca del Congreso Nacional, 2 de abril de 1960.
- [4] PASCUAL, Rodrigo (2005). *El arte de mantener*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad de Chile.