

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y DE ENERGIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA



**CONFIABILIDAD DE UNA FLOTA DE CARGADORES  
DE BAJO PERFIL APLICANDO EL MODELO  
ESTOCÁSTICO DE CROW AMSAA - UNIDAD MINERA  
ARCATA, AREQUIPA**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO.

ADOLFO ARMANDO CASILLA VARGAS

Callao, Noviembre 2018

PERU

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el auditorio Ausberto Rojas Saldaña de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, sito Av. Juan Pablo II N° 306, Bellavista - Callao, siendo las ..... del día miércoles 12 de diciembre de 2018, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador del I Ciclo de Tesis - Titulación por la modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis - de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao.

- Dr. Ing. Oscar Teodoro Tacza Casallo : Presidente
- Dr. Ing. Napoleón Jáuregui Nongrados : Secretario
- Dr. Ing. Pablo Mamani Calla : Vocal
- Mg. Ing. Yasser Hipólito Yarin Achachagua : Suplente

Designados por Resolución de Consejo de Facultad N° 155-2018-CF-FIME de fecha 24 de noviembre de 2018 y Resolución de Consejo de Facultad N° 162-2018-D-FIME a fin de proceder al acto de evaluación de la Tesis titulada: **"CONFIABILIDAD DE UNA FLOTA DE CARGADORES DE BAJO PERFIL APLICANDO EL MODELO ESTOCÁSTICO DE CROW AMSAA - UNIDAD MINERA ARCATA, AREQUIPA"**, presentada por el señor Bachiller **CASILLA VARGAS ADOLFO ARMANDO**.

Contando con la presencia del Supervisor General, Decano de la Facultad de Ciencias Administrativas Dr. Hernán Ávila Morales, Supervisor de la FIME, Dr. José Hugo Tezén Campos y el representante de la Comisión de Grados y Títulos Ing. Juan Adolfo Bravo Felix.

A continuación, se dio inicio a la sustentación de la Tesis de acuerdo a lo normado en los numerales del 10.1 al 10.4 del capítulo X de la Directiva para la Titulación Profesional por la modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis en la Universidad Nacional del Callao, aprobada por Resolución Rectoral N° 754-2013-R del 21 de agosto de 2013, modificada por la Resolución Rectoral N° 777-2013-R de fecha 29 de agosto de 2013 y la Resolución Rectoral N° 281-2014-R del 14 de abril de 2014 con la que se modifica el Art. 4.5 del capítulo IV de la organización del Ciclo de Tesis, así como lo normado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 245-2018-CU de fecha 30 de octubre de 2018.

Culminado el acto de sustentación, los señores miembros del Jurado Evaluador procedieron a formular las preguntas al indicado bachiller.


Luego de un cuarto de intermedio, para la deliberación en privado del Jurado respecto a la evaluación de la Tesis, se **ACORDÓ: CALIFICAR** la tesis sustentada por el señor bachiller **CASILLA VARGAS ADOLFO ARMANDO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico por la modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, según la puntuación cuantitativa y cualitativa que a continuación se indica:

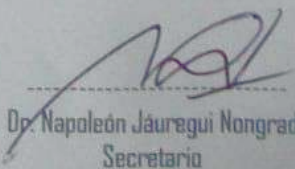
CALIFICACIÓN CUANTITATIVA	CALIFICACIÓN CUALITATIVA
16	MUY BUENO

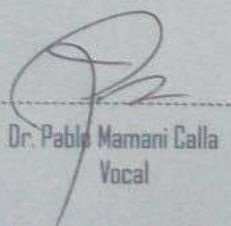
Finalmente, se procedió a leer en público el acta de sustentación.


Siendo las ..... del día miércoles doce de diciembre del dos mil dieciocho, el señor Presidente del Jurado Evaluador dio por concluido el acto de sustentación de Tesis.

En señal de conformidad con lo actuado, se levanta la presente acta.

  
.....  
Dr. Oscar Teodoro Tacza Casallo  
Presidente

  
.....  
Dr. Napoleón Jáuregui Nongrados  
Secretario

  
.....  
Dr. Pablo Mamani Calla  
Vocal

  
.....  
Mg. Yasser Hipólito Yarin Achachagua  
Suplente

## **DEDICATORIA**

A mi padre Pedro Casilla Ticona y a mi madre Evelia Vargas Gomez, que con su ejemplo de esfuerzo y perseverancia me motivan a seguir luchando para alcanzar mis sueños, a mi hermana Carina por sus palabras y sus abrazos que son fuente de energía en este camino del éxito y a Dios todo poderoso por cuidar de mi familia, de mis hermanas, de mis sueños y de mí.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero brindar mi sincero agradecimiento a mis amigos, que con sus palabras y consejos me motivaron a concluir esta tesis.

Agradecer al área de mantenimiento de la unidad minera Arcata que me apoyaron con los permisos y palabras de aliento para que pueda concluir con esta tesis.

Y agradecer infinitamente a todas aquellas personas que me dieron la mano y el aliento para poder concluir con esta meta.

## INDICE

RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
INTRODUCCION .....	9
CAPITULO I .....	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	10
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	10
1.2.1 Problema General .....	10
1.2.2 Problemas Específicos .....	10
1.3 OBJETIVOS .....	11
1.3.1 Objetivo General .....	11
1.3.2 Objetivos Específicos .....	11
1.4 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	11
1.4.1 Delimitación teórica .....	11
1.4.2 Delimitación económica .....	12
1.2.1 Delimitación espacial .....	12
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	12
CAPITULO II .....	15
MARCO TEORICO .....	15
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	15
2.2 BASES TEÓRICAS .....	19
2.2.1 Modelo Estocástico de Crow AMSAA .....	19
2.2.2 Confiabilidad .....	20
2.2.3 Cargadores de bajo perfil .....	21
2.3 MARCO CONCEPTUAL .....	27
2.3.1 Análisis de distribución de vida .....	27
2.3.2 Análisis de procesos estocásticos .....	28
2.3.3 Procesos de conteo .....	28
2.3.4 Tipo de proceso de conteo .....	29
2.3.5 Test de tendencias .....	32
2.3.6 Distribución estadística de Weibull .....	35
2.3.7 Modelo Exponencial .....	36
2.3.8 Distribución estadística de Crow AMSAA .....	37
2.3.9 Modelo Log Lineal .....	38
2.3.10 Modelo de Dhillon .....	39

2.3.11	Diagrama de Jack knife o de dispersión de tiempos .....	39
2.3.12	Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) .....	40
2.3.13	Indicadores de Mantenimiento .....	42
2.4	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	44
CAPITULO III .....		48
VARIABLES E HIPOTESIS .....		48
3.1	IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES .....	48
3.2	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	49
3.3	HIPÓTESIS GENERAL Y ESPECÍFICAS .....	49
CAPITULO IV.....		51
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION .....		51
4.1	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
4.1.1	Parámetros de diseño .....	51
4.1.2	Etapas del diseño .....	52
4.2	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	65
4.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN DOCUMENTAL.....	65
4.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO .....	67
4.5	ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS .....	67
CAPITULO V.....		132
RESULTADOS .....		132
5.1	EVALUACIÓN DE LA CRITICIDAD DE LAS FLOTAS DE SCOOPS.....	132
5.2	ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE SISTEMAS Y COMPONENTE DE LA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD3.....	132
5.3	ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS .....	133
5.4	EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD .....	133
CAPITULO VI.....		135
DISCUSION DE RESULTADOS.....		135
6.1	CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS .....	135
6.1.1	Contrastación de Hipótesis General.....	135
6.1.2	Contrastación de Hipótesis Especificas.....	135
6.2	CONTRASTACION DE LOS RESULTADOS CON ESTUDIOS SIMILARES .....	136
6.3	RESPONSABILIDAD ETICA.....	137
CONCLUSIONES.....		138
RECOMENDACIONES.....		139
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....		140
ANEXOS.....		144

<b>Anexo 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA .....</b>	<b>144</b>
<b>Anexo 2. INSTRUMENTOS VALIDADOS .....</b>	<b>145</b>
<b>Anexo 3. BASE DE DATOS.....</b>	<b>147</b>
<b>Anexo 3.1 .....</b>	<b>147</b>
<b>Anexo 3.2 .....</b>	<b>150</b>

## TABLA DE CONTENIDO DE TABLAS

ITEM	Nº DE TABLA	DESCRIPCIÓN DE LA TABLA	PÁGINA
1	2.1	CUADRO RESUMEN DE PROCESOS DE CONTEO	32
2	2.2	TABLA DE DECISIÓN AMEF	42
3	4.1	TABLA DE FALLAS VS TIEMPOS HASTA LA FALLA	57
4	4.2	INDICADORES POR SISTEMAS PARA EL CÁLCULO DEL DIAGRAMA DE JACK KNIFE	59
5	4.3	TABLA DE DECISIÓN AMEF	61
6	4.4	ESCALA DE DETECCIÓN SAE AMEF	62
7	4.5	ESCALA DE SEVERIDAD SAE AMEF	62
8	4.6	ESCALA DE OCURRENCIA SAE AMEF	63
9	4.7	RELACIÓN DE CARGADORES DE BAJO PERFIL DE 0.75 YD3	65
10	4.8	INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	66
11	4.9	RELACION DE SCOOPS DE 0.75 YD3, 1.5 YD3 Y 4YD3	67
12	4.10.	TEST DE TENDENCIA DE LAPLACE PARA UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD3	69
13	4.11	TEST DE TENDENCIA DE LAPLACE PARA UNA FLOTA DE SCOOPS DE 1.5 YD3	70
14	4.12	TEST DE TENDENCIA DE LAPLACE PARA UNA FLOTA DE SCOOPS DE 4 YD3	70
15	4.13	INFORME DE RESULTADOS PARA UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD3	71
16	4.14	INFORME DE RESULTADOS PARA UNA FLOTA DE SCOOPS DE 1.5 YD3	71
17	4.15	INFORME DE RESULTADOS PARA UNA FLOTA DE SCOOPS DE 4 YD3	72
18	4.16	LAMBDA $\lambda$ Y BETA $\beta$ DE LAS FLOTAS DE SCOOPS DE 0.75 YD3, 1.5 YD3 Y 4 YD3.	73
19	4.17	CÁLCULO DEL MTBF (TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS)	73
20	4.18	CÁLCULO DEL $W(t)$ (NÚMERO ESPERADO DE FALLAS)	74
21	4.19	BASE DE DATOS PARA EL DIAGRAMA DE JACK KNIFE DE UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD3	77
22	4.20.	BASE DE DATOS PARA EL DIAGRAMA DE JACK KNIFE DEL SISTEMA MOTOR DE UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD3	78
23	4.21	BASE DE DATOS PARA EL DIAGRAMA DE JACK KNIFE DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD3	80
24	4.22	SISTEMAS Y COMPONENTES CRÍTICOS	81



25	4.23	ANALISIS DE LOS MODOS, EFECTOS Y CAUSAS	83
26	4.24	TABLA DE NIVEL DE RIESGO (NPR)	88
27	4.25	ANALISIS DE LOS INDICES DE SEVERIDAD, OCURRENCIA, DETECTABILIDAD Y NPR	89
28	4.26	ACCIONES RECOMENDADAS POR CADA CAUSA RAIZ	95
29	4.27	ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS AMEF	101
30	4.28	TEST DE TENDENCIA DE LAPLACE PARA UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD3	125
31	4.29	INFORME DE RESULTADOS PARA UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD3	126
32	4.30.	CALCULO DEL MTBF (TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS)	126
33	4.31	$\beta$ (15,000 HRS) VS $\beta$ (10,000 HRS)	127
34	4.32	MTBF (15,000 HRS) VS MTBF (10,000 HRS)	127
35	4.33	W(t) (15,000 HRS) VS W(t) (10,000 HRS)	129
36	4.34	R(t) (15,000 HRS) VS R(t) (10,000 HRS)	130
37	5.1	LAMBDA $\lambda$ Y BETA $\beta$ DE LAS FLOTAS DE SCOOPS DE 0.75 YD3, 1.5 YD3 Y 4 YD3.	132
38	5.2	CALCULO DEL MTBF (TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS)	132
39	5.3	SISTEMAS Y COMPONENTES CRITICOS	133
40	5.4	CALCULO DEL MTBF (TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS)	133
41	5.5	R(t) (15,000 HRS) VS R(t) (10,000 HRS)	134

#### TABLA DE CONTENIDO DE FIGURAS

ITEM	Nº DE FIGURA	DESCRIPCIÓN DE LA TABLA	PÁGINA
1	2.1	SCOOP LH201, MARCA SANDVIK	22
2	2.2	SISTEMA CHASIS	22
3	2.3	SISTEMA DE TREN DE FUERZA	23
4	2.4	SISTEMA MOTOR DIESEL	24
5	2.5	SISTEMA HIDRAULICO	25
6	2.6	SISTEMA ELECTRICO	26
7	4.1	ETAPAS DEL DISEÑO	52
8	4.2	PROCEDIMIENTO PRACTICO PARA LA SELECCIÓN DE MODELOS ESTADISTICOS BASADOS EN LA EVALUACION DE TENDENCIAS DE DATOS DE MANTENIMIENTO	56
9	4.3	TIEMPO HASTA LA FALLA VS TIEMPO DE RESTAURACION	57

### TABLA DE CONTENIDO DE GRAFICOS

ITEM	Nº DE GRÁFICA	DESCRIPCIÓN DE LA TABLA	PÁGINA
1	2.1	TASA DE FALLAS VS TIEMPO PARA UN PROCESO DE RENOVACIÓN	29
2	2.2	TASA DE FALLAS VS TIEMPO PARA NHHP – REPARACIONES MÍNIMAS	31
3	2.3	SISTEMA TRISTE	31
4	2.4	SISTEMA FELIZ	31
5	2.5	TASA DE FALLAS VS TIEMPO PARA REPARACIONES IMPERFECTAS	32
6	2.6	DIAGRAMA DE NELSON AALEN PARA EL HISTORIAL DE FALLAS DE UN MOTOR SUBMARIN	33
7	2.7	TEST DE TENDENCIA DE LAPLACE	35
8	2.8	CURVA DE LA BAÑERA	36
9	2.9	DIAGRAMA DE LA BAÑERA DE DHILON PARA EL HISTORIAL DE FALLAS UNA FLOTA DE CAMIONES	39
10	2.10.	DIAGRAMA DE JACK KNIFE	40
11	4.1	DIAGRAMA DE JACK KNIFE	59
12	4.2	PROYECCIÓN DE NUMERO DE FALLAS ANTES DE REALIZAR MEJORAS VS DESPUES DE REALIZAR MEJORAS	64
13	4.3	PROYECCIÓN DE LA CONFIABILIDAD ANTES DE REALIZAR MEJORAS VS DESPUES DE REALIZAR MEJORAS	64
14	4.4	PROYECCION DEL MTBF PARA 10,000 HRS DE OPERACIÓN	74
15	4.5	PROYECCION DEL $W(t)$ PARA 10,000 HRS DE OPERACIÓN	75
16	4.6	DIAGRAMA JACK KNIFE DE UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD <sup>3</sup>	77
17	4.7	DIAGRAMA DE JACK KNIFE DEL SISTEMA MOTOR DE UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD <sup>3</sup>	79
18	4.8	DIAGRAMA DE JACK KNIFE DEL SISTEMA ELECTRICO DE UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD <sup>3</sup>	80
19	4.9	MTBF ANTES Y DESPUES DE LAS MEJORAS	128
20	4.10.	$W(t)$ ANTES Y DESPUES DE LAS MEJORAS	129
21	4.11	$R(t)$ ANTES Y DESPUES DE LAS MEJORAS	131

## RESUMEN

En la presente tesis se realizó el estudio de la mejora de la confiabilidad de una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup> usando el modelo estocástico de Crow Amsaa, ya que permite analizar y modelar la confiabilidad de sistemas reparables que son sometidos a procesos de reparaciones mínimas, y de esa forma poder tomar las mejores decisiones en post de mejorar la confiabilidad de la flota.

Para mejorar la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil se tuvo que analizar cuál de los sistemas que componen este cargador de bajo perfil le causa mayores paradas correctivas y por ende una baja confiabilidad, es así que se evaluó cuáles eran los sistemas más críticos con apoyo del Diagrama de Jack Knife, el cual es un diagrama que analiza la criticidad de cualquier equipo en base a la tasa de fallas, tiempo medio para reparar y la indisponibilidad. Posterior a eso se usó el Análisis de modos y efectos de fallas para poder evaluar el nivel de riesgo de las posibles causas que originen la falla de los sistemas críticos, y así poder proponer acciones que minimicen, controlen o eliminen el nivel de riesgo de cada posible causa de falla.

Luego de un seguimiento de la implementación de las acciones de mejora, se realizó nuevamente un análisis de la confiabilidad de la flota haciendo uso del modelo estocástico de Crow Amsaa, teniendo como resultado que la confiabilidad mejoro en el tiempo. Esto nos hizo concluir que el uso apropiado del modelo estocástico de Crow Amsaa mejora la confiabilidad de un sistema reparable ya que nos da una visión más exacta de la confiabilidad de un sistema reparable y así poder tomar decisiones antes del colapso de un sistema.

Palabras Clave: Confiabilidad, modelo estocástico, sistemas reparables, diagrama de Jack Knife, modos y efectos de fallas.

## **ABSTRACT**

In the current thesis, performed the reliability improvement study of a loaders fleet of low profile of 0.75, using the Crow Amsaa stochastic model, since it allows to analyze and model the reliability of repairable systems that are subjected to processes of minimum repairs, and in that way to be able to make the best decisions in post to improve the reliability of the fleet

In order to improve the reliability of the fleet of low profile loaders, it was necessary to analyze which of the systems that make up this low profile loader causes greater corrective stops and therefore a low reliability, so it was evaluated which the most critical systems with support of the Jack Knife Diagram were, which is a diagram that analyzes the criticality of any equipment based on the failure rate, average time to repair and unavailability. After that the Failure modes and effects analysis was used to be able to evaluate the level of risk of the possible causes that cause the failure of the critical systems, and thus be able to propose actions that minimize, control or eliminate the risk level of home possible cause of failure.

After a follow-up of the improvement actions implementation, an analysis of the reliability of the fleet was again made using the stochastic model of Crow Amsaa, resulting in reliability improving over time. This makes us conclude that the proper use of the Crow Amsaa stochastic model improves the reliability of a repairable system since it gives us a more precise view of the reliability of a repairable system and thus be able to make decisions before the collapse of a system.

Keywords: Reliability, stochastic model, repairable systems, Jack Knife Diagram, failure modes and effects.

## INTRODUCCION

En la presente tesis la población de estudio fue una flota de doce cargadores de bajo de perfil de 0.75 yd<sup>3</sup> de la marca SANDVIK y modelo LH201-D ubicadas en la Unidad Minera Arcata en el departamento de Arequipa, las cuales tenían una baja confiabilidad en comparación con los otros equipos de la mina, a esto se sumó la actual baja producción de la mina la cual no le permitió invertir lo suficiente en el mantenimiento general de los equipos, teniendo la necesidad de mejorar la confiabilidad de la flota y evitar fallas que ocasionen más gastos por mantenimiento. Surgió entonces la necesidad de evaluar la confiabilidad de todas las flotas de equipos de la mina, seleccionar la más crítica y usar distintas herramientas para mejorar su confiabilidad. Por esta razón se presentara de forma sucinta conceptos relacionados con los modelos estadísticos de confiabilidad, el diagrama de Jack Knife y el análisis de modos y efectos de fallas.

Teniendo en cuenta que los modelos estadísticos nos dan una visión más exacta de la confiabilidad ayudando en gran manera a tomar decisiones para mejorarla y teniendo en cuenta que existen diferentes modelos estadísticos que no son aplicables para todos los casos de estudios, fue materia de investigación para determinar que el modelo estocástico de Crow Amsaa fue la herramienta crucial para la mejora de la confiabilidad en la presente tesis.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Actualmente la unidad minera Arcata de la empresa Hochschild Mining cuenta con una flota de 12 cargadores de bajo de perfil (scoop) de 0.75 yd<sup>3</sup>, una flota de 3 cargadores de bajo perfil de 1.5 yd<sup>3</sup> y una flota de 4 cargadores de bajo perfil de 4 yd<sup>3</sup>, los cuales tienen reportes de altos tiempos de reparación y alta cantidad de fallas, siendo la flota de scoops de 0.75 yd<sup>3</sup> la que mayores tiempos de reparación y falla tiene, a esto se suma la baja producción de la minera la cual llego a 1800 ton/mes en el año 2017 y ahora llega 800 ton/mes en el presente año 2018, provocando que la situación actual de la unidad minera no cuente con el presupuesto suficiente para el mantenimiento general de los equipos, teniendo la necesidad de mejorar la confiabilidad de la flota de scoops de 0.75 yd<sup>3</sup> y evitar fallas que ocasionen más gastos por mantenimiento.

#### **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Por las razones antes planteadas, resulta de especial relevancia dar respuesta a la siguiente interrogante:

##### **1.2.1 Problema General**

- ¿Cómo mejorar la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup> aplicando el modelo estocástico de Crow Amsaa?

##### **1.2.2 Problemas Específicos**

- ¿Cómo evaluar la criticidad de la flota de cargadores de bajo perfil usando el modelo estocástico de Crow Amsaa?
- ¿Cómo evaluar la criticidad de los sistemas que componen la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup>, usando el modelo de Jack Knife?

- ¿Cómo desarrollar actividades para mejorar la confiabilidad de los sistemas críticos de una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup>, usando el análisis de modos y efectos de falla?
- ¿Cómo determinar la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup> para medir la mejora en la confiabilidad, usando el modelo estocástico de Crow Amsaa?

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo General**

- Mejorar la confiabilidad de una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup> aplicando el modelo estocástico de Crow Amsaa

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar la criticidad de la flota de cargadores de bajo perfil usando el modelo estocástico de Crow Amsaa.
- Evaluar la criticidad de los sistemas que componen la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup> usando el modelo de Jack Knife.
- Desarrollar actividades para mejorar la confiabilidad de los sistemas críticos de una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup>, usando el análisis de modos y efectos de falla.
- Determinar la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup> para medir la mejora en la confiabilidad, usando el modelo estocástico de Crow Amsaa.

### **1.4 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Las delimitaciones que se encontraron en el desarrollo de la tesis fueron:

#### **1.4.1 Delimitación teórica**

Las delimitaciones teóricas para la presente tesis corresponden a las distintas definiciones y usos de los modelos estadísticos como modelo de weibull, modelo exponencial, modelo normal, modelo log normal, modelo de crow amsaa, modelo log lineal, modelo de dhilon entre

otros. También una de las delimitaciones es la norma SAE JA1012 que explica los pasos y los casos en los que se debe aplicar el FMEA (análisis de modos y efectos de fallas).

#### **1.4.2 Delimitación económica**

La delimitación económica es la falta de presupuesto que se tiene para reemplazar los equipos y para realizar proyectos de inversión con el fin de mejorar la confiabilidad de los equipos, a esto se suma la caída de producción de la unidad minera desde el año 2017 a la actualidad.

#### **1.2.1 Delimitación espacial**

La tesis fue aplicada a una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup>, las cuales se encuentran ubicados en la Unidad minera Arcata, ubicada en el distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos del departamento de Arequipa.

### **1.5 JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad la ingeniería de confiabilidad cuenta con análisis cualitativos y cuantitativos que ayudan a mejorar la confiabilidad de las instalaciones industriales y equipos de producción. Un ejemplo claro de aplicación de la ingeniería de confiabilidad es la aeronáutica, ya que si hablamos de un avión con 100 personas a bordo que realizará un vuelo de 5 horas de Lima Perú hacia Buenos Aires Argentina y sabiendo que su confiabilidad es 50%, con la observación que la confiabilidad es la probabilidad que un equipo no falle en un tiempo determinado bajo condiciones de trabajo determinadas, ¿viajarías tú y tu familia en ese avión?, la respuesta evidente para esta pregunta es no. Por otro lado si supiésemos que la confiabilidad del avión es de 99.99% antes de realizar el viaje pero que en la 4ta hora de viaje caería a 10% ¿subirías al avión tú y tu familia?, la respuesta evidente sería no; se puede decir entonces que los análisis cualitativos como RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad), FMEA (análisis de modos y efectos de fallas), ACR (análisis causa raíz) y otros pueden mejorar, desarrollar o implementar nuevas



actividades de mantenimiento para mejorar la confiabilidad de las instalaciones y equipos, *pero no son suficientes* ya que se necesita de análisis estadísticos que ayuden a diagnosticar la confiabilidad actual de los equipos y en base a eso proyectar su confiabilidad en el futuro; estos son llamados análisis cuantitativos, los cuales contienen modelos estadísticos que sirven al ingeniero de confiabilidad para determinar el estado de desgaste de los equipos, determinar la probabilidad de ocurrencia de la siguiente falla, determinar su tasa de falla y determinar su confiabilidad, y puedan así tomar óptimas decisiones para mejorar la confiabilidad. Estos modelos estadísticos varían de acuerdo al tipo de intervención que se realice en los equipos, como por ejemplo: *intervenciones perfectas e intervenciones mínimas*; la primera es aplicable a aquellos equipos o sistemas que no se reparan, conocidos como sistemas no reparables (cada vez que fallan se cambian por uno nuevo) y la segunda es aplicable a aquellos equipos o sistemas que se reparan, conocidos como sistemas reparables (cada vez que fallan no se cambian sino se reparan). Uno de los modelos que se usan para los *sistemas no reparables* es el modelo de Weibull, mientras que uno de los modelos que se usan para los *sistemas reparables* es el modelo estocástico de Crow Amsaa, es así que *el uso equivocado de cada modelo* podría provocar la toma de malas decisiones en la gestión de mantenimiento y confiabilidad, perjudicando a la organización en las áreas de producción, seguridad y medio ambiente.

En la presente tesis se analizó una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup> que está sometida a reparaciones y no reemplazos, y cuya tendencia de fallas por unidad tiempo es creciente, se vienen realizando análisis de fallas, inspecciones, mantenimientos preventivos sin embargo las fallas se mantienen, por tal razón es necesario aplicar un modelo estadístico que se ajuste a los datos de fallas de los equipos con el fin de diagnosticar y proyectar su confiabilidad, y así determinar actividades que minimicen la probabilidad de fallar de los equipos. Es entonces que surge

la siguiente hipótesis: La aplicación del modelo estocástico de CROW AMSAA mejorara la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup>.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

PARIONA, Charles. Análisis de las fallas de los equipos críticos de flotación, para reducir las pérdidas de producción en la Unidad Minera de Yauliyacu. Tesis (Ingeniero Mecánico). Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2016. 222 pp. En esta tesis se estudió el procedimiento que se realizó para mejorar la confiabilidad de los equipos de planta de la minera Yauliyacu, para lo cual se usó el FMEA - Análisis de modos y efectos de fallas (análisis cualitativo) y el modelo de Weibull (análisis cuantitativo), esto con el fin de optimizar la frecuencia de inspecciones y mantenimientos de los equipos de plantas, también se aprendió el uso del MINITAB como herramienta de análisis de la confiabilidad.

APOLINARIO, Miguel. Estimación de la confiabilidad en equipos mediante el uso del análisis de Weibull. Tesis (Ingeniero Mecánico). Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2008. 133 pp. En esta tesis se estudió como se podría estimar la confiabilidad de moto compresores de gas natural usando el modelo de weibull, esto con el fin de evaluar el proceso de: selección de datos, análisis de test de tendencias y de toma de decisiones. Así mismo se tuvo un enfoque general del uso del modelo de Weibull para poder compararlo con el modelo de Crow Amsaa.

DA COSTA, Martín. Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción. Tesis (Ingeniero Mecánico). Perú: Pontificie Universidad Católica del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2010. 120 pp. En esta tesis se estudió el uso del RCM (mantenimiento centrado en la

confiabilidad) y el uso del FMEA (Análisis de modos y efectos de fallas) para la mejora de la confiabilidad de motores a gas de dos tiempos, esto con el fin de entender las metodologías y entender su aplicación.

NAVAS, Miguel. Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis multivariante. Tesis (Doctor en Ingeniería). España: Universidad nacional de educación a distancia, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, 2017. 308 pp. En esta tesis se estudió la aplicación de las distintas formas de analizar la confiabilidad de una flota de equipos reparables (sistemas reparables) en base a la norma de confiabilidad IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), teniendo en cuenta los manuales militares MIL-HDBK emitidos por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América. De la norma IEC se estudió el modelo Power Law o Modelo de Crow AMSAA y el test de tendencia de Laplace, así mismo se aprendió como realizar el análisis de Crow AMSAA para una flota de equipos.

HALL, Robert. Análisis de datos de mantenimiento de equipos móviles en una minera subterránea. Tesis (Master en Ingeniería). Canada: Queen's University, facultad de ingeniería mecánica, 1997. 105 pp. En esta tesis se estudió las distintas formas de realizar un análisis de confiabilidad de los equipos, desde una perspectiva cualitativa y una perspectiva cuantitativa. Con respecto a la perspectiva cualitativa se estudió el uso del RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) y FMEA (análisis de modos y efectos de fallas) para poder aprender metodologías que permitan establecer actividades de mantenimiento que permitan mejorar la confiabilidad de los equipos; con respecto a la perspectiva cuantitativa se estudió el uso del modelo estadístico de CROW AMSAA como una herramienta para determinar y proyectar la confiabilidad de los equipos en el tiempo y así poder evaluar la criticidad de los equipos con el único fin de establecer mejoras o actividades de mantenimiento.

CROW, Larry. Análisis de confiabilidad para sistemas reparables complejos. E.U.A: [s.n.], 1975. 40pp, en el cual se desarrolla el modelo de Crow AMSAA cuyas aplicaciones son: modelar el crecimiento de confiabilidad para diseño y fabricación de equipos, modelar la confiabilidad de misión, seleccionar buenas políticas de mantenimiento y usar la estadística para proyectar accidentes industriales. En este reporte técnico se investiga la confiabilidad de sistemas reparables cuyas fallas dependen de la edad cronológica del sistema. Para ello se debe verificar que los sistemas no sean i.i.d (independientes e idénticamente distribuidos), y que cumplan con las pruebas de ajuste de bondad de Cramer Von Mises para así poder usar la función de intensidad de weibull. Esta investigación ayudo en la comprensión de los modelos estocásticos por procesos no homogéneos de Poisson como una herramienta estadística para optimizar las políticas de mantenimiento de sistemas reparables tales como mantenimiento preventivo por reemplazos u overhaul.

RELASIAFOT corporation. Análisis de Crecimiento de confiabilidad y Sistemas Reparables. E.U.A: [s.n.], 2014. 380 pp, en el cual se estudió los capítulos de: Crow-AMSAA (NHPP), análisis de sistemas reparables y análisis de flotas. En estos capítulos se detallan el uso y demostración del cálculo del modelo de Crow AMSAA, así como la diferencia de análisis entre sistemas reparables y flotas de un mismo sistema.

JARDIN, Andrew y ALBERT Tsang. Mantenimiento, Reemplazo y Confiabilidad, teoría y aplicaciones. E.U.A: CRC Press, 2006. 322pp, en la cual se estudió los capítulos de: Decisión de reemplazo de componentes, decisión de inspecciones, decisión de reemplazos de activos físicos y análisis de weibull. Analizamos las distintas formas de optimizar las estrategias de mantenimiento (inspecciones, intercambio de

componentes, monitoreo de condición y stock de repuestos) usando modelos estadísticos que se ajusten a los distintos casos de operación de los activos. También se estudió el modelo de weibull el cual es el método más popular de análisis, predicción de fallas y mal funcionamiento de todos los tipos, el cual identifica las etapas de falla del sistema (mortalidad infantil, vida útil y envejecimiento). Los beneficios de este modelo serán comparados con los modelos estocásticos NHPP para sistemas reparables en el informe de Tesis, esto con el fin de entender la aplicación correcta de los modelos. Por otra parte se aprendió a realizar los cálculos manuales para usar los distintos modelos de acuerdo al caso de estudio seleccionado (en nuestro caso “intercambio de componentes”).

Proceso de Poisson no homogéneo aplicado a la reparación en garantía de un producto. Revista Tecnológica Industrial de la universidad de Sevilla Dpto. de Organización y gestión de empresas por GONZALES, Vicente [et al]. España: [s.n.], (1):01-11, 2014. Este artículo presenta un ejemplo práctico de aplicación del modelo no homogéneo de Poisson a un producto (motor), en el cual se obtiene el periodo óptimo de garantía para ciertas condiciones, optimizando así las ganancias de la empresa que ofrece el producto. Esta revista ayudo en la investigación para entender las aplicaciones del modelo de Crow AMSAA en relación a los periodos de garantías, así como sus ventajas y desventajas. También apporto en los procedimientos de manejo y recolección de datos que se debe de tomar en cuenta antes de aplicar el modelo.

PASCUAL, Rodrigo. El Arte de Mantener. 3.<sup>a</sup> ed. Chile: Centro de Minería por la Universidad Católica de Chile: [s.n.], 2009.1314 pp. En este libro se estudió los capítulos de: “Sistemas reparable y sus procesos de fallas”, “Sistemas reparables, mantenimiento imperfecto y reemplazo” y “Diagramas de Priorización”. En el primer capítulo se da a conocer los procesos homogéneos y no homogéneos de Poisson y sus pruebas de

bondad, en el segundo capítulo se dan a conocer otros modelos para sistemas reparables como el modelo log lineal, el modelo de potencia y el modelo de Dhillon. También se da a conocer el desarrollo de casos para el overhaul de buses y componentes críticos (caja de transmisión) de un camión Caterpillar 797F. En el tercer capítulo aprendimos los diagramas de Jack Knife y Dispersión de costos, los cuales son diagramas de priorización de sistemas, equipos o componentes. Esta investigación fue de gran aporte para la investigación porque se estudian los casos de intercambio de componentes críticos (caja de transmisión) aplicados a un camión Caterpillar 797F, el cual se asemeja al estudio seleccionado para la tesis. También se puede apreciar en el estudio el uso de los costos por mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, mantenimiento por overhaul y costo por lucro cesante para definir con mayor exactitud el tiempo óptimo de overhaul. Aprendimos a priorizar los equipos y sistemas críticos mediante el uso del diagrama de Jack Knife y Dispersión de costos que relacionan frecuencia de fallas, mantenibilidad, disponibilidad, costos por mantenimiento y costos globales.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Modelo Estocástico de Crow AMSAA**

Con el fin de realizar una mejor explicación de la aplicación del modelo de Crow AMSAA o Power Law, se explicarán en el capítulo 2.2.2 que es un proceso estocástico, tipos de conteos y test de tendencias y algunos modelos estadísticos.

Según Rausand Marvin y Hoyland Arnijot (2004, p. 284) En el modelo de Power Law el rocof (tasa de ocurrencia de falla) de un NHPP (número no homogéneo de Poisson) se define como:

$$w(t) = \lambda\beta t^{\beta-1}, \text{ para } \lambda > 0, \beta > 0 \text{ y } t \geq 0$$

En este proceso de conteo NHPP el rocof o tasa de ocurrencia de fallas es similar a la tasa de fallas de la función distribución del modelo de

Weibull, también se puede notar que así como en la distribución de Weibull el  $\beta$  es el parámetro de forma y el  $\lambda$  es el parámetro de escala para el modelo de Crow Amsaa.

Un sistema reparable modelado por el modelo de Crow AMSAA (Power Law) es un sistema feliz si  $0 < \beta < 1$  ya que denota mejora, sin embargo si  $\beta > 1$  entonces el sistema se está deteriorando y sería un sistema triste. Si  $\beta = 1$  el modelo es HPP.

Para valores de  $\beta$  se concluye que:

- Si  $\beta > 1$ , la tasa de fallas es creciente, el MTBF decrece y el sistema se deteriora con el tiempo.
- Si  $\beta < 1$ , la tasa de fallas es decreciente, el MTBF aumenta y el sistema mejora con el tiempo.
- Si  $\beta = 1$ , la tasa de fallas y el MTBF son constantes, el sistema sigue un proceso homogéneo de Poisson (HPP).

### **2.2.2 Confiabilidad**

Según la norma ISO 14224 (2016, p. 15) la confiabilidad es la habilidad de un ítem para realizar una función determinada bajo ciertas condiciones de trabajos en un intervalo de tiempo dado. También es usada para medir la confiabilidad como una medida de la probabilidad. Según la norma IEC 600050-192:2015 se define la confiabilidad como la habilidad para desarrollar un requerimiento, sin falla, por un intervalo de tiempo dado, bajo ciertas condiciones de trabajo.

Respecto de la ingeniería de confiabilidad para Galván Blas y Sosa Adriel (2016, p.4), indican que es una disciplina madura dentro del campo de la ingeniería e importante sustento, cada día más importante y demandado, de la gestión moderna empresarial. Entre los objetivos que la ingeniería de la confiabilidad pretende alcanzar se pueden citar lo siguiente:

- Anticipar y contener las causas que ocasionan fallos en los sistemas técnicos y posibilitar la aplicación de medidas preventivas para evitar su ocurrencia.



- Identificar y comprobar los mecanismos que eventualmente pudieran conducir a fallos.
- Investigar procedimientos que permitan reducir la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de fallos a pesar de los esfuerzos destinados a prevenirlos.
- Aplicar métodos para estimar la confiabilidad de nuevos diseños y para analizar datos de fallos a fin de mejorar futuros diseños.

### **2.2.3 Cargadores de bajo perfil**

Un cargador de bajo perfil, llamado scoop o scooptram es un equipo de bajo perfil diseñado sobre todo para realizar trabajos en mina subsuelo o en zonas confinadas (Ver imagen 2.1, p. 20). Cumplen la función de mover el mineral o desmonte producido por una voladura controlada. Los Scooptrams son principalmente necesarios en labores de subsuelo, debido al tamaño limitado de las labores. Debido a la posición del asiento del operario, puede viajar en marcha adelante así como en un marcha reversa. Sus sistemas principales son:

- Chasis (Estructura)
- Tren de fuerza
- Motor Diesel
- Sistema Hidráulico
- Sistema Eléctrico
- Sistema de frenos
- Sistema de dirección

Para la elaboración de la tesis, la flota de 18 scoops estudiada corresponde al modelo LH201 de la marca SANDVIK (Ver figura 2.1, p. 20).

FIGURA 2.1

SCOOP LH201, MARCA SANDVIK



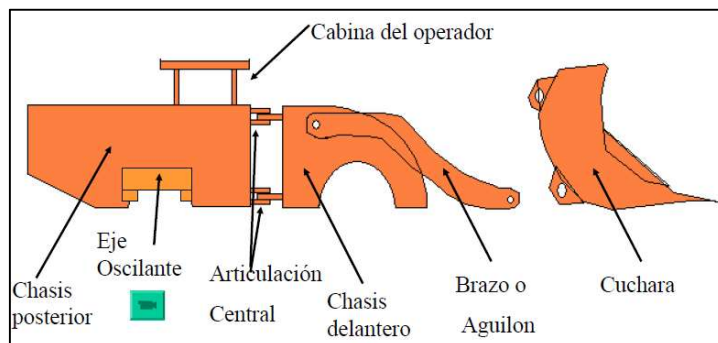
Fuente: Manual del operador – LH 201, SANDVIK

**a) Chasis (Estructura)**

Es el elemento más fundamental que da fortaleza y estabilidad al scoop en diferentes condiciones. Sostiene y aporta rigidez y forma al equipo en su construcción. Para el caso de un scoop consta del chasis posterior, eje oscilante, articulación central, chasis delantero, aguilón, cuchara y cabina del operador (Ver figura N° 2.2).

FIGURA 2.2

SISTEMA CHASIS



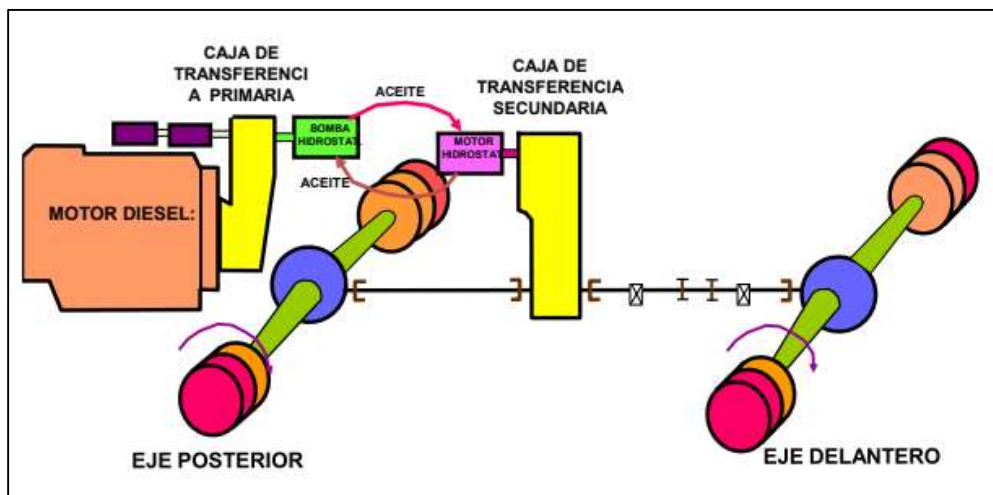
Fuente: Manual del operador – LH 201, SANDVIK

## b) Tren de fuerza

El tren de fuerza es un grupo de componentes que trabajan juntos para transferir potencia desde el volante del motor a las ruedas o cadenas que impulsan la máquina, su propósito es conectar y desconectar la potencia del motor, modificar la velocidad del motor, proveer un medio para la marcha en retroceso regular la distribución de potencia a las ruedas. El tren de fuerza se divide en mecánicos, hidrostáticos y eléctricos. El scoop LH201 tiene el sistema de tren fuerza de tipo de mecánico cuyos componentes son: motor, caja de transferencia, bomba hidrostática, motor hidrostático, diferencial posterior y diferencial delantero (Ver figura N° 2.3).

FIGURA 2.3

### SISTEMA DE TREN DE FUERZA



Fuente: Manual del operador – LH 201, SANDVIK

## c) Motor Diesel

Los scoops LH201 de marca SANDVIK usan un motor diésel en línea de marca DEUTZ y modelo F3L912, el cual es un conjunto de piezas correctamente sincronizadas que convierten la energía calorífica en energía mecánica y está compuesto de los siguientes sub sistemas: Motor básico, sistema de combustible, sistema de entrada de aire y de escape,

sistema de lubricación, sistema de enfriamiento. Sus principales componentes son: turbocompresor, bomba de inyección, radiador, pistones, anillos, biela, cigüeñal, cilindros, bloque de cilindros, cárter, culata de cilindros, múltiple de admisión, múltiple de escape, eje de levas, válvulas de admisión y válvulas de escape.

FIGURA 2.4

#### SISTEMA MOTOR DIESEL



Fuente: Manual del operador – F3L912, DEUTZ

#### d) Sistema hidráulico

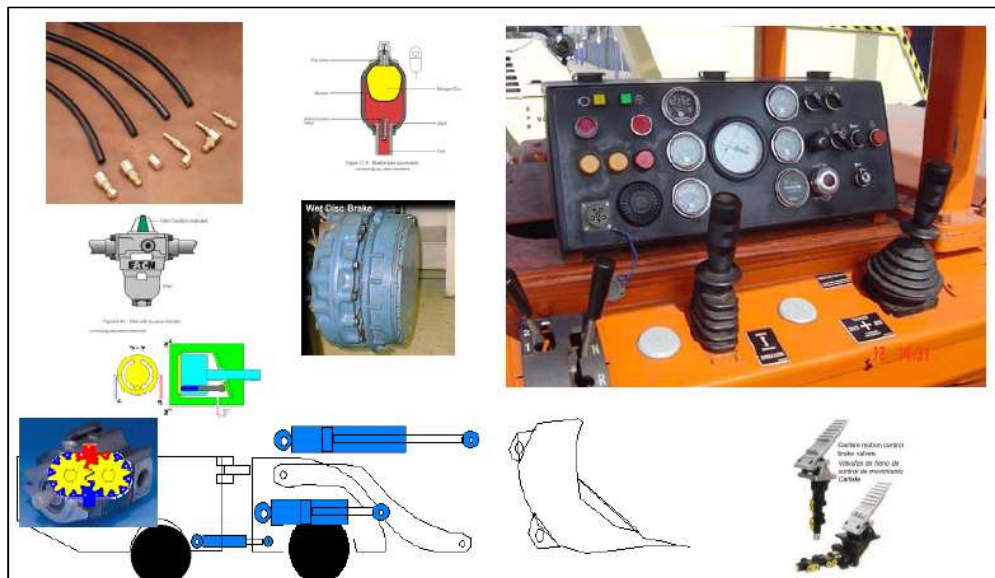
Los sistemas hidráulicos con el empleo de un fluido, permite desarrollar elevados ratios de fuerza con el empleo de sistemas muy compactos. También permite la regulación continua de las fuerzas que se transmiten, no existiendo riesgo de calentamiento por sobrecargas y pueden adaptarse a cualquier geometría, gracias a la flexibilidad de los conductos que conducen el aceite hidráulico hasta los sistemas de dirección, frenos, implementos (Ver figura 2.5, p. 23). Sus componentes principales son: bombas, motores, acumuladores, válvulas, filtros, tanque, cilindros, tuberías, mangueras, etc.

En un sistema hidráulico se usan las bombas de desplazamiento positivo como las de engranajes, paletas o de pistones. El uso de éstas depende del rango de presiones del sistema. Por ejemplo, los rangos donde trabajan sin afectar negativamente su eficiencia volumétrica son:

- Bomba de engranajes: hasta 1000 psi.
- Bomba de paletas: hasta 2000 psi.
- Bomba de pistones: hasta 5000 psi.

FIGURA 2.5

### SISTEMA HIDRAULICO



Fuente: Elaboración propia.

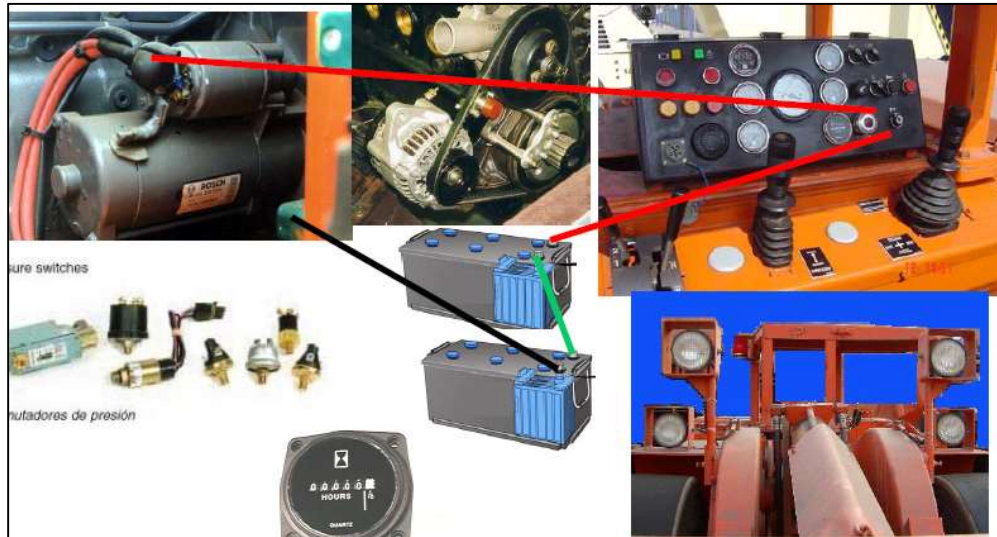
#### e) Sistema eléctrico

Conjunto de accesorios eléctricos y electrónicos tales como: sensores, solenoides, lámparas, harness, circuitos eléctricos, luces de advertencia, alternador, arrancador, batería, interruptores, relés, horómetros, otros. La energía eléctrica en el cargador es producto de la transformación de energía mecánica a energía eléctrica que ocurre entre el motor de combustión interna y el alternador. El sistema eléctrico se divide en los

siguientes sub sistemas: sistema de arranque, sistema de carga, sistema de luces y sistema de control.

FIGURA 2.6

### SISTEMA ELECTRICO



Fuente: Elaboración propia.

#### f) Sistema de frenos

Los scoops LH201 Sandvik cuentan con dos sistemas de frenos, llamados frenos de servicio y frenos de parqueo. Los frenos de servicios tienen la función de disminuir la velocidad o parada del equipo, el cual se realiza a través de una válvula de freno hidráulico y es ejecutado por el operador con el vehículo en movimiento. Los frenos de parqueo comúnmente llamado freno de mano y freno de emergencia, es un freno que inmoviliza las ruedas forma permanente. Normalmente no se utiliza para detener el vehículo en marcha, pero puede ser utilizado como freno en caso de emergencia.

### **g) Sistema de dirección**

Este mecanismo es usado en equipo como scoops, cargadores frontales, tractores de ruedas y camiones. Tiene como característica el uso de un volante o “caña” de dirección que acciona a una válvula de control. Esta a su vez distribuye el aceite hacia los cilindros de dirección permitiendo el giro del equipo.

## **2.3 MARCO CONCEPTUAL**

En esta tesis se estudió la confiabilidad de un sistema reparable en base al modelo estocástico de Crow AMSAA en función del tiempo, para lograrlo se usó los conceptos de procesos estocásticos, procesos de conteo, tipos de procesos de conteo, test de tendencias y modelos estocásticos.

### **2.3.1 Análisis de distribución de vida**

Para realizar un mejor entendimiento de los procesos estocásticos se debe entender primero los conceptos LDA (Análisis de datos de vida), según Pascual Rodrigo (2009) en el análisis de distribución de vida (Análisis de datos de vida LDA) los eventos (o variables aleatorias) son estadísticamente independientes y distribuidos en forma idéntica (i,i,d), para ellos secuencia o colección de variables aleatorias son independientes y distribuidas en forma idéntica (i,i,d) si:

Cada una posee la misma distribución de probabilidad de falla y todos son mutuamente independientes, es decir, cualquier evento que ocurra, o no, no hará que los otros eventos puedan tener una probabilidad mayor o menor de que ocurran.

Los modelos estadísticos como el modelo de weibull, exponencial, normal o log-normal son usados en estos casos.

### **2.3.2 Análisis de procesos estocásticos**

Para realizar un análisis completo de los sistemas reparables se debe entender los conceptos de procesos estocásticos. Un proceso estocástico es un conjunto de variables aleatorias que evolucionan en función de otras variables, generalmente el tiempo. Según Reliasoft (2014) en el análisis de los procesos estocásticos, los eventos son dependientes y no tienen distribuciones de probabilidad de falla similares (no son i.i.d), por lo que se indica que: el tiempo hasta la falla de un producto luego de ser reparado, depende de cuan bueno o malo fueron las acciones de restauración o reparación; también el tiempo hasta la falla de un producto reparado o re proyectado puede seguir una distribución que es diferente de la distribución de los tiempos hasta la falla de los productos antes que los mismos hayan sido restaurados o re proyectados.

### **2.3.3 Procesos de conteo**

“Consideremos un sistema reparable que es puesto en operación en  $t = 0$ . La primera falla ocurre en  $t=S_1$ . Tras lo cual es reparado y regresa a un estado operacional. La duración de la reparación es despreciable. Las fallas subsecuentes ocurren en  $S_i$ ,  $i=2, \dots$ . Sea  $T_i$  el intervalo de tiempo entre la falla  $i-1$  y la falla  $i$ ,  $i=1,2, \dots$ ,  $S_0=0$ ”. Pascual Rodrigo (2009, p. 98). Lo anterior provee una secuencia de instantes de falla de acuerdo a una variable aleatoria  $N(t)$ , la cual es el número de fallas en un intervalo  $(0; t]$ . Este proceso estocástico es conocido como proceso de conteo.

Según Pascual Rodrigo (2009, p. 98) “La secuencia de intervalos entre fallas en general no es independiente e idénticamente distribuida i.i.d., a menos que el sistema sea reemplazado tras cada falla o restaurado a una condición tan bueno como nuevo en cada reparación (mantenimiento perfecto), y las condiciones ambientales y operacionales permanezcan constantes durante el periodo completo”.



### 2.3.4 Tipo de proceso de conteo

En el análisis de confiabilidad se estudian 4 tipos de conteo:

- Proceso homogéneo de Poisson
- Proceso de renovación
- Proceso no homogéneo de Poisson
- Proceso de reparación imperfecta

#### a) Proceso homogéneo de Poisson

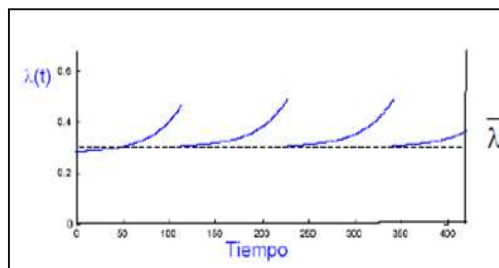
Según Pascual Rodrigo (2009, p. 203) el proceso homogéneo de Poisson (HPP) debe su nombre al matemático francés Simeón Denis Poisson (1781-1840). En un HPP los intervalos entre fallas son independientes e idénticamente distribuibles con distribución exponencial de fallas con parámetro  $\lambda$  (tasa de fallas) constante.

#### b) Proceso de renovación

Según Pascual Rodrigo (2009, p. 203) el proceso de renovación es una generalización del HPP. En este caso los tiempos entre fallas son también independientes e idénticamente distribuidos pero la distribución no es necesariamente de tipo exponencial (usualmente se utiliza Weibull). En este caso, las reparaciones representan intervenciones perfectas que dejan el sistema “tan bueno como nuevo”.

GRAFICO N°2.1

TASA DE FALLAS VS TIEMPO PARA UN PROCESO DE RENOVACIÓN



Fuente: PASCUAL, Rodrigo. “El arte de mantener”. 2009

### **c) Proceso no homogéneo de Poisson (NHPP)**

Según Pascual Rodrigo (2009, p. 203) el proceso no homogéneo de Poisson (NHPP) difiere del HPP en que la tasa de ocurrencia de fallas (rocof) varia en el tiempo. Ello implica que los tiempos entre fallas no son ni independientes ni idénticamente distribuidos. Los NHPP son usados usualmente en sistemas que reciben **reparaciones mínimas**, eso es, que dejan al sistema “tan mal como antes de que ocurriese la falla”. Ver Gráfico 2.2, p. 31.

En un proceso no homogéneo de Poisson la tasa de fallas del proceso es una función del tiempo calendario. Esta definición incluye la situación en donde la tasa de ocurrencia de eventos es función de una variable explicativa que a su vez es función del tiempo. El parámetro básico de un NHPP es la tasa de fallas ( $\lambda$ ).

Es importante observar que un NHPP no requiere incrementos estacionarios. Ello implica que puede ser más probable que ocurran fallas en ciertos instantes versus otros, con lo cual los periodos entre fallas no son independientes ni idénticamente distribuidos. En consecuencia, no pueden aplicarse las técnicas estadísticas que usan como hipótesis el que los datos sean i.i.d.

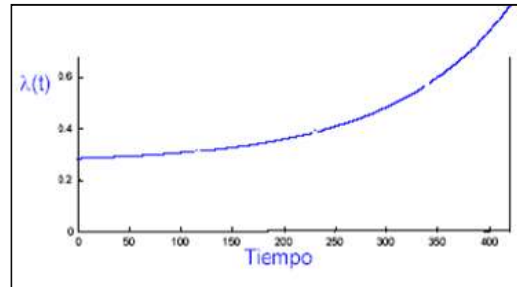
Los NHPP son usados frecuentemente para modelar tendencias en los intervalos entre eventos, eso es, sistemas felices o tristes. Parece natural pensar que un sistema feliz tiene un ROCOF (tasa de ocurrencia de fallas) decreciente, mientras que un sistema triste tiene un ROCOF creciente. Ver Gráfico 2.3 y 2.4, p. 31.

### **d) Proceso de reparación imperfecta**

Si las reparaciones no son perfectas (proceso de renovación) o mínimas (NHPP) se habla de un proceso de mantenimiento imperfecto. “Mejor que antes, pero no tan bueno como nuevo”. Ver gráfico 2.5, p. 30.

GRAFICO 2.2

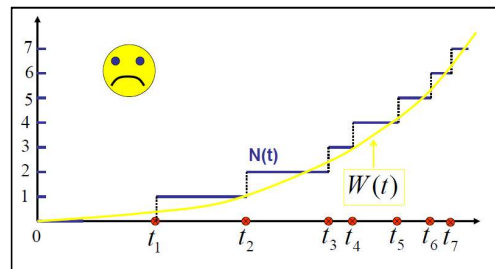
TASA DE FALLAS VS TIEMPO PARA NHHP – REPARACIONES MÍNIMAS



Fuente: PASCUAL, Rodrigo. "El arte de mantener". 2009

GRAFICO 2.3

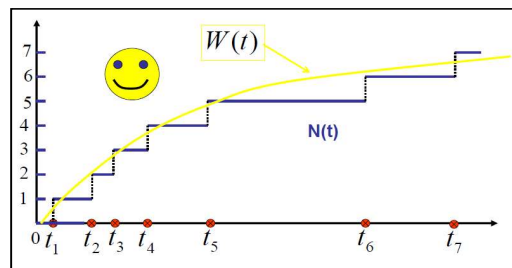
SISTEMA TRISTE



Fuente: Elaboración propia

GRAFICO 2.4

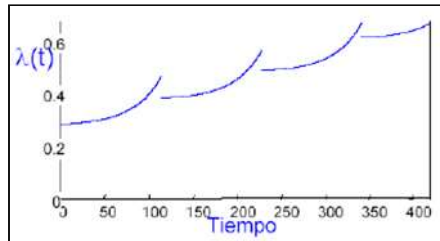
SISTEMA FELIZ



Fuente: Elaboración propia

GRAFICO 2.5

TASA DE FALLAS VS TIEMPO PARA REPARACIONES IMPERFECTAS



Fuente: PASCUAL, Rodrigo. "El arte de mantener". 2009

TABLA 2.1

CUADRO RESUMEN DE PROCESOS DE CONTEO

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS REPARABLES		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesos de renovación o Intervenciones perfectas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso no homogéneo de Poisson (NHPP) o Reparación mínima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso de intervenciones imperfectas</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son i.i.d</li> <li>• Modelos estadísticos: Weibull</li> <li>• Test de tendencia Laplace Diagrama de Nelson Aalen Total Time on test (TTT)</li> <li>• Sistema neutro</li> <li>• Como deja al equipo: "Tan bueno como nuevo"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No son i.i.d</li> <li>• Modelos estadísticos: Crow Amsaa Log Lineal Dhilon</li> <li>• Test de tendencia Laplace Diagrama de Nelson Aalen Total Time on test (TTT)</li> <li>• Sistema feliz o triste</li> <li>• Como deja al equipo: "Tan malo como antes de fallar"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesos generalizados de restauración</li> <li>• Modelos estadísticos Se apoya en los modelos para procesos NHPP</li> <li>• Como deja al equipo: "Mejor que antes pero no tan bueno como nuevo"</li> </ul>

Fuente: elaboración propia

### 2.3.5 Test de tendencias

Los test de tendencia sirven para verificar si los tiempos acumulados de fallas vs las fallas acumuladas ( $N(t)$ ) siguen una distribución creciente (sistemas triste), decreciente (sistema feliz) o lineal con el tiempo. En los dos primeros casos el modelo de Crow AMSSA o Power law y modelo

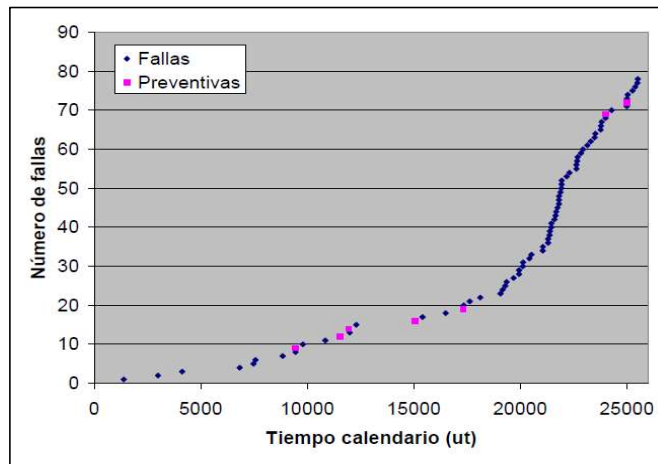
Log Lineal pueden ser usados (procesos de conteo estocásticos), mientras que en el tercer caso el modelo HPP puede ser usado, además en el tercer caso se verifica el uso del proceso de conteo por intervención perfecta en el cual se puede usar el modelo de Weibull. Ver Tabla 2.1, p. 32.

Los test de tendencia que se usaron en la tesis presente fueron el diagrama de Nelson Aalen y el test de tendencia de Laplace.

#### a) Diagrama de Nelson de Aalen

Es la forma más simple de verificar si un sistema es feliz o triste, en la cual se realiza un gráfico de fallas acumuladas versus tiempo de operación, con esto se determina visualmente si las fallas acumuladas siguen una distribución creciente, decreciente o lineal con el tiempo.

GRÁFICO 2.6  
DIAGRAMA DE NELSON AALEN PARA EL HISTORIAL DE  
FALLAS DE UN MOTOR SUBMARINO



Fuente: PASCUAL, Rodrigo. *“El arte de mantener”*. 2009

## b) Test de tendencia de Laplace

El test de tendencia de Laplace sirve para saber si la tendencia observada es estadísticamente significativa o es meramente accidental. Es recomendable realizar un diagrama de Nelson Allen antes de realizar el test de tendencia de Laplace.

- Cuando el sistema ha sido observado hasta que han ocurrido  $N$  fallas (failure truncated) desde un intervalo  $[T_0, T_q]$ , donde  $q = 1, 2, \dots, N$  se cumple la siguiente formula:

$$U_1 = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{q=1}^{N-1} T_q - T_q/2}{T_N / \sqrt{12(N-1)}}$$

- Cuando el sistema ha sido observado hasta un tiempo  $T$ .

$$U_1 = \frac{\frac{1}{N} \sum_{q=1}^N T_q - \frac{T}{2}}{\frac{T}{\sqrt{12N}}}$$

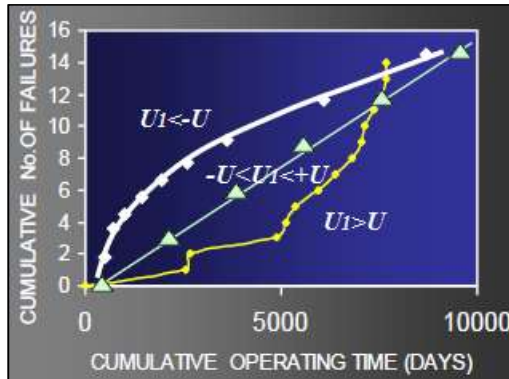
La prueba estadística  $U$  es aproximadamente una variable aleatoria de una distribución normal estándar. El valor crítico  $U$  es obtenido desde la tabla normal estándar con un nivel de significancia de " $\alpha$ ".

Se debe resaltar que si:

- ✓  $-U < U_1 < +U$  entonces no hay tendencia creciente ni decreciente de fallas. En este caso la distribución de fallas es i.i.d y sigue un proceso de renovación o mantenimiento perfecto. Proceso HPP o RP.
- ✓  $U_1 < -U$  entonces hay tendencia decreciente de la distribución de fallas (sistema feliz). Entonces sigue un proceso NHPP.
- ✓  $U_1 > U$  entonces hay tendencia creciente de la distribución de fallas (sistema triste). Entonces sigue un proceso NHPP.

**Se recomienda usar un  $\alpha = 0.1$ , revisando tablas se obtiene que  $U = \pm 1.645$ . También se recomienda un  $\alpha = 0.05$  con  $U = \pm 1.96$ .**

GRÁFICO 2.7  
TEST DE TENDENCIA DE LAPLACE



Fuente: Elaboración propia

### 2.3.6 Distribución estadística de Weibull

La distribución de Weibull es una propuesta general para el análisis de confiabilidad, la cual es usada para analizar el comportamiento de la tasa de fallas de un componente no reparable (cuando falla se cambia por uno nuevo) o proceso de renovación.

Existen excepciones en las que se puede usar la distribución estadística de Weibull para analizar sistemas no reparables, para ello se debe de considerar que después de la intervención el equipo queda en un estado “tan bueno como nuevo”. La ecuación de la función confiabilidad es:

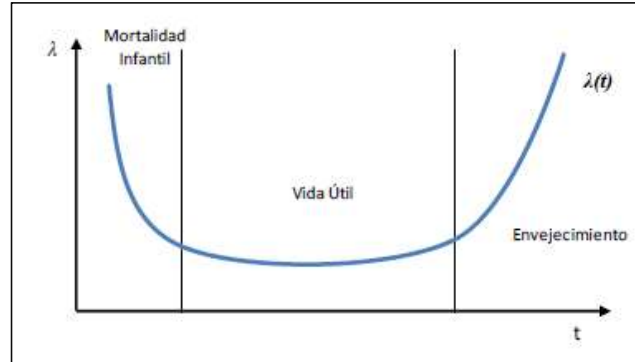
$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right]$$

Dónde: Donde  $\beta > 0$  es el parámetro de forma,  $\eta > 0$  es el parámetro de escala o característica de vida y el  $\gamma > 0$  parámetro de localización de la distribución.

Para:

- $\beta < 1$  tasa de falla decreciente (falla o mortalidad infantil)
- $\beta = 1$  tasa de falla constante (fallas aleatorias o vida útil)
- $\beta > 1$  tasa de fallas creciente (fallas por desgaste o envejecimiento)

GRAFICO 2.8  
CURVA DE LA BAÑERA



Fuente: Elaboración propia

Cálculo de los parámetros de la distribución:

- Rangos medianos: Permite obtener en forma estimada a la función confiabilidad.

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

Dónde: i: Orden de falla y n: número total de la muestra.

- Para el cálculo de los parámetros  $\beta$  y  $\eta$  se hace uso de la siguiente ecuación lineal:

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

Dónde: F(x): Función acumulada o desconfiabilidad = 1- RM(x)

- Calculo de la tasa de fallas

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

### 2.3.7 Modelo Exponencial

La distribución exponencial es ampliamente usada en análisis de confiabilidad, como distribución de la variable aleatoria “tiempo entre fallas” de equipos o sistemas. Describe la cantidad de tiempo que transcurre entre eventos.



El parámetro de la distribución exponencial es lambda ( $\lambda$ ). La característica fundamental de las variables que siguen la distribución exponencial es que el número de ocurrencia de eventos por unidad de tiempo es aproximadamente constante.

Para calcular la confiabilidad la ecuación sería la siguiente:

$$R(t) = e^{-\lambda.t} = e^{\frac{-1}{MTBF}.t}$$

Donde  $\lambda$  es la tasa de fallas y cuya expresión matemática para una distribución de fallas de tipo exponencial es:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

### 2.3.8 Distribución estadística de Crow AMSAA

En este modelo se asume que los eventos ocurren de acuerdo a NHPP con función intensidad o función intensidad de weibull:

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

Donde  $\lambda > 0, \beta > 0, t > 0$

Para valores de  $\beta$  se concluye que:

- Si  $\beta > 1$ , la tasa de fallas es creciente, el MTBF decrece y el sistema se deteriora con el tiempo.
- Si  $\beta < 1$ , la tasa de fallas es decreciente, el MTBF aumenta y el sistema mejora con el tiempo.
- Si  $\beta = 1$ , la tasa de fallas y el MTBF son constantes, el sistema sigue un proceso homogéneo de Poisson (HPP).

Esta ecuación no debe ser confundida con una distribución de weibull pues solo coincide con ella hasta antes de la primera falla.

#### ✓ Estimación de parámetros $\lambda$ y $\beta$ aplicando Maximum Likelihood (ML)

Las estimaciones siguientes son para el análisis de un sistema y considerando que el proceso de análisis acaba con la última falla.

$$\hat{\lambda} = \frac{N_1}{T_1 \hat{\beta}}$$

$$\hat{\beta} = \frac{N_1}{\sum_{i=1}^{N_1-1} \log\left(\frac{T_1}{X_{i1}}\right)}$$

- Calculo de la tasa de fallas

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

- Calculo del número esperado de fallas

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

- Calculo del MTBF instantáneo

$$MTBF \text{ inst} = 1/\lambda \beta t^{\beta-1}$$

- Calculo de la confiabilidad

$$R(t) = Pr(N(t) - N(t_0) = 0) = e^{-\int_{t_0}^t w(t)dt} = e^{(-\lambda t^\beta)}$$

### 2.3.9 Modelo Log Lineal

El modelo Log Lineal es un modelo paramétrico NHPP (Proceso no homogéneo de Poisson). Este modelo es usado para realizar análisis a sistemas reparables en las cuales los periodos entre fallas no son i.i.d (independientes e idénticamente distribuidos) y las reparaciones son mínimas, eso es, que dejan al sistema “tan malo como antes de que ocurriese la falla”.

#### Tasa de fallas $w(t)$ y Número esperado de fallas $W(t)$

Cox y Lewis proponen el siguiente modelo para hallar la tasa de fallas  $w(t)$  y el número esperado de fallas  $W(t)$  para un proceso NHPP:

$$w(t) = e^{\alpha + \beta t}$$

Dónde:

Un sistema es triste si  $\beta > 0$ , es HPP si  $\beta = 0$  o es feliz si  $\beta < 0$ .

La estimación de máxima verosimilitud entrega las siguientes formulas.

$$W(t) = \frac{e^\alpha}{\beta} (e^{\beta t} - 1)$$

### 2.3.10 Modelo de Dhillon

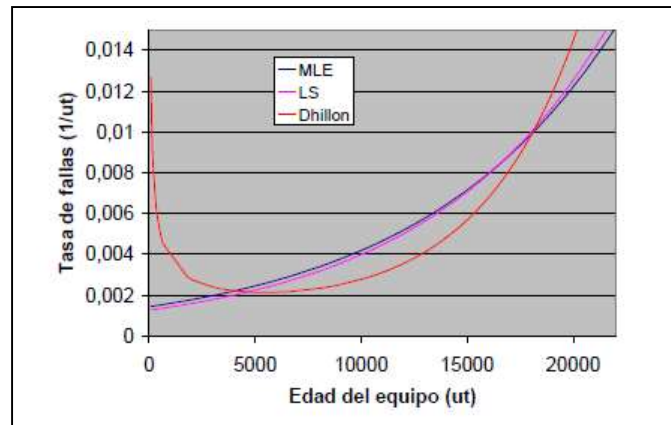
Existen modelos NHPP, tales como los modelos log lineal y de potencia han ganado más aceptación, pero el modelo de Dhillon es especial ya que logra representar las 3 etapas de la vida de un equipo en la curva de la bañera. La tasa de fallas esta descrita por la ecuación:

$$\lambda(t) = \frac{1}{2}\kappa \frac{\alpha}{\sqrt{t}} + (1 - \kappa) \alpha_D e^{\alpha_D t}$$

$$0 \leq \kappa \leq 1$$

El primer término en la ecuación modela la infancia del equipo y el segundo el proceso de envejecimiento.

GRAFICO 2.9  
DIAGRAMA DE LA BAÑERA DE DHILLON PARA EL  
HISTORIAL DE FALLAS UNA FLOTA DE CAMIONES



Fuente: PASCUAL, Rodrigo. "El arte de mantener". 2009

### 2.3.11 Diagrama de Jack knife o de dispersión de tiempos

El Jack Knife es una herramienta de trabajo de mantenimiento, su fin es determinar las prioridades de mantenimiento en base a 2 parámetros: duración de paradas (tiempo medio para reparar MTTR) y números de paradas (Tasa de fallas). Este es un gráfico que gracias a esos 2

parámetros puede asociar la mantenibilidad, confiabilidad e indisponibilidad y de acuerdo a eso saber si el estado de un equipo u componente es leve poco frecuente, grave, crónico y grave-crónico.

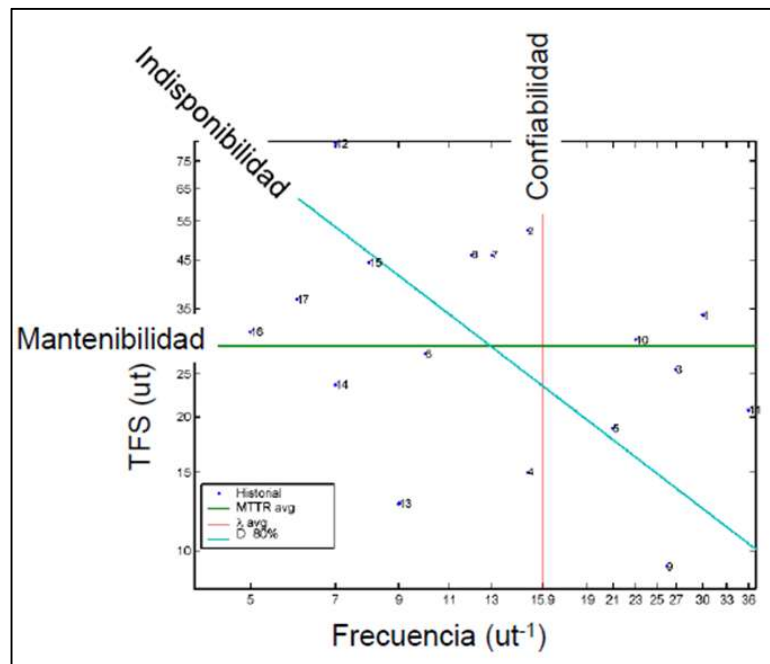
$$I = MTTR \times \lambda$$

I: Indisponibilidad

MTTR: Tiempo medio para reparar

$\lambda$ : Tasa de fallas

GRÁFICO N° 2.10  
DIAGRAMA DE JACK KNIFE



Fuente: PASCUAL, Rodrigo. "El arte de mantener". 2009

### 2.3.12 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

Según Reliasoft Brasil (2008) es una técnica analítica para identificar y analizar la influencia (probabilidad) de los potenciales modos de falla de un producto (proyecto, procesos y sistemas) o servicio, cuyos efectos deban ser considerados, eliminados o minimizados, por medio de una

evaluación de riesgos, la cual es calculada por el producto del índice de ocurrencia, índice de severidad e índice de detectabilidad, que corresponden a un valor de la criticidad en la utilización del producto, su mantenibilidad y seguridad (operacional y ambiental).

Según la QS9000 (quality system 9000) es un grupo de actividades destinado a: reconocer y evaluar la falla potencial de un producto / proceso y los efectos de esta falla; identificar acciones que podrían eliminar y reducir la posibilidad de ocurrencia de una falla potencial; documentar todo el proceso.

De modo general, esta técnica colabora con gran eficacia en la implementación de un estudio de confiabilidad y/o en un proceso de calidad que se pretende instalar en cualquier producto (proyecto, procesos y sistemas) o servicio cuya planificación exija el control significativo de la relación costo beneficio para garantizar la satisfacción total del cliente final y bienestar de cualquier tipo de organización.

### **Construyendo un AMEF**

- Estructuración: se detallan las funciones
- Identificación: Se detallan modos de falla, efectos y causas
- Evaluación: se evalúan los índices de severidad, ocurrencia, detección, NPR
- El **NPR** es el producto del nivel de severidad, nivel de ocurrencia y nivel de detección.
- Acciones: prevenir el modo de falla, reducir la severidad, minimizar la ocurrencia, mejorar la detección
- Seguimiento: en esta etapa se acompaña las acciones tomadas y evaluamos todo el AMEF optimizando los índices y garantizando la eficacia del análisis

Tabla 2.2  
TABLA DE DECISIÓN AMEF

ITEM FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO	SEVERIDAD	CAUSA	OCURRENCIA	CONTROLES ACTUALES		DETECCIÓN	MPR	ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE PLAZO	ACCIONES TOMADAS	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	MPR	OBSERVACIONES IMPORTANTES	
						PREVENCIÓN	DETECCIÓN											

Fuente: RELIASOFT. “*Reliability Growth & Repairable System Data Analysis*”, Tucson-Arizona, 2014.

### 2.3.13 Indicadores de Mantenimiento

#### a) Disponibilidad

Según la SMRP, 2017, p. 37 se define la disponibilidad mecánica como el porcentaje del tiempo que un activo está actualmente operando comparado con las horas programadas de trabajo. Este valor es llamado disponibilidad operacional.

*Disponibilidad %*

$$= \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Tiempo total disponible} - \text{tiempo de stand by}} \times 100$$

Dónde:

*Tiempo de operación*

$$= \text{Tiempo total disponible} - (\text{tiempo de stand by} + \text{tiempo total de paradas})$$

*Tiempo de de paradas*

$$= \text{Tiempo de paradas programadas} + \text{tiempo total de paradas no programadas}$$

Observación: Para el uso del Diagrama de Jack Knife se hará el uso de la **disponibilidad inherente**, la cual según la SMRP, 2017, p.38

relaciona el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio para reparar (MTTR) de la siguiente forma.

$$\text{Disponibilidad Inherente} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

#### **b) Utilización**

Según la SMRP, 2017, p. 53 la utilización mide el porcentaje del tiempo total que un activo es programado para trabajar durante un periodo de tiempo determinado. El periodo de tiempo es generalmente tomado como el tiempo total disponible.

$$\text{Utilización \%} = \frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{tiempo de stand by}}{\text{Tiempo total disponible}} \times 100$$

**Dónde** el tiempo de stand by, es el tiempo en el que un activo está inactivo o está en espera de ser usado.

#### **c) Tiempo medio entre fallas (MTBF)**

Según la SMRP, 2017, p. 75 es la longitud promedio del tiempo de operación entre el número de fallas para un activo o componente. El MTBF es usualmente usado para activos reparables. El tiempo medio para fallar (MTTF), es un término relacionado, es usado primeramente para activos no reparables y componentes. Ambos términos son usados para medir la confiabilidad de los activos y también son conocidos como vida media. El MTBF es la reciprocidad de la tasa de fallas ( $\lambda$ ), como una tasa de fallas constante.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Número de fallas}}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

#### **d) Tiempo medio para reparar (MTTR)**

Según la SMRP, 2017, p. 78 es el tiempo promedio requerido para restaurar un activo a sus capacidades operativas después de una falla.

El MTTR es una medida de la mantenibilidad, usualmente expresado como la probabilidad que una maquinaria puede ser restaurada a su condición específica operativa dentro de un intervalo de tiempo independientemente de si un activo es reparado o reemplazado.

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de reparación o reemplazos}}{\textit{Número de reparaciones o reemplazos}}$$

## 2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Modo de falla:** Según la norma SAE JA1012 (2002 p. 6), es un evento único que causa una falla funcional.

**Falla funcional:** Según la norma SAE JA1012 (2002 p. 6), es un estado en el que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado.

**Efecto de falla:** Según la norma SAE JA1012 (2002 p. 6), es lo que pasa cuando ocurre una falla.

**Consecuencia de falla:** Según la norma SAE JA1012 (2002 p. 5), los efectos que puede provocar un modo de falla o una falla múltiple.

**Causa de falla:** Según la norma SAE JA1012 (2002 p. 17), el término causa raíz se utiliza muy frecuentemente en conexión con el análisis de fallas. Implica que es posible llegar al final y a un nivel de causalidad absoluto, si se profundiza lo suficiente.

**Función:** Según la norma SAE JA1012 (2002 p. 6), lo que el dueño o usuario desea que realice un activo físico o sistema.

**Función primaria:** Según la norma SAE JA1012 (2002 p. 6), la función que constituye la razón principal por la que el activo físico o sistema es adquirido por su dueño o usuario.

**Función secundaria:** Según la norma SAE JA1012 (2002 p. 6), las funciones que un activo físico o sistema tiene que cumplir a parte de sus funciones primarias.

**El tiempo hasta la falla (TTF):** Según Galván Blas y Sosa Adriél (2016), es el tiempo que transcurre hasta que aparece el fallo en un elemento (es



decir, el tiempo en que un elemento se encuentra en condiciones operativas adecuadas hasta que se produce su fallo) es una variable aleatoria.

**Variable aleatoria (tiempo hasta el fallo):** Según Galván Blas y Sosa Adriel (2016), está sujeta a una función de densidad probabilística, que representa la probabilidad por unidad de tiempo de que dicho elemento falle en un instante  $t$ .

**El tiempo medio hasta la falla (MTTF):** Galván Blas y Sosa Adriel (2016), representa el valor esperado o más probable del tiempo transcurrido desde un instante inicial hasta que aparezca un fallo en el elemento en cuestión.

**Confiabilidad:** Según Galván Blas y Sosa Adriel (2016), es la probabilidad que un ítem no falle en un tiempo determinado y condiciones de trabajo dadas.

**Mantenibilidad:** Según Galván Blas y Sosa Adriel (2016), es la capacidad de un elemento para que sus condiciones operativas adecuadas sean restituidas antes de que aparezca una avería o cuando ésta ya ha ocurrido, mediante la aplicación de acciones de Mantenimiento sobre el elemento en cuestión. En otras palabras, la Mantenibilidad de un elemento se refiere a la facilidad con que puede realizarse su Mantenimiento.

**Disponibilidad:** Según Galván Blas y Sosa Adriel (2016), es el porcentaje de tiempo que el activo está realmente operando comparado con el tiempo que está programado para operar.

**Indisponibilidad:** Según Galván Blas y Sosa Adriel (2016), es el porcentaje de tiempo que el activo no está operando debido a intervenciones programadas como no programadas realizadas en el equipo.

**Tiempo medio entre fallas:** Según Galván Blas y Sosa Adriel (2016), es la duración promedio del tiempo operativo entre fallas de un activo o componente. El MTBF es usado primariamente para activos y

componentes reparables de tipo similar. Un término relacionado el Tiempo Medio Para Fallar es usado primariamente para activos y componentes no reparables, por ejemplo focos o cohetes.

**Tiempo medio para reparar:** Según Galván Blas y Sosa Adriel (2016), representa la duración más probable de la reparación del elemento en cuestión. En otras palabras, la media de la variable aleatoria “tiempo de reparación”

**Tasa de fallas:** Según RELIASOFT (2014), se define como tasa de fallo de un elemento en un determinado instante  $t$ ,  $\lambda(t)$ , a la probabilidad condicional por unidad de tiempo de que un dispositivo falle en el intervalo  $(t, t+dt)$ , supuesto que se encontraba en perfectas condiciones operativas en dicho instante  $t$ .

**NPR:** Según RELIASOFT (2014), el nivel de probabilidad de riesgo es el producto del índice de detectabilidad, con el índice de ocurrencia y el índice de severidad.

**Número esperado de fallas:** Es el número de fallas que pueden ocurrir en un tiempo  $t$  determinado.

**ROCOF:** Según Rousand Marvin y Hoyland Arnijot (2004, p. 19), el ROCOF (rate of occurrence of failures) es la tasa de ocurrencia de fallas usada para procesos estocásticos.

**Mantenimiento correctivo:** Según Tavares Lourival (1996, p.21), son todos los servicios ejecutados en los equipos con fallas.

**Mantenimiento preventivo:** Según Tavares Lourival (1996, p.21), son todos los servicios de inspecciones sistemáticas, ajustes, conservación y eliminación de defectos, buscando evitar fallas.

**Análisis de modos y efectos de fallas (FMEA o AMEF):** Según Fernández Antonio (2016, p. 55), es un método semicuantitativo de la confiabilidad de un sistema que puede utilizarse para evaluar la criticidad de sus componentes. Se trata de un procedimiento sistemático de análisis de un sistema para identificar los modos de fallo potenciales de sus

componentes, sus causas y efectos sobre el funcionamiento del sistema evaluar su criticidad.

**Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM):** Según Fernández Antonio (2016, p. 03), es considerada como una herramienta muy adecuada para la implantación u optimización de un plan de mantenimiento preventivo en una instalación que contribuya a la mejora de la eficiencia de la explotación de la misma y por consiguiente al incremento de la rentabilidad de la utilización de los activos implicados.

**Análisis causa raíz (ACR):** Según Fernández Antonio (2016, p. 60), es una metodología que trata de identificar las causas primarias o raíces de los potenciales modos de fallo de los elementos de la instalación en cuestión que se han catalogado como críticos.

**Análisis de peligros y operabilidad (HAZOP):** Según Martorell Sebastián y Sánchez Isabel (2016, p. 73), es considerada en cierto sentido como una extensión de la técnica AMEF, ya que junto al efecto que sobre el riesgo tienen los modos de fallo de los componentes y sistemas, se investiga el efecto que tienen las desviaciones de diversas variables de operación respecto de sus condiciones normales.

## CAPITULO III

### VARIABLES E HIPOTESIS

#### 3.1 IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES

##### a) Variables independientes

- El “Modelo estocástico de Crow AMSAA” es la variable independiente de la hipótesis general ya que es un modelo que se usa en sistemas reparables.

##### b) Variables dependientes

- La “Mejora de la confiabilidad de una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup>” es la variable dependiente de la hipótesis general ya que esta dependerá de la evaluación, diagnóstico y proyección de la confiabilidad que se realizara con el modelo estocástico de Crow AMSAA.

### 3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable independiente	Dimensión	Indicador	Instrumentos de medición
Modelo estocástico de Crow Amsaa	Tiempo medio entre fallas	MTBF: Tiempo medio entre fallas	Software de confiabilidad
	Modelo de Jack Knife	$\lambda$ : Tasa de fallas	Hoja de cálculo Excel
		MTTR: Tiempo medio para reparar	Hoja de cálculo Excel
		I: Indisponibilidad	Hoja de cálculo Excel
	Análisis de modos y efectos de fallas	NPR: Nivel de riesgo	Formato de análisis AMEF
Confiabilidad	R(t): Confiabilidad	Software de confiabilidad	
Variable dependiente	Dimensión	Indicador	Instrumentos de medición
Mejora de la confiabilidad de una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3	Criticidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3	MTBF: Tiempo medio entre fallas	Software de confiabilidad
	Criticidad de los sistemas de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3	$\lambda$ : Tasa de fallas MTTR: Tiempo medio para reparar I: Indisponibilidad	Hoja de cálculo Excel
	Actividades para mejorar la confiabilidad de los sistemas críticos	Ejecución de las actividades acordadas en los plazos establecidos	Formato de análisis AMEF
	Mejora de la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3 para medir la mejora en la confiabilidad	MTBF: Tiempo medio entre fallas R: Confiabilidad N(t): Número esperado de fallas	Software de confiabilidad y hojas de cálculo Excel

### 3.3 HIPÓTESIS GENERAL Y ESPECÍFICAS

#### Hipótesis general

- La aplicación del modelo estocástico de Crow Amsaa mejorara la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3.

#### Hipótesis específicas

- El evaluar los tiempos medios entre fallas, usando el modelo estocástico de Crow AMSAA, puede determinar la criticidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3.

- El uso del modelo de Jack Knife puede determinar la criticidad de los sistemas que componen la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup>.
- El uso del Análisis de Modos y Efectos de Fallas desarrolla actividades para mejorar la confiabilidad de los sistemas críticos de una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup>.
- El determinar la confiabilidad, usando el modelo estocástico de Crow Amssa, puede medir la mejora en la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup>

## CAPITULO IV METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

### 4.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1.1 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño que se usaron para la tesis fueron las siguientes:

**a) Confiabilidad**

$$R(t) = e^{(-\lambda t^\beta)}$$

Dónde:

$\lambda$ : Parámetro de escala

t: tiempo

$\beta$ : Parámetro de forma

**b) Número esperado de fallas W(t)**

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

**c) Tiempo medio entre fallas (MTBF)**

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Número de fallas}}$$

**d) Tasa de fallas ( $\lambda$ )**

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

**e) Tiempo medio para reparar**

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación o reemplazos}}{\text{Número de reparaciones o reemplazos}}$$

**f) Nivel de riesgo (NPR)**

*NPR*

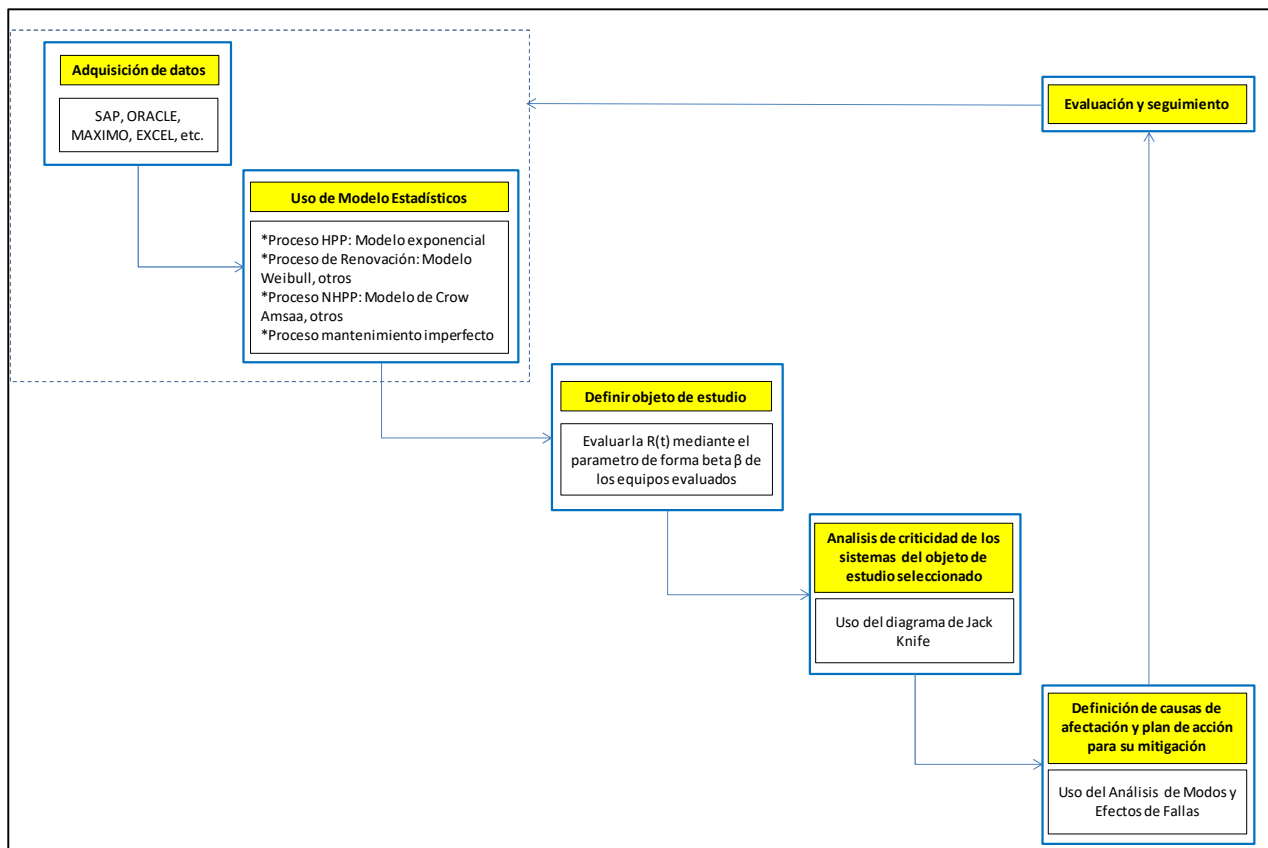
*= Nivel de ocurrencia x nivel de detectabilidad x Nivel de severidad*

### 4.1.2 Etapas del diseño

Las etapas que se siguieron para realizar la tesis fueron una incorporación de varias técnicas y análisis basados en la confiabilidad de los equipos, durante todo el ciclo de vida. Estas etapas se caracterizan por un análisis riguroso de la información y el uso intensivo de herramientas, con el fin de mejorar la confiabilidad de los activos, el cual es el resultado de un mejoramiento continuo de los procesos intensivos de activos físicos. En la siguiente figura 4.1, se presenta en forma esquemática las distintas etapas que se siguieron:

FIGURA 4.1

ETAPAS DEL DISEÑO



Fuente: Elaboración propia



### **a) Adquisición de datos**

Para realizar un análisis de mejora de la confiabilidad se hace uso de distintas herramientas de confiabilidad, ya sean herramientas cualitativas o cuantitativas, sin embargo antes de realizar dichos análisis se debe determinar a qué equipo o equipos se les debe invertir tiempo, energía y en otros casos costos de inversión; para ello se debe realizar una análisis del historial de mantenimiento de los equipos, el cual incluye: inversiones en mejoras o en adquisiciones de componentes nuevo; inversiones en overhauls o de renovación de equipos; costos de operación y mantenimiento; costos por lucro cesante; datos de intervenciones preventivas y datos de intervenciones correctivas (datos de fallas); horas de personal por intervención; datos de indicadores de mantenimiento como confiabilidad, tiempo medio entre fallas, tiempo medio para reparar, disponibilidad, indisponibilidad y utilización. En la presente tesis el análisis del historial de fallas tomo un papel muy importante ya que con estos datos se evaluaron los indicadores de confiabilidad, disponibilidad, indisponibilidad, tiempo medio entre fallas y tiempo medio para reparar, indicadores que desde una perspectiva de mantenimiento son suficientes para analizar la criticidad de uno o varios equipos y así poder invertir tiempo, energía y costos en el mejoramiento de la confiabilidad de los equipos. Así mismo la adquisición de los datos de fallas puede provenir de sistemas CMMS como el SAP, ORACLE, ELIPSE, CITRIX, EXCEL, entre otros, de no tenerse información de fallas se podría optar por recurrir a otras fuentes de información como el manual OREDA (Offshore Reliability Data), el cual es un manual que cuenta con un banco de datos de mantenimiento y confiabilidad para la exploración y producción de equipos en una gran variedad de áreas geográficas, instalaciones, tipos de maquinaria y condiciones de operación. Los principales equipos que se manejan son los oceánicos y submarinos, pero

algunos equipos terrestres también se mencionan, ayudando así a extender el ciclo de vida de los equipos y minimizar el costo de mantenimiento al aplicar sus estudios de confiabilidad, sin embargo no fue materia de estudio para esta tesis. Otra forma de recolección de datos es tomando información de campo, recolectándolo de los usuarios de los equipos llamados: operadores, técnicos, supervisores, entre otros. El teorema de Bayes es usado para poder estudiar este caso, pero no fue materia de estudio para esta tesis.

Es importante antes de analizar los datos de fallas realizarles un filtrado de datos, esto es verificar que los datos incluidos en el historial de mantenimiento estén correctamente llenados y tengan toda la información necesaria para iniciar con el análisis, ya que de no ser así los resultados y decisiones que se tomen pueden ser perjudiciales para los equipos y para la organización.

La información que fue analizada en la tesis fue un historial de fallas desde el 2011 hasta el 2018 de cargadores de bajo perfil (scoops) de 0.75 yd<sup>3</sup>, 1.5 yd<sup>3</sup> y 4 yd<sup>3</sup>, los cuales tenían la siguiente información: marca, modelo, capacidad, número de serie, horas de operación, tipos de intervenciones, tiempo invertido en cada intervención, sistemas de los equipos intervenidos, hora de inicio y fin de intervención.

### **Uso de modelos estadísticos**

Como se indicó en la “adquisición de datos” se requiere analizar cual o cuales son los equipos más críticos a los que se les invertirá tiempo y energía en mejorar su confiabilidad, para ello se realizó un estudio de la confiabilidad de las flotas de cargadores de bajos perfil (de capacidad de 0.75 yd<sup>3</sup>, 1.5 yd<sup>3</sup> y 4 yd<sup>3</sup>) y así poder determinar cuál de las tres flotas es la más crítica. Este estudio de la confiabilidad consiste en seleccionar el modelo estadístico que se ajuste a los datos de fallas de cada flota y así obtener el parámetro de forma beta  $\beta$ , con

el cual se puede determinar si el equipo está dentro de una etapa de desgaste crítica. La pregunta que resulta es ¿Cómo saber qué modelo estadístico usar?, porque se debe entender que un modelo estadístico (Ejm: Weibull) no es aplicable para todos los casos y de usarlo sin haber pasado por una selección previa, podría ser causal de fallas imprevistas a la flota de equipos y perjudicar a la organización. En el capítulo 2.3 se muestran los diferentes procesos de conteo, tipos de intervenciones, pruebas de tendencias probabilísticas y modelos estadísticos que se usan para realizar un análisis de confiabilidad, para poder usarlos o seleccionarlos correctamente se debe seguir el procedimiento indicado en la Figura 4.2, p. 56.

A continuación se explicara el procedimiento indicado en la Figura 4.2 y como será uso en la tesis.

- **CMMS Base de datos**

En este punto se realizara la recolección de los datos de fallas almacenados en softwards de mantenimiento o CMMS, para esta tesis la recolección de datos fue por archivos Excel.

- **Definir objeto de estudio, identificar sistemas similares**

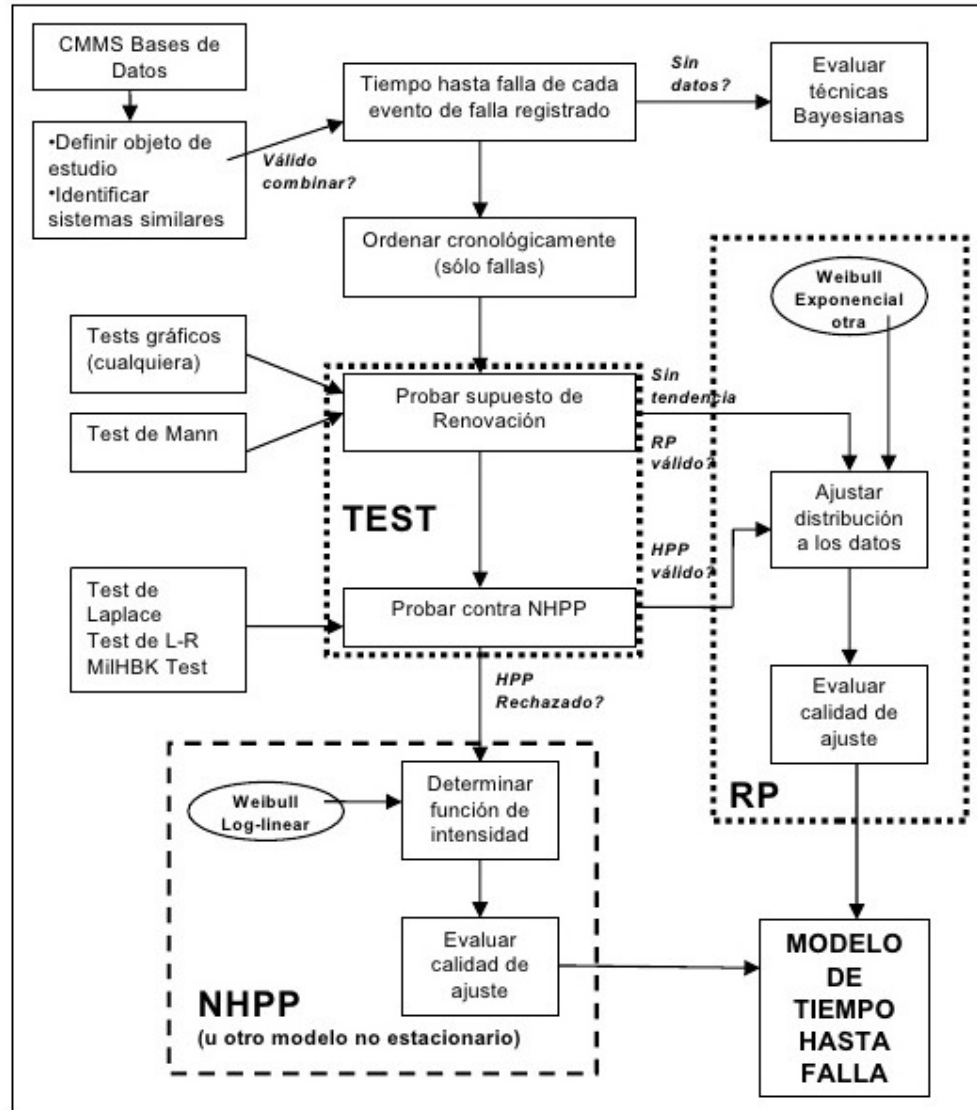
En este punto se evaluan la base de datos y se identifica el objeto de estudio, para el caso de la tesis se seleccionaron las flotas de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup>, 1.5 yd<sup>3</sup> y 4 yd<sup>3</sup> como las flotas mas importantes de la mina.

- **Tiempo hasta la falla de cada evento de falla registrado**

En este punto se debe obtener el tiempo hasta la falla de cada evento o falla ocurrido, este tiempo hasta la falla es el tiempo que transcurre desde la ultima intervención correctiva hasta la siguiente. Ver figura 4.3, p. 57.

FIGURA 4.2.

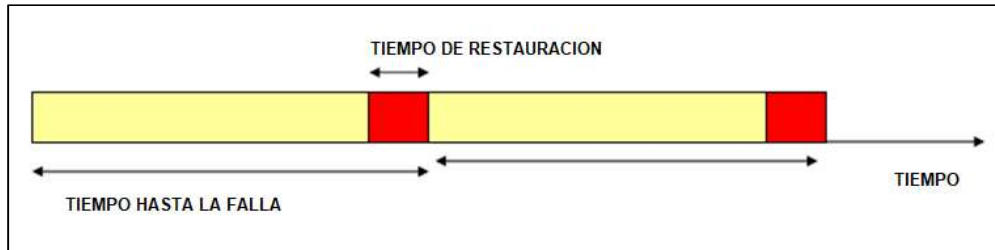
PROCEDIMIENTO PRACTICO PARA LA SELECCIÓN DE MODELOS ESTADISTICOS BASADOS EN LA EVALUACION DE TENDENCIAS DE DATOS DE MANTENIMIENTO



Fuente: Louit et al., Reliability Engineering and System Safety, 2009.

FIGURA 4.3

TIEMPO HASTA LA FALLA VS TIEMPO DE RESTAURACION



Fuente: Elaboración propia

- **Ordenar cronológicamente**

Luego de obtener todos los tiempos hasta la falla se deben ordenar cronológicamente, adicional a esto se deben ordenar vs el número de falla al que representan. Ver Tabla 4.1.

TABLA 4.1

TABLA DE FALLAS VS TIEMPOS HASTA LA FALLA

N(t)	TTF
1	133.7
2	206.4
3	215.8
4	226.5
5	371.1
6	493.4
7	626
8	725.9
9	764.7
10	767

Fuente: Elaboración propia

- **TEST**

En este punto se deben realizar distintas pruebas de tendencias probabilísticas las cuales pueden ser por el método gráfico o método matemático. En esta tesis se usó el método matemático como el **test**

**de tendencia de Laplace.** Según lo explicado en el capítulo 2.3. Por medio de estos test de tendencias se determinara si al equipo o equipos se les puede aplicar los modelos de renovación perfecta, HPP o NHPP. Para el calculo de esta prueba se uso el Softward RELIASOFT RGA.

- **NHPP**

Si se determina por medio de los test de tendencias que el equipo obedece a un proceso NHPP se evalua la calidad de ajuste de los datos para poder seleccionar el modelo a usar para este proceso, el modelo usado en esta Tesis fue el modelo de Crow Amsaa. Para la aplicación del modelo de Crow Amsaa se uso el Softward RELIASOFT RGA.

- **HPP - RP**

Si se determina por medio de los test de tendencias que el equipo ovedece a un proceso HPP o de renovación (RP) se evalua la calida de ajuste de los datos para poder seleccionar el modelo a usar para cada proceso, el cual podría ser para un proceso HPP el modelo Exponencial y para el proceso RP el modelo de Weibull.

**b) Definir objeto de estudio**

Luego de seleccionar el modelo estadístico apropiado se realiza la evaluación de la confiabilidad de las flotas de cargadores de bajo perfil clasificados por su capacidades de 0.75 yd<sup>3</sup>, 1.5 yd<sup>3</sup> y 4 yd<sup>3</sup>, para ello se realizará el cálculo del parámetro de forma beta (revisar capitulo 2.3) con el único fin de evaluar cual de las tres flotas se encuentran en una etapa de desgaste mas crítica. Para realizar el cálculo del parámetro beta se uso el software RELIASOFT RGA.

**c) Análisis de criticidad de los sistemas del objeto de estudio seleccionado**

Luego de haber seleccionado la flota de equipos más crítica se procederá con la evaluación de los sistemas del que está compuesto un cargador de bajo perfil (revisar capítulo 2.2) usando el diagrama de Jack Knife (revisar capítulo 2.3), esta evaluación consiste en determinar cuál de todos los sistemas es el que falla continuamente, se le intervienen mayores tiempos de reparación y por lo tanto que cause una alta indisponibilidad al equipo.

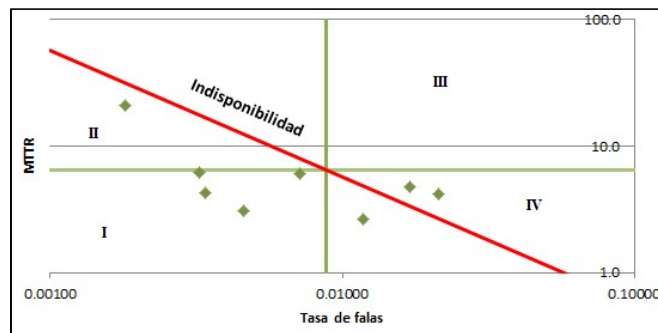
Para la aplicación del diagrama de Jack Knife se debe contar con la siguiente información: La tasa de fallas, el MTTR, la indisponibilidad y cálculo del promedio de cada una. Estos indicadores y los promedios obtenidos se deben calcular por sistemas y ordenar como se indica en la tabla 4.2. Posterior a eso cada uno de los indicadores se debe graficar a una escala logarítmica, ver Gráfico 4.1.

**TABLA 4.2**  
**INDICADORES POR SISTEMAS PARA EL CÁLCULO DEL**  
**DIAGRAMA DE JACK KNIFE**

#	Sistema	MTTR	Tasa fallas (1/hr)	Indisponibilidad
1	S. hidráulico	4.2	0.02143	9%
2	Motor	4.8	0.01703	8%
3	Transmisión	6.1	0.00714	4%
4	Misc.	20.9	0.00181	4%
5	S. eléctrico	2.6	0.01180	3%
6	Frenos	6.1	0.00325	2%
7	Estructura	4.3	0.00341	1%
8	Ruedas y neumáticos	3.1	0.00459	1%

Fuente: Elaboración propia

**GRAFICO 4.1**  
**DIAGRAMA DE JACK KNIFE**



Fuente: Elaboración propia

El diagrama de Jack Knife se divide en cuatro cuadrantes, los cuales se explican a continuación:

- I cuadrante: Tasa de fallas baja y MTTR bajo
- II cuadrante: Tasa de fallas baja y MTTR elevado
- III Cuadrante: Tasa de fallas elevadas y MTTR elevado
- IV Cuadrante: Tasa de fallas elevadas y MTTR bajo

De lo indicado el sistema más crítico será aquel que se encuentre en el III cuadrante del diagrama de Jack Knife.

#### **d) Definición de causas de afectación y plan de acción para su mitigación**

Luego de encontrar cuales son los sistemas más críticos se deben usar herramientas de análisis de fallas que permitan: implementar y mejorar planes de mantenimiento; invertir en mejoras y renovaciones; capacitar al personal; y otras decisiones que se requieran para mejorar la confiabilidad de los sistemas más críticos y así mejorar la confiabilidad del o de los equipos.

En la actualidad existen diferentes herramientas de análisis de fallas las cuales son: RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad), ACR (Análisis causa raíz), AMEF (Análisis de modos y efectos de fallas) y HAZOP (Estudio de riesgo y operabilidad). Ver capítulo 2.4. Para la tesis se usó el Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) con el fin de evaluar las causas raíces de los modos de fallas de las funciones de cada sistema de los cargadores de bajo perfil y así poder implementar actividades que mejoren su confiabilidad.

Para la construcción del AMEF se deben seguir los siguientes pasos:

- Estructuración: se detallan las funciones
- Identificación: Se detallan modos de falla, efectos y causas



- Evaluación: se evalúan los índices de severidad, ocurrencia, detección, NPR
- El **NPR** es el producto del nivel de severidad, nivel de ocurrencia y nivel de detección.
- Acciones: prevenir el modo de falla, reducir la severidad, minimizar la ocurrencia, mejorar la detección
- Seguimiento: en esta etapa se acompaña las acciones tomadas y evaluamos toda la AMEF optimizando los índices y garantizando la eficacia del análisis

TABLA 4.3  
TABLA DE DECISIÓN AMEF

ITEM FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO	SEVERIDAD	CAUSA	OCURRENCIA	CONTROLES ACTUALES		DETECCIÓN	NPR	ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE PLAZO	ACCIONES TOMADAS	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	OBSERVACIONES IMPORTANTES	
						PREVENCIÓN	DETECCIÓN											

Fuente: RELIASOFT. “*Reliability Growth & Repairable System Data Analysis*”, Tucson-Arizona, 2014.

El NPR o nivel de riesgo es el resultado del producto del nivel de detección, nivel de ocurrencia y nivel de severidad, la forma de determinar el valor de cada nivel es en base a Tabla 4.4 p. 62, Tabla 4.5, p. 62 y Tabla 4.6, p. 63.

TABLA 4.4

ESCALA DE DETECCION SAE AMEF

D	DETECCIÓN	CRITÉRIUM
1	Muy Alta	Los Controles del Proyecto casi ciertamente van a detectar una causa potencial y subsecuente modo de falla. La máquina no necesita control.
2	Muy Alta	
3	Alta	Los Controles del Proyecto pueden detectar una causa potencial y subsecuente modo de falla. Los Controles de la máquina van a prever una falla inminente y van a aislar la causa.
4	Alta	
5	Moderada	Los Controles del Proyecto pueden detectar una causa potencial y subsecuente modo de falla. Los Controles de la máquina van a indicar una falla inminente.
6	Moderada	
7	Baja	Los Controles del Proyecto y de la máquina no van a prevenir la ocurrencia de una falla. Los Controles de la máquina solamente van a aislar la causa y subsecuente modo de falla despues de su ocurrencia.
8	Baja	
9	Muy Baja	Los Controles del Proyecto y/o de la máquina no pueden detectar una causa potencial y subsecuente modo de falla, o no hay ningún Control en el Proyecto y en la máquina.
10	Muy Baja	

Fuente: SAE 1739 Profile: Base on AIAG FMEA-3, for Maintenance FMEA (MFMEA)

TABLA 4.5

ESCALA DE SEVERIDAD SAE AMEF

S	EFEECTO	EFEECTO EN LA MANUFATURA	CLAS
1	Ningún	La variabilidad del proceso permanece dentro de los límites de especificación	S
2	Mucho Menor	La variabilidad del proceso no esta dentro de los límites de especificación. Los ajustes u otro control del proceso necesitan ser hechos durante la producción. Ninguna parada y ninguna producción de pieza/item con defecto.	
3	Menor	Parada hasta 10 minutos, sin perdida de producción	M
4	Muy Bajo	Parada entre 10 y 30 minutos, sin pérdida de producción	
5	Bajo	Parada entre 30 minutos y 1 hora o pérdida de producción de hasta 1 hora (suponiendo que pasada la 1 hora se reemplaza el equipo por otro o se cambia la estrategia de producción)	
6	Moderado	Parada entre 1 hora y 4 horas o pérdida de producción de hasta 2 horas (suponiendo que pasada las 2 horas se reemplaza el equipo por otro o se cambia la estrategia de producción)	LI
7	Alto	Parada entre 4 y 8 horas o pérdida de producción de hasta 5 horas (suponiendo que pasada las 5 horas se reemplaza el equipo por otro o se cambia la estrategia de producción)	
8	Muy Alto	Parada entre 8 y 24 horas o pérdida de producción de hasta 12 horas (suponiendo que pasada las 12 horas se reemplaza el equipo por otro o se cambia la estrategia de producción)	
9	Altísimo	Parada más de 24 horas, la pérdida de producción asciende a mas de 12 horas (suponiendo que no hay equipo que lo reemplace)	
10	Peligroso con/sin Notificación Previa	Severidad abusiva sobrepasando los estándares de seguridad y medio ambiente. Afecta el medio ambiente o afecta la seguridad de las personas en la planta de operación, en la planta de producción y en la de manutención y/o no obedecen los reglamentos del gobierno.	C

Fuente: SAE 1739 Profile: Base on AIAG FMEA-3, for Maintenance FMEA (MFMEA)

TABLA 4.6

ESCALA DE OCURRENCIA SAE AMEF

O	PROBABILIDAD	TASAS DE FALLAS POSIBLES
1	La falla ocurre cada 5 años.	1 falla en 25.000 horas $O R(t) < 98\%$ : el MTBF son 50 veces mayor que el tiempo requerido por el usuario
2	La falla ocurre cada 2 años	1 falla en 10.000 horas $O R(t) < 95\%$ : el MTBF son 20 veces mayor que el tiempo requerido por el usuario
3	La falla ocurre cada año.	1 falla en 5.000 horas $O R(t) < 90\%$ : el MTBF son 10 veces mayor que el tiempo requerido por el usuario
4	La falla ocurre cada 6 meses.	1 falla en 2.500 horas $O R(t) < 85\%$ : el MTBF son 6 veces mayor que el tiempo requerido por el usuario
5	La falla ocurre cada 3 meses.	1 falla en 1.000 horas $O R(t) < 78\%$ : el MTBF son 4 veces mayor que el tiempo requerido por el usuario
6	La falla ocurre cada mes.	1 falla en 350 horas $O R(t) < 60\%$ : el MTBF son 2 veces mayor que el tiempo requerido por el usuario
7	La falla ocurre cada semana.	1 falla en 80 horas $O R(t) < 37\%$ : el MTBF es igual a el tiempo requerido por el usuario
8	La falla ocurre cada día.	1 falla en 24 horas $O R(t) < 20\%$ : el MTBF es cerca de 60% de el tiempo requerido por el usuario
9	La falla ocurre cada turno	1 falla en 8 horas $O R(t) < 5\%$ : el MTBF es cerca de 30% de el tiempo requerido por el usuario
10	La falla ocurre cada hora.	1 falla en 1 hora $O R(t) < 1\%$ : el MTBF es cerca de 10% de el tiempo requerido por el usuario

Fuente: SAE 1739 Profile: Base on AIAG FMEA-3, for Maintenance FMEA (MFMEA)

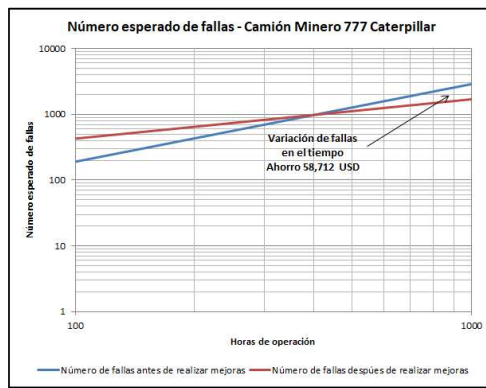
**e) Evaluación y seguimiento**

Luego de implementar las mejoras postpuestas en el AMEF se debe evaluar nuevamente la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil y determinar si hubo una mejora en la confiabilidad, para ello nuevamente se harán uso de los modelos estadístico y en base a ello se determinara la confiabilidad de la flota y si hubo mejora o no, en este caso se volverán a aplicar los pasos descritos en los puntos a, b y c. Recodar que para el cálculo de la tesis se usó el modelo estocástico de Crow Amsaa. Para medir si hubo mejoras se calculó la confiabilidad de la flota en dos escenarios para un tiempo “t”, el primero asumiendo que no se hayan realizado ninguna intervención y el segundo con los datos obtenidos luego de la intervención, con esto se podrá demostrar la hipótesis de la mejora de confiabilidad mediante el uso del modelo

de Crow Amsaa (Ver Gráfico 4.3). Como complemento a este cálculo se proyectaran los números de fallas en los mismos escenarios indicados y así poder visualizar las mejoras en la confiabilidad. Ver Gráfico 4.2.

GRAFICO 4.2

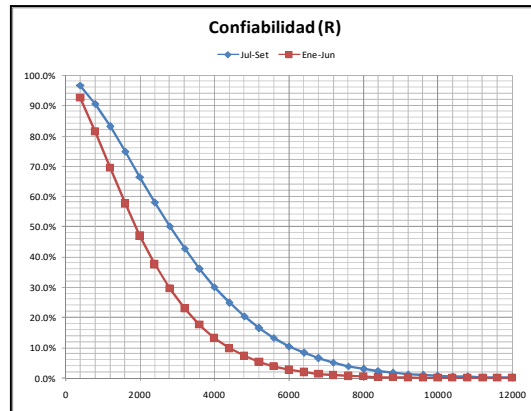
PROYECCIÓN DE NUMERO DE FALLAS ANTES DE REALIZAR MEJORAS VS DESPUES DE REALIZAR MEJORAS



Fuente: Elaboración propia

GRAFICO 4.3

PROYECCIÓN DE LA CONFIABILIDAD ANTES DE REALIZAR MEJORAS VS DESPUES DE REALIZAR MEJORAS



Fuente: Elaboración propia

## 4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Según Sampieri (2010, p. 174) una población es el conjunto son todos la casos que concuerdan con una serie de especificaciones y la muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse o delimitarse de antemano con precisión, esté deberá ser representativo de dicha población.

En la tesis se analizó una flota de 12 cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3 de capacidad de la marca SANDVIK y modelo LH201-D (Ver Tabla 4.7), la misma que es nuestra unidad de análisis; por lo que la población y la muestra coinciden.

TABLA 4.7  
RELACIÓN DE CARGADORES DE BAJO PERFIL DE 0.75 YD3

EQUIPO	ID EQUIPO	MARCA	MODELO	SERIE	TIPO	CAP.	AÑO
Microscopio	SC-05	Sandvik	LH 201-100D	L06L0271	Diesel	0.75	2006
Microscopio	SC-06	Sandvik	LH 201-100D	L04L0229	Diesel	0.75	2004
Microscopio	SC-07	Sandvik	LH 201-100D	L06L0291	Diesel	0.75	2006
Microscopio	SC-08	Sandvik	LH 201-100D	L06L0294	Diesel	0.75	2006
Microscopio	SC-09	Sandvik	LH 201-100D	L06L0293	Diesel	0.75	2006
Microscopio	SC-11	Sandvik	LH 201-100D	L06L0299	Diesel	0.75	2006
Microscopio	SC-12	Sandvik	LH 201-100D	L06L0300	Diesel	0.75	2006
Microscopio	SC-28	Sandvik	LH 201-100D	L08L0459A	Diesel	0.75	2008
Microscopio	SC-29	Sandvik	LH 201-100D	L08L0460A	Diesel	0.75	2008
Microscopio	SC-32	Sandvik	LH 201-100D	L04L0278	Diesel	0.75	2006
Microscopio	SC-44	Sandvik	LH 201-100D	L11L0451	Diesel	0.75	2011
Microscopio	SC-31	Sandvik	LH 201-100D	L04L0230	Diesel	0.75	2004

Fuente: Elaboración propia

## 4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN DOCUMENTAL

Según Sampieri (2010, p. 196) para esta tesis la técnica de recolección de datos es la cuantitativa, esto porque sus técnicas son estandarizadas, sistemáticas y buscan obtener datos precisos.

Sampieri (2010, p. 211) muestra una forma de cómo construir un instrumento de medición, para hacerlo es transitar de la variable a sus dimensiones o componentes, luego a los indicadores y finalmente a los

ítems o reactivos. Se realizó de la misma forma obteniendo la siguiente tabla con los instrumentos de recolección de datos.

TABLA 4.8  
INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

<b>Variable independiente</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Instrumentos de recolección de datos</b>	
Modelo estocástico de Crow Amsaa	Tiempo medio entre fallas	MTBF: Tiempo medio entre fallas	Historial de reporte de mantenimiento, Formato para el Diagrama de Jack Knife, programas de cálculo Excel	
	Modelo de Jack Knife	$\lambda$ : Tasa de fallas		
		MTTR: Tiempo medio para reparar		
		I: indisponibilidad		
	Análisis de modos y efectos de fallas	NPR: Nivel de riesgo		
Confiabilidad	R(t): Confiabilidad			
<b>Variable dependiente</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>		
Mejora de la confiabilidad de una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3	Criticidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3	MTBF: Tiempo medio entre fallas		
	Criticidad de los sistemas de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3	$\lambda$ : Tasa de fallas MTTR: Tiempo medio para reparar I: indisponibilidad		
	Actividades para mejorar la confiabilidad de los sistemas críticos	Ejecución de las actividades acordadas en los plazos establecidos		
	Mejora de la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3 para medir la mejora en la confiabilidad	MTBF: Tiempo medio entre fallas R: Confiabilidad N(t): Número esperado de fallas		

Fuente: Elaboración propia

Los instrumentos indicados en la tabla se pueden encontrar en el anexo de instrumentos validados.

#### 4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO

En la presente tesis la investigación realizada fue gabinete, no requiriendo realizar una recolección de información en campo.

#### 4.5 ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

##### a) Adquisición de datos

La información que fue analizada en la tesis fue un historial de fallas desde el 2011 hasta el 2018 de cargadores de bajo perfil (desde ahora serán llamados scoops) de 0.75 yd<sup>3</sup>, 1.5 yd<sup>3</sup> y 4 yd<sup>3</sup>. Para ver la relación de scoops ver la Tabla 4.9.

TABLA 4.9  
RELACION DE SCOOPS DE 0.75 YD3, 1.5 YD3 Y 4YD3

EQUIPO	ID EQUIPO	MARCA	MODELO	TIPO	CAP.	AÑO
Scoop	SC-05	Sandvik	LH 201-100D	Diesel	0.75	2006
Scoop	SC-06	Sandvik	LH 201-100D	Diesel	0.75	2004
Scoop	SC-07	Sandvik	LH 201-100D	Diesel	0.75	2006
Scoop	SC-08	Sandvik	LH 201-100D	Diesel	0.75	2006
Scoop	SC-09	Sandvik	LH 201-100D	Diesel	0.75	2006
Scoop	SC-11	Sandvik	LH 201-100D	Diesel	0.75	2006
Scoop	SC-12	Sandvik	LH 201-100D	Diesel	0.75	2006
Scoop	SC-28	Sandvik	LH 201-100D	Diesel	0.75	2008
Scoop	SC-29	Sandvik	LH 201-100D	Diesel	0.75	2008
Scoop	SC-32	Sandvik	LH 201-100D	Diesel	0.75	2006
Scoop	SC-44	Sandvik	LH 201-100D	Diesel	0.75	2011
Scoop	SC-31	Sandvik	LH 201-100D	Diesel	0.75	2004
Scoop	SC-19	Sandvik	LH 202-100D	Diesel	1.50	2007
Scoop	SC-20	Sandvik	LH 202-100D	Diesel	1.50	2007
Scoop	SC-21	Sandvik	LH 202-100D	Diesel	1.50	2007
Scoop	SC-26	Sandvik	LH307	Diesel	4.00	2008
Scoop	SC-34	Sandvik	LH307	Diesel	4.00	2008
Scoop	SC-42	Sandvik	LH307	Diesel	4.00	2008
Scoop	SC-52	Sandvik	LH307	Diesel	4.00	2010

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el historial de fallas se debe primero hacer un filtrado de los mantenimientos correctivos del historial de mantenimiento, para

ello se usó la información (historial de mantenimiento) almacenada en una hoja de datos EXCEL con la que cuenta la Minera Arcata. Posterior a ello se analizaron 47,090 datos de intervenciones de mantenimiento, de las cuales se seleccionaron solo aquellos datos correspondientes a mantenimientos correctivos y se les colocaba el signo "MC", por lo que se logró seleccionar 5,551 datos catalogados como MC (mantenimiento correctivo). Ver Anexo 3.1.

#### **b) Uso de modelos estadísticos**

Este estudio de la confiabilidad consiste en seleccionar el modelo estadístico que se ajuste a los datos de fallas de cada flota y así obtener el parámetro de forma beta  $\beta$ , con el cual se puede determinar si el equipo está dentro de una etapa de desgaste crítica.

Para seleccionar el modelo estadístico correspondiente se hará uso de los pasos indicados en el capítulo 4.1.2 y se hará uso del software RELIASOFT RGA.

- **CMMS Bases de datos - Definir objeto de estudio, identificar sistemas similares**

En el punto "a" se identificaron los sistemas o equipos que se analizaron, para lo cual se separaron por flotas de 0.75 yd<sup>3</sup>, 1.5 yd<sup>3</sup> y 4 yd<sup>3</sup>. Así mismo se realizó un filtrado de datos de todo el historial de mantenimiento, obteniendo solo los datos en que solo se hayan realizado mantenimientos correctivos (datos de fallas).

- **Calcular Tiempo hasta la falla de cada evento de falla registrado - Ordenar cronológicamente**

La base de datos de fallas que se obtuvo ahora deberá ser separada por flotas de scoops, luego ser separadas por equipos (de acuerdo al tipo de flota), posterior a eso estos datos de fallas deberán ser ordenados cronológicamente conteniendo los parámetros: número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla. Ver Anexo 3.2

- **TEST - NHPP o HPP o RP**



Luego de haber obtenido los datos de fallas por equipos según el tipo de flota se usara el software RELIASOFT RGA con el fin de determinar si el test de tendencia de Laplace hace referencia a un sistema feliz, sistema triste o sistema neutro, en caso de ser sistema feliz o triste se podrá usar los modelos NHPP, en caso de ser sistema neutro se deberá verificar si le corresponde un análisis HPP o análisis RP.

Haciendo uso del Software RELIASOFT RGA **para 10,000 horas de operación acumuladas** se obtuvo que los scoops de 0.75 yd<sup>3</sup>, 1.5 yd<sup>3</sup> y 4 yd<sup>3</sup> tenían una **tendencia de mejora**, esto quiere decir que se encontraban dentro de un sistema feliz en la que el MTBF (Tiempo medio entre fallas) aumenta en el tiempo (fallan menos en el transcurso del tiempo, ver capítulo 2.3). Para visualizar los resultados Ver Tabla 4.10, Tabla 4.11, p. 70 y Tabla 4.12, p. 70. Como se indicó en el párrafo anterior el modelo estadístico que se ajusta para un sistema feliz es el NHPP, en este caso el modelo estocástico de Crow Amsaa.

TABLA 4.10  
TEST DE TENDENCIA DE LAPLACE PARA UNA FLOTA DE  
SCOOPS DE 0.75 YD3

Informe de Resultados Scoop 0.75 yd3	
<b>SC-05</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-06</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-07</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-08</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-09</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-11</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-12</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-28</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-29</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-31</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-32</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-44</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora

Fuente: Softward RELIASOFT RGA

TABLA 4.11

TEST DE TENDENCIA DE LAPLACE PARA UNA FLOTA DE  
SCOOPS DE 1.5 YD3

<b>Informe de Resultados Scoop 1.5 yd3</b>	
<b>SC-19</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-20</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-21</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora

Fuente: Softward RELIASOFT RGA

TABLA 4.12

TEST DE TENDENCIA DE LAPLACE PARA UNA FLOTA DE  
SCOOPS DE 4 YD3

<b>Informe de Resultados Scoop 4 yd3</b>	
<b>SC-26</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-34</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-42</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-52</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora

Fuente: Softward RELIASOFT RGA

**c) Definir objeto de estudio**

Luego de seleccionar el modelo estadístico apropiado se realiza la evaluación de la confiabilidad de las flotas de cargadores de bajo perfil clasificados por su capacidades de 0.75 yd3, 1.5 yd3 y 4 yd3, para ello se realizó el cálculo del parámetro de forma beta (revisar capítulo 2.3) con el único fin de evaluar cuál de las tres flotas tiene un tiempo medio entre fallas crítico. Para realizar el cálculo del parámetro beta se usó el software RELIASOFT RGA obteniendo los siguientes resultados.

TABLA 4.13

INFORME DE RESULTADOS PARA UNA FLOTA DE SCOOPS DE  
0.75 YD3

<b>Informe de Resultados Scoop 0.75 yd3</b>	
Tipo de informe	Resultados
<b>Información de usuario</b>	
Nombre	Adolfo Casilla
Empresa	CIGAM
Fecha	24/11/2018
<b>Parámetros</b>	
Modelo	Crow-AMSAA (NHPP)
Análisis	MLE
Beta1	0.8082
Lambda1 (h)	0.1906

Fuente: Softward RELIASOFT RGA

TABLA 4.14

INFORME DE RESULTADOS PARA UNA FLOTA DE SCOOPS DE  
1.5 YD3

<b>Informe de Resultados Scoop 1.5 yd3</b>	
Tipo de informe	Resultados
<b>Información de usuario</b>	
Nombre	Adolfo Casilla
Empresa	CIGAM
Fecha	24/11/2018
<b>Parámetros</b>	
Modelo	Crow-AMSAA (NHPP)
Análisis	MLE
Beta2	0.4896
Lambda2 (h)	2.7712

Fuente: Softward RELIASOFT RGA

TABLA 4.15

INFORME DE RESULTADOS PARA UNA FLOTA DE SCOOPS DE 4  
YD3

Informe de Resultados Scoop 4 yd3	
Tipo de informe	Resultados
<b>Información de usuario</b>	
Nombre	Adolfo Casilla
Empresa	CIGAM
Fecha	24/11/2018
<b>Parámetros</b>	
Modelo	Crow-AMSA (NHPP)
Análisis	MLE
Beta3	0.3084
Lambda3 (h)	16.7042

Fuente: Softward RELIASOFT RGA

Se visualiza que:

$$1 > \text{Beta1} > \text{Beta2} > \text{Beta3}$$

$$1 > 0.8082 > 0.4896 > 0.3084$$

Se puede visualizar que el beta1, beta2 y beta3 son menores que 1, esto indica que el tiempo medio entre fallas (MTBF) aumenta con el transcurrir del tiempo, sin embargo se debe seleccionar cuál de las tres flotas de scoops es la más crítica, por ende se visualiza que el Beta 1 correspondiente a la flota de scoops de 0.75 yd3 es la más crítica ya que cuando mayor sea el beta el tiempo medio entre fallas (MTBF) se reduce con el transcurrir del tiempo.

- **Cálculo del tiempo medio entre fallas MTBF**

Se realizó el cálculo del MTBF para 10,000 horas de operación con el fin que se pueda visualizar matemáticamente y gráficamente que la flota de scoops de 0.75 yd3 es la más crítica.

De la Tabla 4.13, p. 71, Tabla 4.14, p. 71 y Tabla 4.15 se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 4.16

LAMBDA  $\lambda$  Y BETA  $\beta$  DE LAS FLOTAS DE SCOOPS DE 0.75 YD3,  
1.5 YD3 Y 4 YD3.

Flota scoops	Beta	Lambda
0.75 yd3	0.8082	0.1906
1.5 yd3	0.4896	2.7212
4 yd3	0.3084	16.7042

Fuente: Elaboración propia

Usando la siguiente ecuación para el cálculo del MTBF

$$MTBF_{inst} = 1/\lambda\beta t^{\beta-1}$$

Para un tiempo proyectado de 10,000 horas y reemplazando los valores de lambda y beta se obtuvo lo siguiente:

TABLA 4.17

CALCULO DEL MTBF (TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS)

Flota scoops	Beta	Lambda	MTBF
0.75 yd3	0.8082	0.1906	38
1.5 yd3	0.4896	2.7212	83
4 yd3	0.3084	16.7042	113

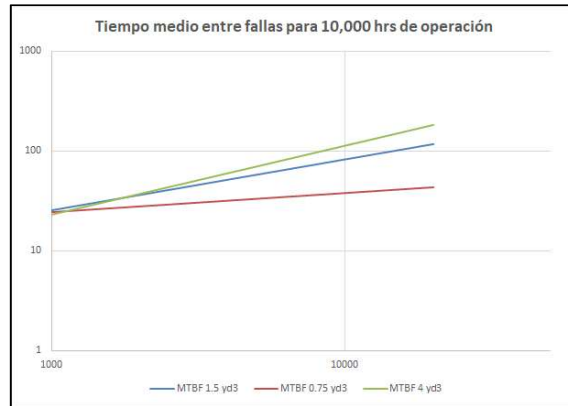
Fuente: Elaboración propia

Se realizó una gráfica de la proyección del MTBF para 10,000 horas acumuladas de operación en escala logarítmica. Ver gráfico 4.4, p.72.

De la tabla 4.17 y el gráfico 4.4 se puede visualizar que la flota de scoops de 0.75 yd3 es la que tiene un MTBF menor para 10,000 horas de operación.

## GRAFICO N°4.4

### PROYECCION DEL MTBF PARA 10,000 HRS DE OPERACION



Fuente: Elaboración propia

- **Cálculo del Número esperado de fallas  $W(t)$**

Se realizó el cálculo del número esperado de fallas para 10,000 horas de operación con el fin que se pueda visualizar matemáticamente y gráficamente que la flota de scoops de 0.75 yd3 es la más crítica.

Usando la siguiente ecuación para el cálculo del  $W(t)$ .

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

Para un tiempo proyectado de 10,000 horas y reemplazando los valores de lambda y beta se obtuvo lo siguiente:

TABLA 4.18

#### CALCULO DEL $W(t)$ (NUMERO ESPERADO DE FALLAS)

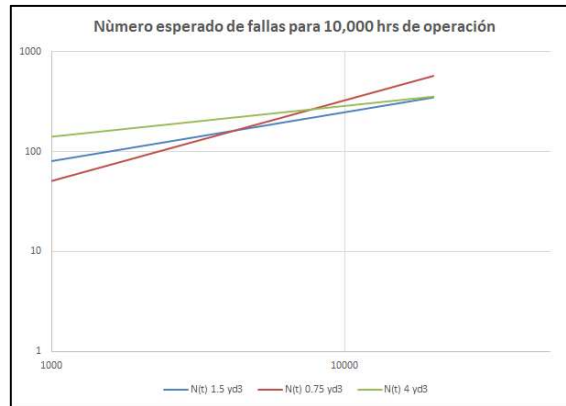
Flota scoops	Beta	Lambda	$W(t)$
0.75 yd3	0.8082	0.1906	326
1.5 yd3	0.4896	2.7212	247
4 yd3	0.3084	16.7042	286

Fuente: Elaboración propia

Se realizó una gráfica de la proyección del  $W(t)$  para 10,000 horas acumuladas de operación en escala logarítmica.

#### GRAFICO N°4.5

#### PROYECCION DEL $W(t)$ PARA 10,000 HRS DE OPERACION



Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 4.18, p. 74 y el gráfico 4.5 se puede visualizar que la flota de scoops de 0.75 yd<sup>3</sup> es la que tiene un  $W(t)$  mayor para 10,000 horas de operación.

#### d) Análisis de criticidad de los sistemas del objeto de estudio seleccionado

Después de haber encontrado, haciendo uso del modelo de Crow Amsaa, que la flota más crítica era la flota de scoops de 0.75 yd<sup>3</sup>, se debe ahora de mejorar su confiabilidad, para ello haremos uso del diagrama de Jack Knife para seleccionar los sistemas más críticos del scoop de 0.75 yd<sup>3</sup> y en base a eso poder realizar acciones que mejoren su confiabilidad y así mejorar la confiabilidad de toda la flota.

Para realizar el análisis del Diagrama de Jack Knife se hizo uso de la base de datos indicada en el anexo 3.1. Adicional según lo indicado en el capítulo 2.3 se debe obtener los siguientes valores:

$$I = MTTR \times \lambda$$

I: Indisponibilidad

MTTR: Tiempo medio para reparar

$\lambda$ : Tasa de fallas

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo de operación}}{\textit{Número de fallas}}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de reparación o reemplazos}}{\textit{Número de reparaciones o reemplazos}}$$

$$\textit{Indisponibilidad} = 1 - \textit{Disponibilidad inherente}$$

$$\textit{Disponibilidad Inherente} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Separando los datos por sistemas e incluyendo: las horas de intervención por mantenimiento correctivo por sistema, el número de fallas totales por sistemas, la tasa de fallas por sistemas, el MTTR por sistemas y la indisponibilidad por sistemas; y trabajando con una base de datos con horas acumuladas promedio de operación de 10,000 horas por equipo se obtuvo lo siguiente.



TABLA 4.19

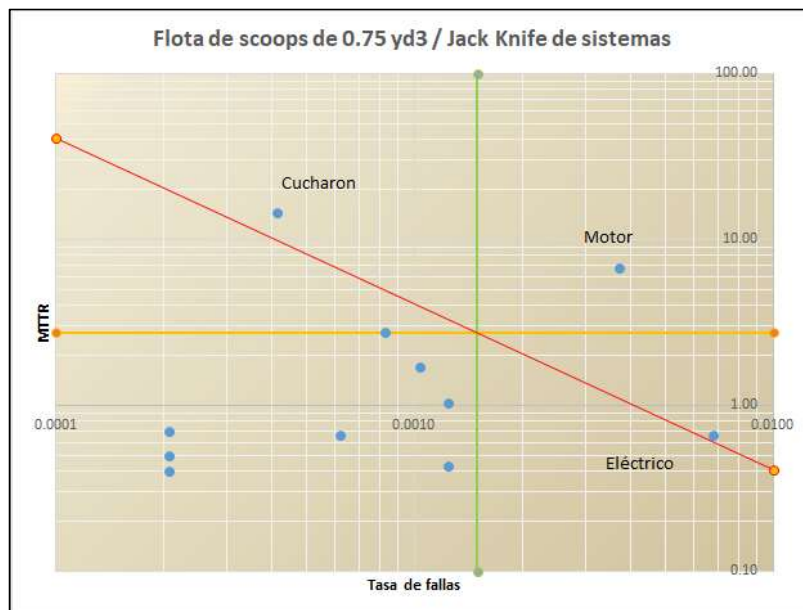
BASE DE DATOS PARA EL DIAGRAMA DE JACK KNIFE DE UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD3

Flota de scoops de 0.75 yd3					
Número Equipos	12				
Tiempo prom. oper. por equipo	10000				
Tiempo total de operación	119026				
SISTEMA	Tiempo fuera de servicio	Nº de fallas	MTTR Hrs	Taza de fallas	Indisponibilidad %
Cabina	152	147	1.03	0.0012	0.13%
Chasis	63	147	0.43	0.0012	0.05%
Dirección	10	24	0.40	0.0002	0.01%
Eléctrico	538	808	0.67	0.0068	0.45%
Frenos	17	24	0.70	0.0002	0.01%
Cucharon	710	49	14.50	0.0004	0.60%
Hidráulico	209	122	1.71	0.0010	0.18%
Implemento	269	98	2.75	0.0008	0.23%
Lubricación	12	24	0.50	0.0002	0.01%
Motor	2987	441	6.78	0.0037	2.51%
Tren de potencia	49	73	0.67	0.0006	0.04%
<b>Total general</b>	<b>5017</b>	<b>1959</b>	<b>2.74</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.41%</b>

Fuente: Elaboración propia

GRAFICO N°4.6

DIAGRAMA JACK KNIFE DE UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD3



Fuente: Elaboración propia

Se puede visualizar en el Gráfico 4.6, p. 75 que los sistemas más críticos que afectan la confiabilidad de la flota de scoops de 0.75 yd3 son: el sistema motor, el sistema eléctrico y el cucharón.

Para poder realizar un análisis más específico se realizó el diagrama de Jack Knife para el sistema motor y el sistema eléctrico.

- **Diagrama de Jack Knife del sistema motor**

Se realizó el mismo procedimiento que en el caso anterior, esta vez separando el sistema motor por componentes, obteniendo los siguientes resultados.

TABLA 4.20

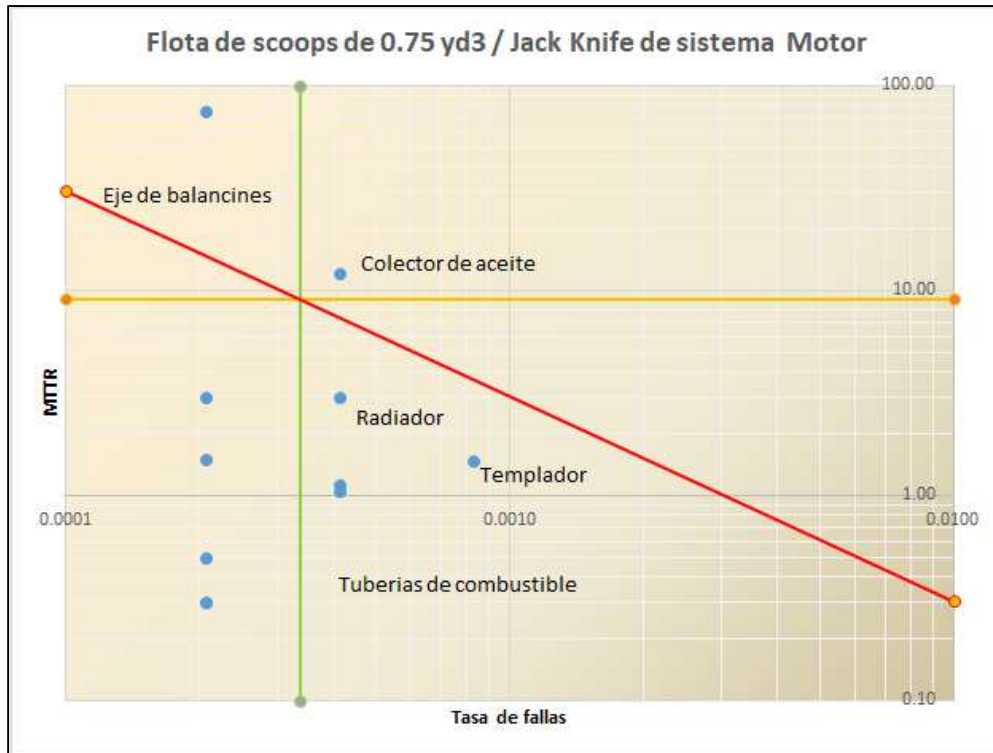
BASE DE DATOS PARA EL DIAGRAMA DE JACK KNIFE DEL SISTEMA MOTOR DE UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD3

Sistema motor de una flota de scoops de 0.75 yd3					
Número Equipos	12				
Tiempo prom. oper. por equipo	10000				
Tiempo total de operación	119026				
Componente	Tiempo fuera de servicio	Nº de fallas	MTTR Hrs	Taza de fallas	Indisponibilidad %
Gr. Bomba de aceite	73	24	3.00	0.0002	0.06%
Gr. Colector de aceite	600	49	12.25	0.0004	0.50%
Gr. Eje de balancines	1852	24	75.60	0.0002	1.56%
Gr. Filtro de aceite	7	24	0.30	0.0002	0.01%
Gr. Filtro de aire	12	24	0.50	0.0002	0.01%
Gr. Filtro de combustible	37	24	1.50	0.0002	0.03%
Gr. Radiador	147	49	3.00	0.0004	0.12%
Gr. Tapa de balancines	7	24	0.30	0.0002	0.01%
Gr. Tuberías de combustible	55	49	1.13	0.0004	0.05%
Gr. Turbo compresor	51	49	1.05	0.0004	0.04%
Templador	144	98	1.48	0.0008	0.12%
Total general	2987	441	9.10	0.0003	0.31%

Fuente: Elaboración propia

#### GRAFICO N°4.7

#### DIAGRAMA DE JACK KNIFE DEL SISTEMA MOTOR DE UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD3



Fuente: Elaboración propia

Se puede visualizar en el gráfico 4.7 que los componentes más críticos que afectan la confiabilidad del sistema motor de la flota de scoops de 0.75 yd3 son: colector de aceite, templador, radiador y eje de balancines.

- **Diagrama de Jack Knife del sistema eléctrico**

Se realizó el mismo procedimiento que en el caso anterior, esta vez separando el sistema eléctrico por componentes, obteniendo los siguientes resultados.

TABLA 4.21

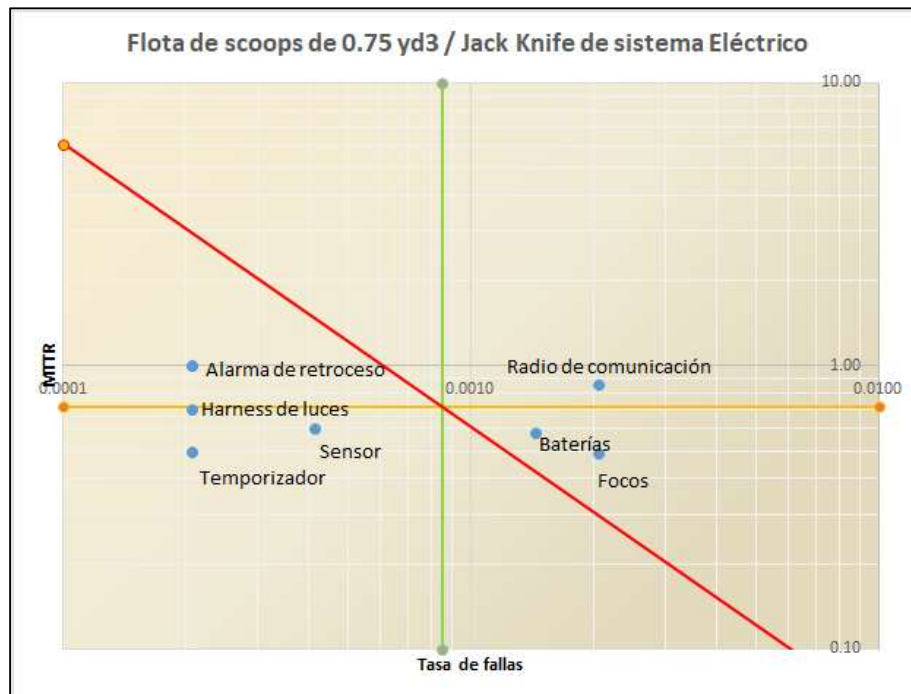
BASE DE DATOS PARA EL DIAGRAMA DE JACK KNIFE DEL SISTEMA ELECTRICO DE UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD3

Sistema eléctrico de una flota de scoops de 0.75 yd3					
Número Equipos	12				
Tiempo prom. oper. por equipo	10000				
Tiempo total de operación	119026				
Componente	Tiempo fuera de servicio	Nº de fallas	MTTR Hrs	Taza de fallas	Indisponibilidad %
Alarma de retroceso	24	24	1.00	0.0002	0.02%
Baterías	99	171	0.58	0.0014	0.08%
Focos	120	245	0.49	0.0021	0.10%
Gr. Radio de comunicación	211	245	0.86	0.0021	0.18%
Gr. Sensor	29	49	0.60	0.0004	0.02%
Harness de luces	17	24	0.70	0.0002	0.01%
Regulador de control de basculami	24	24	1.00	0.0002	0.02%
Temporizador	12	24	0.50	0.0002	0.01%
Total general	538	808	0.72	0.0008	0.06%

Fuente: Elaboración propia

GRAFICO N°4.8

DIAGRAMA DE JACK KNIFE DEL SISTEMA ELECTRICO DE UNA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD3



Fuente: Elaboración Propia

**Se puede visualizar en el Gráfico 4.8, p. 78 que los componentes más críticos que afectan la confiabilidad del sistema eléctrico de la flota de scoops de 0.75 yd3 son: radio de comunicación, focos y baterías.**

Por lo tanto se concluye que los componentes más críticos que afectan la confiabilidad de los sistemas motor, eléctrico y cucharon son, y por ende afectan la confiabilidad de la flota de scoops de 0.75 yd3, son:

TABLA 4.22  
SISTEMAS Y COMPONENTES CRITICOS

Sistema	Componente
Motor	Colector de aceite
	Templador
	Radiador
	Eje de balancines
Eléctrico	Radio de comunicación
	Focos
	Batería
Cucharon	Cucharon

Fuente: Elaboración propia

**e) Definición de causas de afectación y plan de acción para su mitigación**

Luego de encontrar los componentes críticos que afectan la confiabilidad de la flota de scoops de 0.75 yd3 se usó el Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) con el fin de evaluar las causas raíces de los modos de fallas de las funciones de cada componente crítico de los cargadores de bajo perfil y así poder implementar actividades que mejoren su confiabilidad.

Para la construcción del AMEF se deben seguir los siguientes pasos:

- **Estructuración: se detallan las funciones**

En esta sección se detallan las funciones de todos los componentes críticos.

**Colector de aceite (CA):** Almacenar aceite de motor para permitir la lubricación de sus componentes internos. Requisitos: Almacenar 18.7 gal de aceite.

**Templador (T):** Mantener tensada la correa o faja del alternador y ventilador. Requisitos: Para una fuerza de 110 N o 25 lb la flexión de la correa debe estar de 14 a 22 mm (9/16 a 13/16 in).

**Radiador:** Enfriar el líquido de refrigerante. Almacenar el líquido refrigerante. Requisito: Almacenar 35.4 gal de líquido refrigerante.

**Eje de balancines:** Transmite el movimiento de la varilla de empuje a las válvulas de admisión y escape por medio del balancín.

**Radio de comunicación:** Transmite la comunicación entre radios portátiles o estacionarias. Requisitos: Transmitir comunicación con un rango de frecuencia de 132-162 Mhz, potencia 25W.

**Focos:** Alumbrar regiones o zonas por medio de la emisión de luz eléctrica.

**Batería:** Proveer corriente eléctrica al sistema de arranque, sistema de encendido, sistema de inyección de combustible, instrumentos y otros dispositivos eléctricos durante el arranque.

Suministrar corriente eléctrica a todo el sistema eléctrico del vehículo cuando el motor no se encuentra en funcionamiento.

Proveer potencia eléctrica adicional cada vez que los requerimientos de potencia sobrepasan la producción del sistema de carga.

Requisitos: 24V-27 placas

- **Identificación: Se detallan modos de falla, efectos y causas**

En base al detalle de las funciones de cada componente crítico se analizan los posibles modos de fallar de cada componente, posterior a eso se identifican los efectos que provocaría ese posible modo de falla y finalmente se analizan cuáles son las posibles causas raíces que originarían los modos de fallas, esto con el fin de definir mejoras para eliminar o controlar esos posibles modos de fallas.

TABLA 4.23

ANALISIS DE LOS MODOS, EFECTOS Y CAUSAS

Función	Modo de Falla	Efecto	Causa
<b>1.1 - Motor (M)</b>			
<b>1.1.1 Colector de aceite (CA)</b>			
Almacenar aceite de motor para permitir la lubricación de sus componentes internos. Requisitos: Almacenar 18.7 gal de aceite	Nivel de aceite menor a 18.7 galones	Calentamiento de motor	M.C.A. Fisuras en el carter
			M.C.A. Empaque gastado
			M.C.A. Pernos Flojos
			M.C.A. Rotura de pernos
	Contaminación ambiental	M.C.A. Fuga de aceite de motor	
Nivel de aceite mayor que 18.7 galones	Sobreesfuerzo del motor	M.C.A. Contaminación de aceite con refrigerante M.C.A. Contaminación del aceite con combustible	
<b>1.1.2 Templador (T)</b>			
Mantener tensada la correa o faja del alternador y ventilador. Requisitos: Para una fuerza de 110 N o 25 lb la flexión de la correa debe estar de 14 a 22 mm (9/16 a 13/16 in)	Falta de tensado de correa (flexión > 22mm)	Deficiente funcionamiento del alternador	M.T. Rotura de templador
			M.T. Desgaste de rodaje
			M.T. Rotura de resorte tensionador
			M.T. Falta de lubricación de rodaje
			MT. Falta de ajuste del templador por el mecánico
		Perdida de potencia del ventilador	M.T. Rotura de templador
			M.T. Desgaste de rodaje
			M.T. Rotura de resorte tensionador
			M.T. Falta de lubricación de rodaje
		Calentamiento de motor	MT. Falta de ajuste del templador por el mecánico
			MT. Rotura de templador
		M.T. Desgaste de rodaje	

			M.T. Rotura de resorte tensionador
			M.T. Falta de lubricación de rodaje
			M.T. Falta de ajuste del templador por el mecánico
	Exceso de tensado de correa (flexión < 14mm)	Sobrecalentamiento del alternador	M.T. Exceso de ajuste del templador por el mecánico
		Exceso de potencia del ventilador	M.T. Exceso de ajuste del templador por el mecánico
1.1.3 Radiador			
Enfriar el líquido de refrigerante. Almacenar el líquido refrigerante. Requisito: Almacenar 35.4 gal de líquido refrigerante	No enfriar el líquido refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	M.R. Desgaste de empaque de tina superior
			M.R. Desgaste de empaque de tina inferior
			M.R. Rajadura o fisura de tina superior
			M.R. Rajadura o fisura de tina inferior
			M.R. Panel de radiador en mal estado
			M.R. Núcleo interno de radiador en mal estado
			M.R. Radiador sucio
			M.R. Mangueras de agua en mal estado
			M.R. Contaminación con aceite lubricante
		M.R. Tapa de radiador en mal estado	
		Desgaste prematuro de componentes internos del motor	M.R. Desgaste de empaque de tina superior
			M.R. Desgaste de empaque de tina inferior
			M.R. Rajadura o fisura de tina superior
			M.R. Rajadura o fisura de tina inferior
			M.R. Panel de radiador en mal estado
			M.R. Núcleo interno de radiador en mal estado
			M.R. Radiador sucio
			M.R. Mangueras de agua en mal estado
		M.R. Contaminación con aceite lubricante	
		M.R. Tapa de radiador en mal estado	
		Temperatura de aceite de motor elevado	M.R. Desgaste de empaque de tina superior
M.R. Desgaste de empaque de tina inferior			



Nivel de refrigerante demasiado elevado	Temperatura de ingreso de aire elevado	M.R. Rajadura o fisura de tina superior
		M.R. Rajadura o fisura de tina inferior
		M.R. Panel de radiador en mal estado
		M.R. Núcleo interno de radiador en mal estado
		M.R. Radiador sucio
		M.R. Mangueras de agua en mal estado
		M.R. Contaminación con aceite lubricante
		M.R. Tapa de radiador en mal estado
	Temperatura de trabajo del motor por debajo de lo normal	M.R. Desgaste de empaque de tina superior
		M.R. Desgaste de empaque de tina inferior
		M.R. Rajadura o fisura de tina superior
		M.R. Rajadura o fisura de tina inferior
		M.R. Panel de radiador en mal estado
		M.R. Núcleo interno de radiador en mal estado
M.R. Radiador sucio		
M.R. Mangueras de agua en mal estado		
Sobreesfuerzo del motor	M.R. Exceso refrigerante por el lubricador	
	M.R. Exceso refrigerante por el lubricador	
Viscosidad elevada de aceite del motor	M.R. Exceso refrigerante por el lubricador	
	M.R. Exceso refrigerante por el lubricador	
Nivel de refrigerante mínimo	Sobre-calentamiento del motor	M.R. Rajadura o fisura de tina superior
		M.R. Rajadura o fisura de tina inferior
		M.R. Mangueras de agua en mal estado
		M.R. Pérdida de tapa de radiador
		M.R. Panel de radiador en mal estado
	Baja viscosidad de aceite de motor	M.R. Rajadura o fisura de tina superior
		M.R. Rajadura o fisura de tina inferior
		M.R. Rajadura o fisura de tina inferior

			M.R. Mangueras de agua en mal estado
			M.R. Pérdida de tapa de radiador
			M.R. Panel de radiador en mal estado
		Contaminación ambiental	M.R. Rajadura o fisura de tina superior
			M.R. Rajadura o fisura de tina inferior
			M.R. Mangueras de agua en mal estado
			M.R. Pérdida de tapa de radiador
			M.R. Panel de radiador en mal estado
1.1.4 Eje de balancines			
Transmite el movimiento de la varilla de empuje a las válvulas de admisión y escape por medio del balancín	Falla en la transmisión de movimiento de la varilla de empuje a las válvulas de admisión y escape por medio del balancín	Ruido en el tren de válvulas	M.E.B. Desgaste de seguros de las válvulas
			M.E.B. Desgaste de balancín
			M.E.B. Rotura de varilla empujadora de válvulas
			M.E.B. Exceso de ajuste de válvulas
			M.E.B. Falta de lubricación
		Juego en las válvulas	M.E.B. Falta de lubricación
			M.E.B. Desgaste de resorte de válvulas
			M.E.B. Desgaste de balancín
			M.E.B. Desgaste de cabeza de válvulas
			M.E.B. Desgaste de varilla empujadora de válvulas
			M.E.B. Desgaste de levas
			M.E.B. Desgaste de buzos del eje de levas
1.2.1 Radio de comunicación			
Transmite la comunicación entre radios portátiles o estacionarias. Requisitos: Transmitir comunicación con un rango de frecuencia de 132-162 Mhz, potencia 25W	No transmite comunicación	Falta de comunicación	E.R.C. Avería de antena
			E.R.C. Avería de micrófono

			E.R.C. Avería de cable de comunicación
			E.R.C. Avería de estabilizador
			E.R.C. Radio estacionaria defectuosa
1.2.2 Focos			
Alumbrar regiones o zonas por medio de la emisión de luz eléctrica.	No alumbrar regiones o zonas	Falta de visualización en zonas específicas	E.F. Cortocircuito en cables eléctricos
			E.F. Exceso de alumbrado
			E.F. Fusibles quemados
			E.F. Relés quemados
			E.F. Cables eléctricos sulfatados
1.2.3 Batería			
Proveer corriente eléctrica al sistema de arranque, sistema de encendido, sistema de inyección de combustible, instrumentos y otros dispositivos eléctricos durante el arranque. Suministrar corriente eléctrica a todo el sistema eléctrico del vehículo cuando el motor no se encuentra en funcionamiento. Proveer potencia eléctrica adicional cada vez que los requerimientos de potencia sobrepasan la producción del sistema de carga. Requisitos: 24V-27 placas	No suministra corriente eléctrica para arranque del equipo. Falta de energía eléctrica para el encendido de dispositivos eléctricos	- Falta de arranque del equipo - Falta de energía eléctrica para el encendido de dispositivos eléctricos	M.B. Desgaste de cable terminal a tierra
			M.B. Desgaste de cable terminal de arranque
			M.B. Vibración excesiva
			M.B. Uso de batería de baja capacidad
			M.B. Sobrecarga de batería
			M.B. Falta de carga de batería
			M.B. Bornes deteriorados
			M.B. Falla del regulador de voltaje
			M.B. Pérdida de agua por sobrecalentamiento de motor
M.B. Contaminación de electrolito			
			M.B. Descargas profundas
1.3 - Herramientas			
1.3.1 Cucharon			
Contener hasta máximo 8 m3 de materiales	No contiene material	Pérdida de producción	M.B. Desgaste de labios inferiores
			M.B. Desgaste de planchas roladas internas

			M.B. Desgaste de placas laterales
			M.B. Desgaste de adapters
			M.B. Desgaste de orejas de cucharon

Fuente: Elaboración propia

- **Evaluación: se evalúan los índices de severidad, ocurrencia, detección, NPR**

Para evaluar la severidad este se debe evaluar en base a los efectos, con respecto al nivel de ocurrencia este se debe evaluar en base a las causas encontradas, y el nivel de detección se obtiene en base a los controles y tipos de controles que usaran para hallar las causas encontradas. Para poder medir los índices de severidad, ocurrencia y detectabilidad se hizo uso de la Tabla 4.4, p.60, Tabla 4.5, p.60 y Tabla 4.6, p.61.

Para obtener el NPR, se hizo uso de la siguiente ecuación:

*NPR*

*= Nivel de Severidad x Nivel de ocurrencia x Nivel de detectabilidad*

Se debe evaluar si el valor del NPR es un valor normal, medio o alto, es por esa razón que el resultado que se obtuvo fue evaluado en base a la siguiente tabla de NPR.

TABLA 4.24

TABLA DE NIVEL DE RIESGO (NPR)

NPR	Valor entre	
Normal	0	80
Medio	81	150
Alto	150	270

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.25

ANALISIS DE LOS INDICES DE SEVERIDAD, OCURRENCIA,  
DETECTABILIDAD Y NPR

Función	Modo de Falla	Efecto	Si	Causa	Oi	Control	Tipo de Control	Di	RPNi
<b>1.1 - Motor (M)</b>									
<b>1.1.1 Colector de aceite (CA)</b>									
Almacenar aceite de motor para permitir la lubricación de sus componentes internos. Requisitos: Almacenar 18.7 gal de aceite	Nivel de aceite menor a 18.7 galones	Calentamiento de motor	6	M.C.A. Fisuras en el Carter	3	Inspección visual	Detectiva	9	162
			6	M.C.A. Empaque gastado	4	Inspección visual	Detectiva	8	192
			6	M.C.A. Pernos Flojos	3	Inspección visual	Detectiva	5	90
			6	M.C.A. Rotura de pernos	3	Inspección visual	Detectiva	5	90
	Nivel de aceite mayor que 18.7 galones	Sobreesfuerzo del motor	10	M.C.A. Fuga de aceite de motor	4	Inspección visual	Detectiva	5	200
			6	M.C.A. Contaminación de aceite con refrigerante	2	Muestreo	Predictiva	5	60
			6	M.C.A. Contaminación del aceite con combustible	2	Muestreo	Predictiva	5	60
<b>1.1.2 Templador (T)</b>									
Mantener tensada la correa o faja del alternador y ventilador. Requisitos: Para una fuerza de 110 N o 25 lb la flexión de la correa debe estar de 14 a 22 mm (9/16 a 13/16 in)	Falta de tensado de correa (flexión > 22mm)	Deficiente funcionamiento del alternador	5	M.T. Rotura de templador	2	Inspección visual	Detectiva	5	50
			5	M.T. Desgaste de rodaje	2	-		9	90
			5	M.T. Rotura de resorte tensionador	2	Inspección visual	Detectiva	7	70
			5	M.T. Falta de lubricación de rodaje	2	Lubricación	Preventiva	4	40
			5	MT. Falta de ajuste del templador por el mecánico	3	Inspección visual	Detectiva	6	90
		Perdida de potencia del ventilador	4	M.T. Rotura de templador	2	Inspección visual	Detectiva	5	40
			4	M.T. Desgaste de rodaje	2	-		9	72
			4	M.T. Rotura de resorte tensionador	2	Inspección visual	Detectiva	7	56
			4	M.T. Falta de lubricación de rodaje	2	Lubricación	Preventiva	4	32

			4	MT. Falta de ajuste del templador por el mecánico	3	Inspección visual	Detectiva	6	72
		Calentamiento de motor	5	MT. Rotura de templador	2	Inspección visual	Detectiva	5	50
			5	M.T. Desgaste de rodaje	2	-		9	90
			5	M.T. Rotura de resorte tensionador	2	Inspección visual	Detectiva	7	70
			5	M.T. Falta de lubricación de rodaje	2	Lubricación	Preventiva	4	40
			5	M.T. Falta de ajuste del templador por el mecánico	3	Inspección visual	Detectiva	6	90
			Sobrecalentamiento del alternador	5	M.T. Exceso de ajuste del templador por el mecánico	3	-		7
	Exceso de tensado de correa (flexión < 14mm)	Exceso de potencia del ventilador	5	M.T. Exceso de ajuste del templador por el mecánico	3	-		7	105
1.1.3 Radiador									
Enfriar el líquido de refrigerante. Almacenar el líquido refrigerante. Requisito: Almacenar 35.4 gal de líquido refrigerante	No enfriar el líquido refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	6	M.R. Desgaste de empaque de tina superior	3	-		9	162
			6	M.R. Desgaste de empaque de tina inferior	3	-		9	162
			6	M.R. Rajadura o fisura de tina superior	3	-		9	162
			6	M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	3	-		9	162
			6	M.R. Panel de radiador en mal estado	2	Inspección visual	Detectiva	6	72
			6	M.R. Núcleo interno de radiador en mal estado	1	-		9	54
			6	M.R. Radiador sucio	4	Muestreo	Predictiva	5	120
			6	M.R. Mangueras de agua en mal estado	3	Inspección visual	Detectiva	6	108
			6	M.R. Contaminación con aceite lubricante	2	Muestreo	Predictiva	5	60
			6	M.R. Tapa de radiador en mal estado	1	Inspección visual	Detectiva	5	30
		Desgaste prematuro de componentes internos del motor	6	M.R. Desgaste de empaque de tina superior	3	-		9	162
			6	M.R. Desgaste de empaque de tina inferior	3	-		9	162
			6	M.R. Rajadura o fisura de tina superior	3	-		9	162
			6	M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	3	-		9	162
			6	M.R. Panel de radiador en mal estado	2	Inspección visual	Detectiva	6	72

	6	M.R. Núcleo interno de radiador en mal estado	1	-		9	54
	6	M.R. Radiador sucio	4	Muestreo	Predictiva	5	120
	6	M.R. Mangueras de agua en mal estado	3	Inspección visual	Detectiva	6	108
	6	M.R. Contaminación con aceite lubricante	2	Muestreo	Predictiva	5	60
	6	M.R. Tapa de radiador en mal estado	1	Inspección visual	Detectiva	5	30
Temperatura de aceite de motor elevado	6	M.R. Desgaste de empaque de tina superior	3	-		9	162
	6	M.R. Desgaste de empaque de tina inferior	3	-		9	162
	6	M.R. Rajadura o fisura de tina superior	3	-		9	162
	6	M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	3	-		9	162
	6	M.R. Panel de radiador en mal estado	2	Inspección visual	Detectiva	6	72
	6	M.R. Núcleo interno de radiador en mal estado	1	-		9	54
	6	M.R. Radiador sucio	4	Muestreo	Predictiva	5	120
	6	M.R. Mangueras de agua en mal estado	3	Inspección visual	Detectiva	6	108
	6	M.R. Contaminación con aceite lubricante	2	Muestreo	Predictiva	5	60
	6	M.R. Tapa de radiador en mal estado	1	Inspección visual	Detectiva	5	30
	Temperatura de ingreso de aire elevado	6	M.R. Desgaste de empaque de tina superior	3	-		9
6		M.R. Desgaste de empaque de tina inferior	3	-		9	162
6		M.R. Rajadura o fisura de tina superior	3	-		9	162
6		M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	3	-		9	162
6		M.R. Panel de radiador en mal estado	2	Inspección visual	Detectiva	6	72
6		M.R. Núcleo interno de radiador en mal estado	1	-		9	54
6		M.R. Radiador sucio	4	Muestreo	Predictiva	5	120
6		M.R. Mangueras de agua en mal estado	3	Inspección visual	Detectiva	6	108
6		M.R. Contaminación con aceite lubricante	2	Muestreo	Predictiva	5	60

			6	M.R. Tapa de radiador en mal estado	1	Inspección visual	Detectiva	5	30	
	Nivel de refrigerante demasiado elevado	Temperatura de trabajo del motor por debajo de lo normal	3	M.R. Exceso refrigerante por el lubricador	3	Inspección visual	Detectiva	3	27	
		Sobreesfuerzo del motor	3	M.R. Exceso refrigerante por el lubricador	3	Inspección visual	Detectiva	3	27	
		Viscosidad elevada de aceite del motor	3	M.R. Exceso refrigerante por el lubricador	3	Inspección visual	Detectiva	3	27	
		Nivel de refrigerante mínimo	Sobre-calentamiento del motor	6	M.R. Rajadura o fisura de tina superior	3	-		9	162
	6			M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	3	-		9	162	
	6			M.R. Mangueras de agua en mal estado	3	Inspección visual	Detectiva	6	108	
	6			M.R. Pérdida de tapa de radiador	1	Inspección visual	Detectiva	8	48	
	6			M.R. Panel de radiador en mal estado	2	Inspección visual	Detectiva	6	72	
	Baja viscosidad de aceite de motor		Contaminación ambiental	6	M.R. Rajadura o fisura de tina superior	3	-		9	162
				6	M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	3	-		9	162
				6	M.R. Mangueras de agua en mal estado	3	Inspección visual	Detectiva	6	108
				6	M.R. Pérdida de tapa de radiador	1	Inspección visual	Detectiva	8	48
				6	M.R. Panel de radiador en mal estado	2	Inspección visual	Detectiva	6	72
			10	M.R. Rajadura o fisura de tina superior	3	-		9	270	
			10	M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	3	-		9	270	
			10	M.R. Mangueras de agua en mal estado	3	Inspección visual	Detectiva	6	180	
			10	M.R. Pérdida de tapa de radiador	1	Inspección visual	Detectiva	8	80	
			10	M.R. Panel de radiador en mal estado	2	Inspección visual	Detectiva	6	120	
1.1.4 Eje de balancines										
Transmite el movimiento de la varilla de empuje a las válvulas de admisión y escape por medio del balancín	Falla en la transmisión de movimiento de la varilla de empuje a las válvulas de admisión y escape por medio del balancín	Ruido en el tren de válvulas	9	M.E.B. Desgaste de seguros de las válvulas	1	Muestreo	Predictivo	6	54	
			9	M.E.B. Desgaste de balancín	1	Inspección visual	Detectiva	6	54	
			9	M.E.B. Rotura de varilla empujadora de válvulas	1	Muestreo	Predictivo	6	54	
			9	M.E.B. Exceso de ajuste de válvulas	3	Inspección visual	Detectiva	7	189	



			9	M.E.B. Falta de lubricación	3	Inspección visual de nivel de aceite	Detectiva	4	108
		Juego en las válvulas	7	M.E.B. Falta de lubricación	3	Inspección visual de nivel de aceite	Detectiva	4	84
			7	M.E.B. Desgaste de resorte de válvulas	1	Muestreo	Predictivo	6	42
			7	M.E.B. Desgaste de balancín	1	Inspección visual	Detectiva	6	42
			7	M.E.B. Desgaste de cabeza de válvulas	1	Inspección visual	Detectiva	6	42
			7	M.E.B. Desgaste de varilla empujadora de válvulas	1	Muestreo	Predictivo	6	42
			7	M.E.B. Desgaste de levas	1	Muestreo	Predictivo	6	42
			7	M.E.B. Desgaste de buzos del eje de levas	1	Muestreo	Predictivo	6	42
1.2.1 Radio de comunicación									
Transmite la comunicación entre radios portátiles o estacionarias. Requisitos: Transmitir comunicación con un rango de frecuencia de 132-162 MHz, potencia 25W	No transmite comunicación	Falta de comunicación	3	E.R.C. Avería de antena	5	-		9	135
			3	E.R.C. Avería de micrófono	5	-		9	135
			3	E.R.C. Avería de cable de comunicación	3	-		9	81
			3	E.R.C. Avería de estabilizador	3	-		9	81
			3	E.R.C Radio estacionaria defectuosa	3	-		9	81
1.2.2 Focos									
Alumbrar regiones o zonas por medio de la emisión de luz eléctrica.	No alumbrar regiones o zonas	Falta de visualización en zonas específicas	3	E.F. Cortocircuito en cables eléctricos	4	Avisos del control electrónico	Detectiva	8	96
			3	E.F. Exceso de alumbrado	5	Avisos del control electrónico	Detectiva	8	120
			3	E.F. Fusibles quemados	5	Avisos del control electrónico	Detectiva	8	120
			3	E.F. Relés quemados	4	Avisos del control electrónico	Detectiva	8	96
			3	E.F. Cables eléctricos sulfatados	4	Avisos del control electrónico	Detectiva	8	96
1.2.3 Batería									
Proveer corriente eléctrica al sistema de arranque, sistema de encendido,	No suministra corriente eléctrica para arranque del equipo. Falta de	- Falta de arranque del equipo - Falta de energía eléctrica para el encendido de dispositivos	4	M.B. Desgaste de cable terminal a tierra	4	Inspección visual	Detectiva	5	80
			4	M.B. Desgaste de cable terminal de arranque	4	Inspección visual	Detectiva	5	80

sistema de inyección de combustible, instrumentos y otros dispositivos eléctricos durante el arranque. Suministrar corriente eléctrica a todo el sistema eléctrico del vehículo cuando el motor no se encuentra en funcionamiento. Proveer potencia eléctrica adicional cada vez que los requerimientos de potencia sobrepasan la producción del sistema de carga. Requisitos: 24V-27 placas	energía eléctrica para el encendido de dispositivos eléctricos	eléctricos	4	M.B. Vibración excesiva	5	Inspección visual	Detectiva	5	100
			4	M.B. Uso de batería de baja capacidad	1	Inspección visual	Detectiva	5	20
			4	M.B. Sobrecarga de batería	4	Avisos del control electrónico	Detectiva	5	80
			4	M.B. Falta de carga de batería	4	Avisos del control electrónico	Detectiva	5	80
			4	M.B. Bornes deteriorados	6	Inspección visual	Detectiva	5	120
			4	M.B. Falla del regulador de voltaje	2	Avisos del control electrónico	Detectiva	5	40
			4	M.B. Pérdida de agua por sobrecalentamiento de motor	3	Avisos del control electrónico	Detectiva	5	60
			4	M.B. Contaminación de electrolito	3	Avisos del control electrónico	Detectiva	5	60
			4	M.B. Descargas profundas	5	Avisos del control electrónico	Detectiva	6	120
1.3 – Herramientas									
1.3.1 Cucharon									
Contener hasta máximo 8 m3 de materiales	No contiene material	Pérdida de producción	7	M.B. Desgaste de labios inferiores	5	Inspección visual	Detectiva	4	140
			7	M.B. Desgaste de planchas roladas internas	3	Inspección visual	Detectiva	5	105
			7	M.B. Desgaste de planchas laterales	5	Inspección visual	Detectiva	4	140
			7	M.B. Desgaste de adapters	3	Inspección visual	Detectiva	4	84
			7	M.B. Desgaste de orejas de cucharon	3	Inspección visual	Detectiva	4	84

Fuente: Elaboración propia

- **Acciones: prevenir el modo de falla, reducir la severidad, minimizar la ocurrencia, mejorar la detección.**

Luego de haber evaluado el NPR se propusieron acciones en base al nivel de NPR obtenido (bajo, medio y alto), las cuales tenían fechas de plazo y responsable con el seguimiento, esto con el único fin de mejorar la confiabilidad y eliminar o controlar las causas raíces más críticas.

TABLA 4.26

ACCIONES RECOMENDADAS POR CADA CAUSA RAIZ

Función	Modo de Falla	Causa	RPNi	Acción Recomendada	Persona Responsable	Plazo
<b>1.1 - Motor (M)</b>						
<b>1.1.1 Colector de aceite (CA)</b>						
Almacenar aceite de motor para permitir la lubricación de sus componentes internos. Requisitos: Almacenar 18.7 gal de aceite	Nivel de aceite menor a 18.7 galones	M.C.A. Fisuras en el Carter	162	- Agregar en los pre usos diarios la inspección del Carter - Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del Carter	Glen Galindo	2 días
		M.C.A. Empaque gastado	192	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del empaque - Inspeccionar y/o cambiar el empaque (según evaluación) cada 2000 horas	Julio Meza	2 días
		M.C.A. Pernos Flojos	90	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de los pernos en cada mantenimiento de 250 horas y/o inspección programada	Julio Meza	2 días
		M.C.A. Rotura de pernos	90	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de los pernos en cada mantenimiento de 250 horas y/o inspección programada	Julio Meza	2 días
		M.C.A. Fuga de aceite de motor	200	- Programar fecha de inspección con la finalidad de generar back log por resúmenes o fugas presentes - Coordinar con personal de lubricación la inspección diaria del nivel de aceite de motor y las inspección del mismos - Coordinar con el operador el aviso de cualquier evento que se presente	Javier Zarate	10 días
	Nivel de aceite mayor que 18.7 galones	M.C.A. Contaminación de aceite con refrigerante	60	- Seguimiento		
		M.C.A. Contaminación del aceite con combustible	60	- Seguimiento		
<b>1.1.2 Templador (T)</b>						
Mantener tensada la correa o faja del alternador y ventilador. Requisitos: Para una fuerza de 110 N o 25 lb la flexión de la correa debe estar de 14 a 22 mm (9/16 a 13/16 in)	Falta de tensado de correa (flexión > 22mm)	M.T. Rotura de templador	50	- Agregar en los pre usos diarios la inspección del templador - Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del templador	Glen Galindo	2 días
		M.T. Desgaste de rodaje	90	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del rodaje	Glen Galindo	2 días
		M.T. Rotura de resorte tensionador	70	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del resorte	Glen Galindo	2 días
		M.T. Falta de lubricación de rodaje	40	- Seguimiento		
		MT. Falta de ajuste del templador por el mecánico	90	- Capacitación de personal mecánico - Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del templador	Glen Galindo	10 días

		M.T. Rotura de templador	40	- Agregar en los pre usos diarios la inspección del templador - Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del templador	Glen Galindo	2 días
		M.T. Desgaste de rodaje	72	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del rodaje	Glen Galindo	2 días
		M.T. Rotura de resorte tensionador	56	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del resorte	Glen Galindo	2 días
		M.T. Falta de lubricación de rodaje	32	- Seguimiento		
		MT. Falta de ajuste del templador por el mecánico	72	- Capacitación de personal mecánico - Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del templador	Glen Galindo	10 días
		MT. Rotura de templador	50	- Agregar en los pre usos diarios la inspección del templador - Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del templador	Glen Galindo	2 días
		M.T. Desgaste de rodaje	90	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del rodaje	Glen Galindo	2 días
		M.T. Rotura de resorte tensionador	70	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del resorte	Glen Galindo	2 días
		M.T. Falta de lubricación de rodaje	40	- Seguimiento		
		M.T. Falta de ajuste del templador por el mecánico	90	- Capacitación de personal mecánico - Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del templador	Glen Galindo	10 días
	Exceso de tensado de correa (flexión < 14mm)	M.T. Exceso de ajuste del templador por el mecánico	105	- Capacitación de personal mecánico - Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del templador	Glen Galindo	10 días
		M.T. Exceso de ajuste del templador por el mecánico	105	- Capacitación de personal mecánico - Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del templador	Glen Galindo	10 días

### 1.1.3 Radiador

Enfriar el líquido de refrigerante. Almacenar el líquido refrigerante. Requisito: Almacenar 35.4 gal de líquido refrigerante	No enfriar el líquido refrigerante	M.R. Desgaste de empaque de tina superior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del empaque cada 4000 horas - Pre-fabricar los empaques para contar en stock ante posibles hallazgos de falla	Javier Zarate	12 días
		M.R. Desgaste de empaque de tina inferior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del empaque cada 4000 horas - Pre-fabricar los empaques para contar en stock ante posibles hallazgos de falla	Javier Zarate	12 días
		M.R. Rajadura o fisura de tina superior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días
		M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días
		M.R. Panel de radiador en mal estado	72	Seguimiento		
		M.R. Núcleo interno de radiador en mal estado	54			
		M.R. Radiador sucio	120	- Agregar en cartilla de mantenimiento el lavado del radiador cada 1000 horas y/o condición	Julio Meza	2 días
		M.R. Mangueras de agua en mal estado	108	- Fomentar la generación de back log ante fallas inminentes encontradas en las mangueras	Javier Zarate	10 días
		M.R. Contaminación con aceite lubricante	60	Seguimiento		
		M.R. Tapa de radiador en mal estado	30	Seguimiento		
		M.R. Desgaste de empaque de tina superior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del empaque cada 4000 horas - Pre-fabricar los empaques para contar en stock ante posibles hallazgos de falla	Javier Zarate	12 días
		M.R. Desgaste de empaque de tina inferior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del empaque cada 4000 horas - Pre-fabricar los empaques para contar en stock ante posibles hallazgos de falla	Javier Zarate	12 días
		M.R. Rajadura o fisura de tina superior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días

M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días
M.R. Panel de radiador en mal estado	72	Seguimiento		
M.R. Núcleo interno de radiador en mal estado	54			
M.R. Radiador sucio	120	- Agregar en cartilla de mantenimiento el lavado del radiador cada 1000 horas y/o condición	Julio Meza	2 días
M.R. Mangueras de agua en mal estado	108	- Fomentar la generación de back log ante fallas inminentes encontradas en las mangueras	Javier Zarate	10 días
M.R. Contaminación con aceite lubricante	60	Seguimiento		
M.R. Tapa de radiador en mal estado	30	Seguimiento		
M.R. Desgaste de empaque de tina superior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del empaque cada 4000 horas - Pre-fabricar los empaques para contar en stock ante posibles hallazgos de falla	Javier Zarate	12 días
M.R. Desgaste de empaque de tina inferior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del empaque cada 4000 horas - Pre-fabricar los empaques para contar en stock ante posibles hallazgos de falla	Javier Zarate	12 días
M.R. Rajadura o fisura de tina superior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días
M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días
M.R. Panel de radiador en mal estado	72	Seguimiento		
M.R. Núcleo interno de radiador en mal estado	54			
M.R. Radiador sucio	120	- Agregar en cartilla de mantenimiento el lavado del radiador cada 1000 horas y/o condición	Julio Meza	2 días
M.R. Mangueras de agua en mal estado	108	- Fomentar la generación de back log ante fallas inminentes encontradas en las mangueras	Javier Zarate	10 días
M.R. Contaminación con aceite lubricante	60	Seguimiento		
M.R. Tapa de radiador en mal estado	30	Seguimiento		
M.R. Desgaste de empaque de tina superior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del empaque cada 4000 horas - Pre-fabricar los empaques para contar en stock ante posibles hallazgos de falla	Javier Zarate	12 días
M.R. Desgaste de empaque de tina inferior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección del empaque cada 4000 horas - Pre-fabricar los empaques para contar en stock ante posibles hallazgos de falla	Javier Zarate	12 días
M.R. Rajadura o fisura de tina superior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días
M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días
M.R. Panel de radiador en mal estado	72	Seguimiento		
M.R. Núcleo interno de radiador en mal estado	54			
M.R. Radiador sucio	120	- Agregar en cartilla de mantenimiento el lavado del radiador cada 1000 horas y/o condición	Julio Meza	2 días
M.R. Mangueras de agua en mal estado	108	- Fomentar la generación de back log ante fallas inminentes encontradas en las mangueras	Javier Zarate	10 días
M.R. Contaminación con aceite lubricante	60	Seguimiento		
M.R. Tapa de radiador en mal estado	30	Seguimiento		
M.R. Exceso refrigerante por el lubricador	27	Seguimiento		

Nivel de refrigerante demasiado elevado

		M.R. Exceso refrigerante por el lubricador	27	Seguimiento		
		M.R. Exceso refrigerante por el lubricador	27	Seguimiento		
	Nivel de refrigerante mínimo	M.R. Rajadura o fisura de tina superior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días
		M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días
		M.R. Mangueras de agua en mal estado	108	- Fomentar la generación de back log ante fallas inminentes encontradas en las mangueras	Javier Zarate	10 días
		M.R. Pérdida de tapa de radiador	48	Seguimiento		
		M.R. Panel de radiador en mal estado	72	Seguimiento		
		M.R. Rajadura o fisura de tina superior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días
		M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días
		M.R. Mangueras de agua en mal estado	108	- Fomentar la generación de back log ante fallas inminentes encontradas en las mangueras	Javier Zarate	10 días
		M.R. Pérdida de tapa de radiador	48	Seguimiento		
		M.R. Panel de radiador en mal estado	72	Seguimiento		
		M.R. Rajadura o fisura de tina superior	270	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log - Implementar kits antiderrames y capacitar al personal	Julio Meza	2 días
		M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	270	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log - Implementar kits antiderrames y capacitar al personal	Julio Meza	2 días
		M.R. Mangueras de agua en mal estado	180	- Fomentar la generación de back log ante fallas inminentes encontradas en las mangueras - Implementar kits antiderrames y capacitar al personal	Javier Zarate	10 días
		M.R. Pérdida de tapa de radiador	80	Seguimiento e implementar kits antiderrames y capacitar al personal	Javier Zarate	05 días
		M.R. Panel de radiador en mal estado	120	Seguimiento e implementar kits antiderrames y capacitar al personal	Javier Zarate	05 días
1.1.4 Eje de balancines						
Transmite el movimiento de la varilla de empuje a las válvulas de admisión y escape por medio del balancín	Falla en la transmisión de movimiento de la varilla de empuje a las válvulas de admisión y escape por medio del balancín	M.E.B. Desgaste de seguros de las válvulas	54	Seguimiento		
		M.E.B. Desgaste de balancín	54	Seguimiento		
		M.E.B. Rotura de varilla empujadora de válvulas	54	Seguimiento		
		M.E.B. Exceso de ajuste de válvulas	189	- Agregar en las cartillas de mantenimiento el procedimiento de calibración y regulación de válvulas - Evaluar y capacitar al personal mecánico el proceso de calibración y regulación de válvulas	Javier Zarate	15 días
		M.E.B. Falta de lubricación	108	- Muestreo de aceite - Inspección periódica de fugas o resúmenes de aceite	Javier Zarate	20 días
		M.E.B. Falta de lubricación	84	- Muestreo de aceite - Inspección periódica de fugas o resúmenes de aceite	Javier Zarate	20 días
		M.E.B. Desgaste de resorte de válvulas	42	Seguimiento		

		M.E.B. Desgaste de balancín	42	Seguimiento		
		M.E.B. Desgaste de cabeza de válvulas	42	Seguimiento		
		M.E.B. Desgaste de varilla empujadora de válvulas	42	Seguimiento		
		M.E.B. Desgaste de levas	42	Seguimiento		
		M.E.B. Desgaste de buzos del eje de levas	42	Seguimiento		
<b>1.2.1 Radio de comunicación</b>						
Transmite la comunicación entre radios portátiles o estacionarias. Requisitos: Transmitir comunicación con un rango de frecuencia de 132-162 MHz, potencia 25W	No transmite comunicación	E.R.C. Avería de antena	135	- Evaluar duración y calidad de producto - Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la radio estacionaria y sus accesorios	Glen Galindo	8 días
		E.R.C. Avería de micrófono	135	- Evaluar duración y calidad de producto - Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la radio estacionaria y sus accesorios	Glen Galindo	8 días
		E.R.C. Avería de cable de comunicación	81	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la radio estacionaria y sus accesorios	Glen Galindo	8 días
		E.R.C. Avería de estabilizador	81	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la radio estacionaria y sus accesorios	Glen Galindo	8 días
		E.R.C Radio estacionaria defectuosa	81	- Agregar en las cartillas de mantenimiento la inspección de la radio estacionaria y sus accesorios	Glen Galindo	8 días
<b>1.2.2 Focos</b>						
Alumbrar regiones o zonas por medio de la emisión de luz eléctrica.	No alumbrar regiones o zonas	E.F. Cortocircuito en cables eléctricos	96	- Agregar en la cartilla de mantenimiento la inspección de los fusibles cada mantenimiento de 500 horas	Julio Meza	2 días
		E.F. Exceso de alumbrado	120	- Coordinar con operaciones y difundir el uso de la energía en los equipos	Javier Zarate	5 días
		E.F. Fusibles quemados	120	- Agregar en la cartilla de mantenimiento la inspección de los fusibles cada mantenimiento de 500 horas	Julio Meza	2 días
		E.F. Relés quemados	96	- Agregar en la cartilla de mantenimiento la inspección de los relés cada mantenimiento de 500 horas	Julio Meza	2 días
		E.F. Cables eléctricos sulfatados	96	- Programar evaluación general de cables eléctricos para el mantenimiento de 400 horas	Glen Galindo	10 días
<b>1.2.3 Batería</b>						
Proveer corriente eléctrica al sistema de arranque, sistema de encendido, sistema de inyección de combustible, instrumentos y otros dispositivos eléctricos durante el arranque. Suministrar corriente eléctrica a todo el sistema eléctrico del vehículo cuando el motor no se encuentra en funcionamiento. Proveer potencia eléctrica adicional cada vez que los requerimientos de potencia sobrepasan la producción del sistema de carga.	No suministra corriente eléctrica para arranque del equipo. Falta de energía eléctrica para el encendido de dispositivos eléctricos	M.B. Desgaste de cable terminal a tierra	80	Seguimiento		
		M.B. Desgaste de cable terminal de arranque	80	Seguimiento		
		M.B. Vibración excesiva	100	- Programar para el 16/08/2015 la revisión y/o cambio de los pernos de sujeción, base de baterías y estructuras	Glen Galindo	6 días
		M.B. Uso de batería de baja capacidad	20	Seguimiento		
		M.B. Sobrecarga de batería	80	Seguimiento		
		M.B. Falta de carga de batería	80	Seguimiento		
		M.B. Bornes deteriorados	120	- Programar para el 16/08/2015 la revisión y/o cambio de los bornes de las baterías	Glen Galindo	6 días
		M.B. Falla del regulador de voltaje	40	Seguimiento		
		M.B. Pérdida de agua por sobrecalentamiento de motor	60	Seguimiento		
M.B. Contaminación de electrolito	60	Seguimiento				

Requisitos: 24V-27 placas		M.B. Descargas profundas	120	- Coordinar con operaciones y difundir el buen uso de la energía en los equipos	Javier Zarate	5 días
1.3 - Herramientas						
1.3.1 Cucharon						
Contener hasta máximo 8 m3 de materiales	No contiene material	M.B. Desgaste de labios inferiores	140	- Programar la inspección de los labios inferiores del cucharon para su reparación si lo requiere - Generar cartillas de inspección de cucharon y elementos de desgaste - Realizar programa de inspecciones de cucharon y ED - Revisar y mantener el stock de elementos de desgaste	Julio Meza	15 días
		M.B. Desgaste de planchas roladas internas	105	- Generar cartillas de inspección de cucharon y elementos de desgaste - Realizar programa de inspecciones de cucharon y ED - Revisar y mantener el stock de elementos de desgaste	Julio Meza	15 días
		M.B. Desgaste de planchas laterales	140	- Programar la inspección de las planchas laterales del cucharon para su reparación si lo requiere - Generar cartillas de inspección de cucharon y elementos de desgaste - Realizar programa de inspecciones de cucharon y ED - Revisar y mantener el stock de elementos de desgaste	Julio Meza	15 días
		M.B. Desgaste de adapters	84	- Generar cartillas de inspección de cucharon y elementos de desgaste - Realizar programa de inspecciones de cucharon y ED - Revisar y mantener el stock de elementos de desgaste	Julio Meza	15 días
		M.B. Desgaste de orejas de cucharon	84	- Generar cartillas de inspección de cucharon y elementos de desgaste - Realizar programa de inspecciones de cucharon y ED - Revisar y mantener el stock de elementos de desgaste	Julio Meza	15 días

Fuente: Elaboración propia

- **Seguimiento:** en esta etapa se acompaña las acciones tomadas y evaluamos todo el AMEF optimizando el NPR y garantizando la eficacia del análisis.

En esta última etapa se hizo el seguimiento debido al cumplimiento de las acciones recomendadas, así mismo se evaluó nuevamente el nivel NPR logrando mejorar los NPR altos a niveles medios y bajos. Más adelante se evaluara si la mejora del NPR provoco la mejora de la confiabilidad de la flota de scoops de 0.75 yd3.



**TABLA 4.27**  
**ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS AMEF**

<b>Función</b>	<b>Modo de Falla</b>	<b>Efecto</b>	<b>Si</b>	<b>Causa</b>	<b>O i</b>	<b>Control</b>	<b>Tipo de Control</b>	<b>D i</b>	<b>RPN i</b>	<b>Acción Recomendada</b>	<b>Persona Responsable</b>	<b>Plazo</b>	<b>Acción Tomada</b>	<b>Fecha de Conclusión</b>	<b>S r</b>	<b>O r</b>	<b>D r</b>	<b>RPN r</b>
1.1 - Motor (M)																		
1.1.1 Colector de aceite (CA)																		
Almacenar aceite de motor para permitir la lubricación de sus componentes internos. Requisitos: Almacenar 18.7 gal de aceite	Nivel de aceite menor a 18.7 galones	Calentamiento de motor	6	M.C.A. Fisuras en el Carter	3	Inspección visual	Detectiva	9	162	- Agregar en los pre usos diarios la inspección del Carter - Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del Carter	Glen Galindo	2 días	Se actualizo los pre usos y las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	3	5	90
			6	M.C.A. Empaque gastado	4	Inspección visual	Detectiva	8	192	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del empaque - Inspeccionar y/o cambiar el empaque (según evaluación) cada 2000 horas	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	4	4	96
			6	M.C.A. Pernos Flojos	3	Inspección visual	Detectiva	5	90	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de los pernos en cada mantenimiento o de 250 horas y/o inspección	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	3	4	72

							programada											
		6	M.C.A. Rotura de pernos	3	Inspección visual	Detectiva	5	90	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de los pernos en cada mantenimiento de 250 horas y/o inspección programada	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	3	4	72	
	Contaminación ambiental	10	M.C.A. Fuga de aceite de motor	4	Inspección visual	Detectiva	5	200	- Programar fecha de inspección con la finalidad de generar back log por resúmenes o fugas presentes - Coordinar con personal de lubricación la inspección diaria del nivel de aceite de motor y las inspección del mismos - Coordinar con el operador el aviso de cualquier evento que se presente	Javier Zarate	10 días	- Se eliminaron resúmenes de aceite y realizaron back logs por las fallas encontradas - Se instruyó a personal de lubricación y operación	20/08/2015	10	4	3	120	
Nivel de aceite mayor que 18.7 galones	Sobreesfuerzo del motor	6	M.C.A. Contaminación de aceite con refrigerante	2	Muestreo	Predictiva	5	60	- Seguimiento					6	2	5	60	
		6	M.C.A. Contaminación del aceite con	2	Muestreo	Predictiva	5	60	- Seguimiento					6	2	5	60	

				combustible															
1.1.2 Templador (T)																			
Mantener tensada la correa o faja del alternador y ventilador. Requisitos: Para una fuerza de 110 N o 25 lb la flexión de la correa debe estar de 14 a 22 mm (9/16 a 13/16 in)	Falta de tensado de correa (flexión > 22mm)	Deficiente funcionamiento del alternador	5	M.T. Rotura de templador	2	Inspección visual	Detectiva	5	50	- Agregar en los pre usos diarios la inspección del templador - Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del templador	Glen Galindo	2 días	Se actualizo los pre usos y las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	5	2	4	40	
			5	M.T. Desgaste de rodaje	2	-			9	90	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del rodaje	Glen Galindo	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	5	2	5	50
			5	M.T. Rotura de resorte tensionador	2	Inspección visual	Detectiva	7	70	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del resorte	Glen Galindo	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	5	2	5	50	
			5	M.T. Falta de lubricación de rodaje	2	Lubricación	Preventiva	4	40	- Seguimiento					5	2	4	40	
			5	MT. Falta de ajuste del templador por el mecánico	3	Inspección visual	Detectiva	6	90	- Capacitación de personal mecánico - Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del templador	Glen Galindo	10 días	Se impartió charlas de inspección y ajuste de templador a personal mecánico	20/08/2015	5	3	4	60	
		Perdida de potencia del ventilador	4	M.T. Rotura de templador	2	Inspección visual	Detectiva	5	40	- Agregar en los pre usos diarios la inspección del templador - Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del templador	Glen Galindo	2 días	Se actualizo los pre usos y las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	4	2	4	32	

	4	M.T. Desgaste de rodaje	2	-		9	72	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del rodaje	Glen Galindo	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	4	2	5	40
	4	M.T. Rotura de resorte tensionador	2	Inspección visual	Detectiva	7	56	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del resorte	Glen Galindo	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	4	2	5	40
	4	M.T. Falta de lubricación de rodaje	2	Lubricación	Preventiva	4	32	- Seguimiento					4	2	4	32
	4	MT. Falta de ajuste del templador por el mecánico	3	Inspección visual	Detectiva	6	72	- Capacitación de personal mecánico - Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del templador	Glen Galindo	10 días	Se impartió charlas de inspección y ajuste de templador a personal mecánico	20/08/2015	4	3	4	48
Calentamiento de motor	5	MT. Rotura de templador	2	Inspección visual	Detectiva	5	50	- Agregar en los pre usos diarios la inspección del templador - Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del templador	Glen Galindo	2 días	Se actualizo los pre usos y las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	5	2	4	40
	5	M.T. Desgaste de rodaje	2	-		9	90	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del rodaje	Glen Galindo	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	5	2	5	50
	5	M.T. Rotura de resorte tensionador	2	Inspección visual	Detectiva	7	70	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del resorte	Glen Galindo	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	5	2	5	50
	5	M.T. Falta de lubricación de rodaje	2	Lubricación	Preventiva	4	40	- Seguimiento					5	2	4	40

			5	M.T. Falta de ajuste del templador por el mecánico	3	Inspección visual	Detectiva	6	90	- Capacitación de personal mecánico - Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del templador	Glen Galindo	10 días	Se impartió charlas de inspección y ajuste de templador a personal mecánico	20/08/2015	5	3	4	60	
Exceso de tensado de correa (flexión < 14mm)	Sobrecalentamiento del alternador		5	M.T. Exceso de ajuste del templador por el mecánico	3	-		7	105	- Capacitación de personal mecánico - Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del templador	Glen Galindo	10 días	Se impartió charlas de inspección y ajuste de templador a personal mecánico	20/08/2015	5	3	4	60	
	Exceso de potencia del ventilador		5	M.T. Exceso de ajuste del templador por el mecánico	3	-		7	105	- Capacitación de personal mecánico - Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del templador	Glen Galindo	10 días	Se impartió charlas de inspección y ajuste de templador a personal mecánico	20/08/2015	5	3	4	60	
1.1.3 Radiador																			
Enfriar el líquido de refrigerante. Almacenar el líquido refrigerante. Requisito: Almacenar 35.4 gal de líquido refrigerante	No enfriar el líquido refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	6	M.R. Desgaste de empaque de tina superior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección cada 4000 horas - Pre-fabricar los empaques para contar en stock ante posibles hallazgos de falla	Javier Zarate	12 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento y se realizó la fabricación de los empaques	22/08/2015	6	3	3	54	
			6	M.R. Desgaste de empaque de tina inferior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección	Javier Zarate	12 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento y se realizó	22/08/2015	6	3	3	54	

							del empaque cada 4000 horas - Pre-fabricar los empaques para contar en stock ante posibles hallazgos de falla			la fabricación de los empaques							
6	M.R. Rajadura o fisura de tina superior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	3	4			72
6	M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	3	4			72
6	M.R. Panel de radiador en mal estado	2	Inspección visual	Detectiva	6	72	Seguimiento					6	2	6			72
6	M.R. Núcleo interno de radiador en mal estado	1	-		9	54						6	1	9			54
6	M.R. Radiador sucio	4	Muestreo	Predictiva	5	120	- Agregar en cartilla de mantenimiento o el lavado del radiador cada 1000 horas y/o condición	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	4	3			72

	6	M.R. Mangueras de agua en mal estado	3	Inspección visual	Detectiva	6	108	- Fomentar la generación de back log ante fallas inminentes encontradas en las mangueras	Javier Zarate	10 días	Se impartió charlas de inspección y generación de back log	20/08/2015	6	3	5	90
	6	M.R. Contaminación con aceite lubricante	2	Muestreo	Predictiva	5	60	Seguimiento					6	2	5	60
	6	M.R. Tapa de radiador en mal estado	1	Inspección visual	Detectiva	5	30	Seguimiento					6	2	5	60
Desgaste prematuro de componentes internos del motor	6	M.R. Desgaste de empaque de tina superior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del empaque cada 4000 horas - Pre-fabricar los empaques para contar en stock ante posibles hallazgos de falla	Javier Zarate	12 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento o y se realizó la fabricación de los empaques	22/08/2015	6	3	3	54
	6	M.R. Desgaste de empaque de tina inferior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del empaque cada 4000 horas - Pre-fabricar los empaques para contar en stock ante posibles hallazgos de falla	Javier Zarate	12 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento o y se realizó la fabricación de los empaques	22/08/2015	6	3	3	54
	6	M.R. Rajadura o fisura de tina superior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	3	4	72

							o la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log											
6	M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	3	4				72
6	M.R. Panel de radiador en mal estado	2	Inspección visual	Detectiva	6	72	Seguimiento					6	2	6				72
6	M.R. Núcleo interno de radiador en mal estado	1	-		9	54						6	1	9				54
6	M.R. Radiador sucio	4	Muestreo	Predictiva	5	120	- Agregar en cartilla de mantenimiento o el lavado del radiador cada 1000 horas y/o condición	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	4	3				72
6	M.R. Mangueras de agua en mal estado	3	Inspección visual	Detectiva	6	108	- Fomentar la generación de back log ante fallas inminentes encontradas en las mangueras	Javier Zarate	10 días	Se impartió charlas de inspección y generación de back log	20/08/2015	6	3	5				90
6	M.R. Contaminación con aceite lubricante	2	Muestreo	Predictiva	5	60	Seguimiento					6	2	5				60



	6	M.R. Tapa de radiador en mal estado	1	Inspección visual	Detectiva	5	30	Seguimiento					6	2	5	60
Temperatura de aceite de motor elevado	6	M.R. Desgaste de empaque de tina superior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del empaque cada 4000 horas - Pre-fabricar los empaques para contar en stock ante posibles hallazgos de falla	Javier Zarate	12 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento y se realizó la fabricación de los empaques	22/08/2015	6	3	3	54
	6	M.R. Desgaste de empaque de tina inferior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del empaque cada 4000 horas - Pre-fabricar los empaques para contar en stock ante posibles hallazgos de falla	Javier Zarate	12 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento y se realizó la fabricación de los empaques	22/08/2015	6	3	3	54
	6	M.R. Rajadura o fisura de tina superior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	3	4	72
	6	M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	3	4	72



							stock ante posibles hallazgos de falla												
6	M.R. Desgaste de empaque de tina inferior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección del empaque cada 4000 horas - Pre-fabricar los empaques para contar en stock ante posibles hallazgos de falla	Javier Zarate	12 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento y se realizó la fabricación de los empaques	22/08/2015	6	3	3					54
6	M.R. Rajadura o fisura de tina superior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	3	4					72
6	M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	3	4					72
6	M.R. Panel de radiador en mal estado	2	Inspección visual	Detectiva	6	72	Seguimiento							6	2	6			72
6	M.R. Núcleo interno de radiador en mal	1	-		9	54								6	1	9			54

			estado															
		6	M.R. Radiador sucio	4	Muestreo	Predictiva	5	120	- Agregar en cartilla de mantenimiento o el lavado del radiador cada 1000 horas y/o condición	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	4	3	72	
		6	M.R. Mangueras de agua en mal estado	3	Inspección visual	Detectiva	6	108	- Fomentar la generación de back log ante fallas inminentes encontradas en las mangueras	Javier Zarate	10 días	Se impartió charlas de inspección y generación de back log	20/08/2015	6	3	5	90	
		6	M.R. Contaminación con aceite lubricante	2	Muestreo	Predictiva	5	60	Seguimiento					6	2	5	60	
		6	M.R. Tapa de radiador en mal estado	1	Inspección visual	Detectiva	5	30	Seguimiento					6	2	5	60	
Nivel de refrigerante demasiado elevado	Temperatura de trabajo del motor por debajo de lo normal	3	M.R. Exceso refrigerante por el lubricador	3	Inspección visual	Detectiva	3	27	Seguimiento					3	3	3	27	
	Sobreesfuerzo del motor	3	M.R. Exceso refrigerante por el lubricador	3	Inspección visual	Detectiva	3	27	Seguimiento					3	3	3	27	
	Viscosidad elevada de aceite del motor	3	M.R. Exceso refrigerante por el lubricador	3	Inspección visual	Detectiva	3	27	Seguimiento					3	3	3	27	
Nivel de refrigerante mínimo	Sobrecalentamiento del motor	6	M.R. Rajadura o fisura de tina superior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	3	4	72	

	6	M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	3	4	72
	6	M.R. Mangueras de agua en mal estado	3	Inspección visual	Detectiva	6	108	- Fomentar la generación de back log ante fallas inminentes encontradas en las mangueras	Javier Zarate	10 días	Se impartió charlas de inspección y generación de back log	20/08/2015	6	3	5	90
	6	M.R. Pérdida de tapa de radiador	1	Inspección visual	Detectiva	8	48	Seguimiento					6	1	8	48
	6	M.R. Panel de radiador en mal estado	2	Inspección visual	Detectiva	6	72	Seguimiento					6	2	6	72
Baja viscosidad de aceite de motor	6	M.R. Rajadura o fisura de tina superior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	3	4	72
	6	M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	3	-		9	162	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento	12/08/2015	6	3	4	72

	6	M.R. Mangueras de agua en mal estado	3	Inspección visual	Detectiva	6	108	- Fomentar la generación de back log ante fallas inminentes encontradas en las mangueras	Javier Zarate	10 días	Se impartió charlas de inspección y generación de back log	20/08/2015	6	3	5	90
	6	M.R. Pérdida de tapa de radiador	1	Inspección visual	Detectiva	8	48	Seguimiento					6	1	8	48
	6	M.R. Panel de radiador en mal estado	2	Inspección visual	Detectiva	6	72	Seguimiento					6	2	6	72
Contaminación ambiental	10	M.R. Rajadura o fisura de tina superior	3	-		9	270	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log - Implementar kits antiderrames y capacitar al personal	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento o Coordinar con seguridad la implementación de Kits antiderrames	12/08/2015	9	3	4	108
	10	M.R. Rajadura o fisura de tina inferior	3	-		9	270	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la tina superior cada 2000 horas, para su posterior generación de back log - Implementar kits antiderrames y capacitar al personal	Julio Meza	2 días	Se actualizo las cartillas de mantenimiento o Coordinar con seguridad la implementación de Kits antiderrames	12/08/2015	9	3	4	108

			10	M.R. Mangueras de agua en mal estado	3	Inspección visual	Detectiva	6	180	- Fomentar la generación de back log ante fallas inminentes encontradas en las mangueras - Implementar kits antiderrames y capacitar al personal	Javier Zarate	10 días	Se impartió charlas de inspección y generación de back log Coordinar con seguridad la implementación de Kits antiderrames	20/08/2015	9	3	5	135	
			10	M.R. Pérdida de tapa de radiador	1	Inspección visual	Detectiva	8	80	Seguimiento e implementar kits antiderrames y capacitar al personal	Javier Zarate	05 días	Coordinar con seguridad la implementación de Kits antiderrames	15/08/2015	9	1	8	72	
			10	M.R. Panel de radiador en mal estado	2	Inspección visual	Detectiva	6	120	Seguimiento e implementar kits antiderrames y capacitar al personal	Javier Zarate	05 días	Coordinar con seguridad la implementación de Kits antiderrames	15/08/2015	9	2	6	108	
1.1.4 Eje de balancines																			
Transmite el movimiento de la varilla de empuje a las válvulas de admisión y escape por medio del balancín	Falla en la transmisión de movimiento de la varilla de empuje a las válvulas de admisión y escape por medio del balancín	Ruido en el tren de válvulas	9	M.E.B. Desgaste de seguros de las válvulas	1	Muestreo	Predictivo	6	54	Seguimiento					9	1	6	54	
			9	M.E.B. Desgaste de balancín	1	Inspección visual	Detectiva	6	54	Seguimiento					9	1	6	54	
			9	M.E.B. Rotura de varilla empujadora de válvulas	1	Muestreo	Predictivo	6	54	Seguimiento					9	1	6	54	
			9	M.E.B. Exceso de ajuste de válvulas	3	Inspección visual	Detectiva	7	189	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o el procedimiento de calibración y regulación de válvulas - Evaluar y capacitar al	Javier Zarate	15 días	- Se agregó a las cartillas de mantenimiento o el procedimiento de calibración de las válvulas - Se capacito al personal en	25/08/2015	9	3	4	108	

							personal mecánico el proceso de calibración y regulación de válvulas			la calibración de válvulas							
	9	M.E.B. Falta de lubricación	3	Inspección visual de nivel de aceite	Detectiva	4	108	- Muestreo de aceite - Inspección periódica de fugas o resúmenes de aceite	Javier Zarate	20 días	- Capacitación al personal en el correcto muestreo de aceite - Se actualizo las cartillas de mantenimiento y pre-uso en la inspección de fugas de aceite - Se impartió charlas de generación de back log	30/08/2015	9	3	3	81	
Juego en las válvulas	7	M.E.B. Falta de lubricación	3	Inspección visual de nivel de aceite	Detectiva	4	84	- Muestreo de aceite - Inspección periódica de fugas o resúmenes de aceite	Javier Zarate	20 días	- Capacitación al personal en el correcto muestreo de aceite - Se actualizo las cartillas de mantenimiento y pre-uso en la inspección de fugas de aceite - Se impartió charlas de generación de back log	30/08/2015	7	3	3	63	
	7	M.E.B. Desgaste de resorte de válvulas	1	Muestreo	Predictivo	6	42	Seguimiento									0



			7	M.E.B. Desgaste de balancín	1	Inspección visual	Detectiva	6	42	Seguimiento								0
			7	M.E.B. Desgaste de cabeza de válvulas	1	Inspección visual	Detectiva	6	42	Seguimiento								0
			7	M.E.B. Desgaste de varilla empujadora de válvulas	1	Muestreo	Predictivo	6	42	Seguimiento								0
			7	M.E.B. Desgaste de levas	1	Muestreo	Predictivo	6	42	Seguimiento								0
			7	M.E.B. Desgaste de buzos del eje de levas	1	Muestreo	Predictivo	6	42	Seguimiento								0
1.2.1 Radio de comunicación																		
Transmite la comunicación entre radios portátiles o estacionarias. Requisitos: Transmitir comunicación con un rango de frecuencia de 132-162 MHz, potencia 25W	No transmite comunicación	Falta de comunicación	3	E.R.C. Avería de antena	5	-		9	135	- Evaluar duración y calidad de producto - Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la radio estacionaria y sus accesorios	Glen Galindo	8 días	Se evaluó el consumo de antenas, se coordinó para cambiar de proveedor Se agregó a la cartilla de mantenimiento o la inspección de la radio estacionaria y sus accesorios	18/08/2015	3	5	4	60
			3	E.R.C. Avería de micrófono	5	-		9	135	- Evaluar duración y calidad de producto - Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la radio estacionaria y sus accesorios	Glen Galindo	8 días	Se evaluó el consumo de antenas, se coordinó para cambiar de proveedor Se agregó a la cartilla de mantenimiento o la inspección de la radio estacionaria y sus accesorios	18/08/2015	3	5	4	60

			3	E.R.C. Avería de cable de comunicación	3	-		9	81	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la radio estacionaria y sus accesorios	Glen Galindo	8 días	- Se agregó en la cartilla de mantenimiento o la inspección de la radio estacionaria y sus accesorios	18/08/2015	3	3	4	36
			3	E.R.C. Avería de estabilizador	3	-		9	81	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la radio estacionaria y sus accesorios	Glen Galindo	8 días	- Se agregó en la cartilla de mantenimiento o la inspección de la radio estacionaria y sus accesorios	18/08/2015	3	3	4	36
			3	E.R.C Radio estacionaria defectuosa	3	-		9	81	- Agregar en las cartillas de mantenimiento o la inspección de la radio estacionaria y sus accesorios	Glen Galindo	8 días	- Se agregó en la cartilla de mantenimiento o la inspección de la radio estacionaria y sus accesorios	18/08/2015	3	3	4	36
1.2.2 Focos																		
Alumbrar regiones o zonas por medio de la emisión de luz eléctrica.	No alumbrar regiones o zonas	Falta de visualización en zonas específicas	3	E.F. Cortocircuito en cables eléctricos	4	Avisos del control electrónico	Detectiva	8	96	- Agregar en la cartilla de mantenimiento o la inspección de los fusibles cada mantenimiento o de 500 horas	Julio Meza	2 días	- Se agregó en la cartilla de mantenimiento o la inspección de los fusibles cada mantenimiento o de 500 horas	12/08/2015	3	4	5	60
			3	E.F. Exceso de alumbrado	5	Avisos del control electrónico	Detectiva	8	120	- Coordinar con operaciones y difundir el uso de la energía en los equipos	Javier Zarate	5 días	- Se realizó charlas de uso de energía para los operadores del equipo	15/08/2015	3	5	5	75



encendido, sistema de inyección de combustible, instrumentos y otros dispositivos eléctricos durante el arranque. Suministrar corriente eléctrica a todo el sistema eléctrico del vehículo cuando el motor no se encuentra en funcionamiento. Proveer potencia eléctrica adicional cada vez que los requerimientos de potencia sobrepasan la producción del sistema de carga. Requisitos: 24V-27 placas	del equipo. Falta de energía eléctrica para el encendido de dispositivos eléctricos	dispositivos eléctricos	4	M.B. Vibración excesiva	5	Inspección visual	Detectiva	5	100	- Programar para el 16/08/2015 la revisión y/o cambio de los pernos de sujeción, base de baterías y estructuras	Glen Galindo	6 días	- Se realizó la inspección y cambio de pernos defectuosos, reparación de soporte de batería	16/08/2015	4	4	4	64		
			4	M.B. Uso de batería de baja capacidad	1	Inspección visual	Detectiva	5	20	Seguimiento						4	1	5	20	
			4	M.B. Sobrecarga de batería	4	Avisos del control electrónico	Detectiva	5	80	Seguimiento							4	4	5	80
			4	M.B. Falta de carga de batería	4	Avisos del control electrónico	Detectiva	5	80	Seguimiento							4	4	5	80
			4	M.B. Bornes deteriorados	6	Inspección visual	Detectiva	5	120	- Programar para el 16/08/2015 la revisión y/o cambio de los bornes de las baterías	Glen Galindo	6 días	- Se realizó la inspección y cambio de bornes de baterías	16/08/2015	4	5	4	80		
			4	M.B. Falla del regulador de voltaje	2	Avisos del control electrónico	Detectiva	5	40	Seguimiento							4	2	5	40
			4	M.B. Pérdida de agua por sobrecalentamiento de motor	3	Avisos del control electrónico	Detectiva	5	60	Seguimiento							4	3	5	60
			4	M.B. Contaminación de electrolito	3	Avisos del control electrónico	Detectiva	5	60	Seguimiento							4	3	5	60
			4	M.B. Descargas profundas	5	Avisos del control electrónico	Detectiva	6	120	- Coordinar con operaciones y difundir el buen uso de la energía en los equipos	Javier Zarate	5 días	- Se realizó charlas de uso de energía para los operadores del equipo	15/08/2015	4	5	5	100		



							elementos de desgaste											
7	M.B. Desgaste de planchas laterales	5	Inspección visual	Detectiva	4	140	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programar la inspección de las planchas laterales del cucharón para su reparación si lo requiere</li> <li>- Generar cartillas de inspección de cucharón y elementos de desgaste</li> <li>- Realizar programa de inspecciones de cucharón y ED</li> <li>- Revisar y mantener el stock de elementos de desgaste</li> </ul>	Julio Meza	15 días	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se programó la inspección y refuerzo de las planchas laterales</li> <li>- Se generó cartilla de inspección</li> <li>- Se generó programas de inspección</li> <li>- Se realizó pedido de elementos de desgaste para mantener en stock</li> </ul>	25/08/2015	7	4	3	84			
7	M.B. Desgaste de adapters	3	Inspección visual	Detectiva	4	84	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generar cartillas de inspección de cucharón y elementos de desgaste</li> <li>- Realizar programa de inspecciones de cucharón y ED</li> <li>- Revisar y mantener el stock de elementos de desgaste</li> </ul>	Julio Meza	15 días	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se generó cartilla de inspección</li> <li>- Se generó programas de inspección</li> <li>- Se realizó pedido de elementos de desgaste para mantener en stock</li> </ul>	25/08/2015	7	3	3	63			

			7	M.B. Desgaste de orejas de cucharón	3	Inspección visual	Detectiva	4	84	- Generar cartillas de inspección de cucharón y elementos de desgaste - Realizar programa de inspecciones de cucharón y ED - Revisar y mantener el stock de elementos de desgaste	Julio Meza	15 días	- Se generó cartilla de inspección - Se generó programas de inspección - Se realizó pedido de elementos de desgaste para mantener en stock	25/08/2015	7	3	3	63
--	--	--	---	-------------------------------------	---	-------------------	-----------	---	----	---	------------	---------	--	------------	---	---	---	----

#### **f) Evaluación y seguimiento**

Luego de haber aplicado las acciones recomendadas por el AMEF y haber mejorado el nivel de riesgo NPR se realizó un análisis de mejora de la confiabilidad, para ello se siguió los pasos iniciales indicados en este capítulo, los cuales eran: adquisición de datos, selección del modelo estadístico y evaluación de la confiabilidad.

Se tomaron datos luego de 5000 horas de haber aplicado las acciones recomendadas por el AMEF, esto para poder obtener una nueva base de datos y evaluar si hubo mejora en la confiabilidad o no. Por lo tanto la base de datos que se ingresó al software RELIASOFT RGA correspondía a 15,000 horas de operación en promedio por equipo. Recordar que la base de datos con la que se trabajó inicialmente correspondía a 10,000 horas de operación en promedio por equipo.

- **Adquisición de datos**

Los datos acumulados para la flota de scoops de 0.77 yd<sup>3</sup> se encuentran en el Anexo 3.1.

- **Selección del modelo estadístico**

Para la selección del modelo estadístico se usó el software RELIASOFT RGA con el fin de realizar un test de tendencia de Laplace y determinar si es factible usar el modelo de Crow Amsaa o Power Low, y así determinar su parámetro de forma beta y su parámetro de escala lambda.

Haciendo uso del Software RELIASOFT RGA **para 15,000 horas de operación acumuladas** se obtuvo que los scoops de 0.75 yd<sup>3</sup> tenían una **tendencia de mejora**, esto quiere decir que se encontraban dentro de un sistema feliz en la que el MTBF (Tiempo medio entre fallas) aumenta en el tiempo (fallan menos en el transcurso del tiempo, ver capítulo 2.3). Para visualizar el resultado Ver Tabla 4.28, p. 125. El



modelo estadístico que se ajusta para un sistema feliz es el NHPP, **en este caso el modelo estocástico de Crow Amsaa.**

TABLA 4.28  
TEST DE TENDENCIA DE LAPLACE PARA UNA FLOTA DE  
SCOOPS DE 0.75 YD3

<b>Informe de Resultados Scoop 0.75 yd3</b>	
<b>SC-05</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-06</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-07</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-08</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-09</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-11</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-12</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-28</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-29</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-31</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-32</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora
<b>SC-44</b>	
Tendencia de Laplace	Mejora

Fuente: Softward RELIASOFT RGA

- **Evaluación de la confiabilidad**

Para realizar la evaluación de la confiabilidad primero se obtuvo el parámetro de forma beta y el parámetro de escala lambda con el uso del software RELIASOFT RGA.

TABLA 4.29

INFORME DE RESULTADOS PARA UNA FLOTA DE SCOOPS DE  
0.75 YD3

Informe de Resultados Scoop 0.75 yd3	
Tipo de informe	Resultados
<b>Información de usuario</b>	
Nombre	Adolfo Casilla
Empresa	CIGAM
Fecha	24/11/2018
<b>Parámetros</b>	
Modelo	Crow-AMSAA (NHPP)
Análisis	MLE
Beta	0.8039
Lambda (h)	0.1925

Fuente: Softward RELIASOFT RGA

Se puede visualizar que el beta es igual a 0.8039 y es menor que 1, esto indica que el tiempo medio entre fallas (MTBF) aumenta con el transcurrir del tiempo.

- **Cálculo del tiempo medio entre fallas MTBF para 15,000 horas**

Se realizó el cálculo del MTBF para 15,000 horas de operación usando la siguiente ecuación:

Usando la siguiente ecuación para el cálculo del MTBF

$$MTBF_{inst} = 1/\lambda\beta t^{\beta-1}$$

Para un tiempo proyectado de 15,000 horas y reemplazando los valores de lambda y beta se obtuvo lo siguiente:

TABLA 4.30

CALCULO DEL MTBF (TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS)

Flota scoops	Beta	Lambda	MTBF
0.75 yd3	0.8039	0.1925	42.6

Fuente: Elaboración propia

- **Comparación del MTBF para 15,000 horas vs el MTBF para 10,000 horas**

Usando los valores de beta, lambda indicada en la Tabla 4.17, p. 73, y comparándolo con la Tabla 4.30 se obtuvo lo siguiente:

TABLA 4.31

$\beta$  (15,000 HRS) VS  $\beta$  (10,000 HRS)

Scoop LH201 0.75 yd3		
<b>Tiempo</b>	10000	15000
<b>Beta</b>	0.8082	0.8039
<b>Lambda</b>	0.1906	0.1925

Fuente: Elaboración propia

Se puede verificar en la Tabla 4.31 que el beta obtenido a las 15,000 hrs es menor que el beta obtenido a las 10,000 hrs, esto quiere decir que hubo una mejora en la confiabilidad y el MTBF está aumentando en el tiempo.

TABLA 4.32

MTBF (15,000 HRS) VS MTBF (10,000 HRS)

Scoop LH201 0.75 yd3		
<b>Escenarios</b>	1er	2do
<b>Tiempo</b>	15000	15000
<b>Beta</b>	0.8082	0.8039
<b>Lambda</b>	0.1906	0.1925
<b>MTBF</b>	41	43

Fuente: Elaboración propia

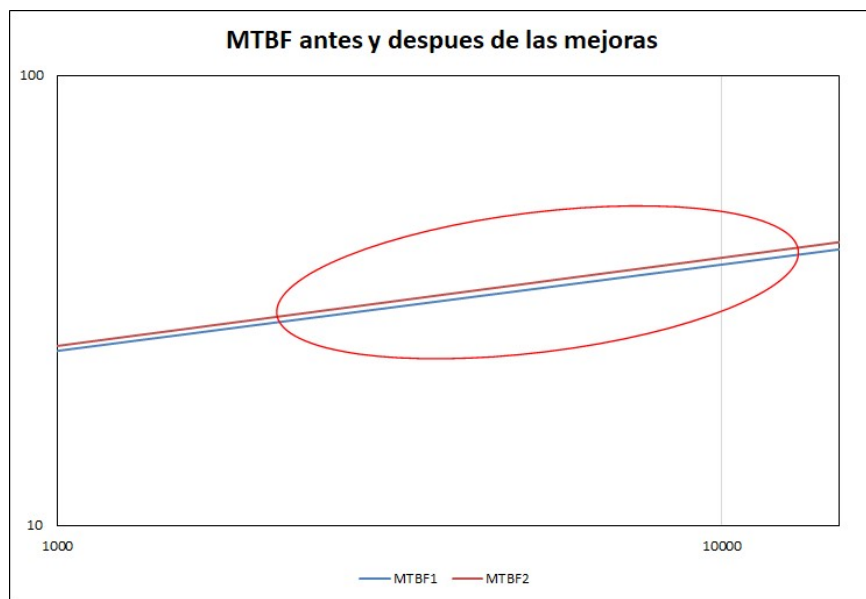
Se realizó el cálculo del MTBF para dos escenarios, el primero para el escenario si no se hubiesen aplicado acciones de mejora y el segundo escenario cuando se aplicaron acciones de mejora. Esto con el único fin de evaluar la mejora del MTBF para 15,000 horas de operación de la flota. Ver Tabla 4.32.

Se puede visualizar que a las 15,000 horas de operación hay una mejora del MTBF luego de que se hayan aplicado las acciones de mejora propuestas por el AMEF.

Se realizó una gráfica para visualizar la mejora del MTBF.

GRAFICO 4.9

MTBF ANTES Y DESPUES DE LAS MEJORAS



Fuente: Elaboración propia

- **Comparación del  $W(t)$  (Número esperado de fallas) para 15,000 horas vs el  $W(t)$  para 10,000 horas**

Se realizó el cálculo del  $W(t)$  para dos escenarios, el primero para el escenario si no se hubiesen aplicado acciones de mejora y el segundo escenario cuando se aplicaron acciones de mejora. Esto con el único fin de evaluar la mejora del  $W(t)$  para 15,000 horas de operación de la flota. Ver Tabla 4.33, p. 129.

Usando la siguiente ecuación para el cálculo del número esperado de fallas  $W(t)$ .

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

TABLA 4.33

W(t) (15,000 HRS) VS W(t) (10,000 HRS)

Scoop LH201 0.75 yd3		
Escenarios	1er	2do
Tiempo	15000	15000
Beta	0.8082	0.8039
Lambda	0.1906	0.1925
W(t)	452	<b>438</b>

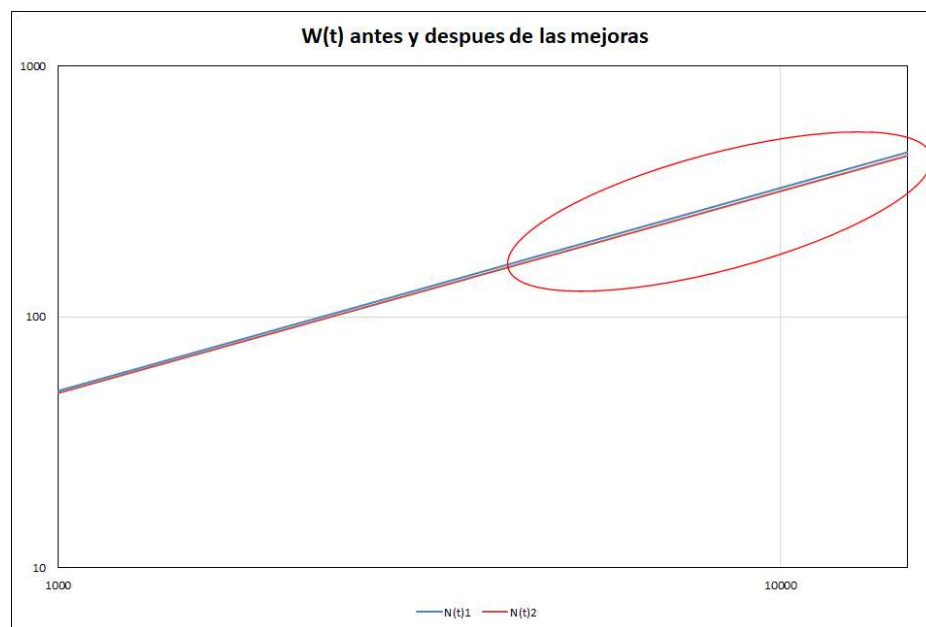
Fuente: Elaboración propia

Se puede visualizar que a las 15,000 horas de operación hay una mejora del W(t) luego de que se hayan aplicado las acciones de mejora propuestas por el AMEF.

Se realizó una gráfica para visualizar la mejora del W(t).

GRAFICO 4.10

W(t) ANTES Y DESPUES DE LAS MEJORAS



Fuente: Elaboración propia

- **Comparación de la Confiabilidad R(t) para 15,000 horas vs el R(t) para 10,000 horas**

Se realizó el cálculo del R(t) para dos escenarios, el primero para el escenario si no se hubiesen aplicado acciones de mejora y el segundo escenario cuando se aplicaron acciones de mejora. Esto con el único fin de evaluar la mejora de la confiabilidad R(t) para 15,000 horas de operación de la flota. Ver Tabla 4.34.

Usando la siguiente ecuación para el cálculo de la confiabilidad W(t).

$$R(t) = e^{(-\lambda t^\beta)}$$

Y calculando la confiabilidad R(t) para 15,000 horas se obtuvo lo siguiente:

TABLA 4.34

R(t) (15,000 HRS) VS R(t) (10,000 HRS)

Scoop LH201 0.75 yd3		
Escenarios	1er	2do
Tiempo	15000	15000
Beta	0.8082	0.8039
Lambda	0.1906	0.1925
R(t)	18.25%	<b>18.31%</b>

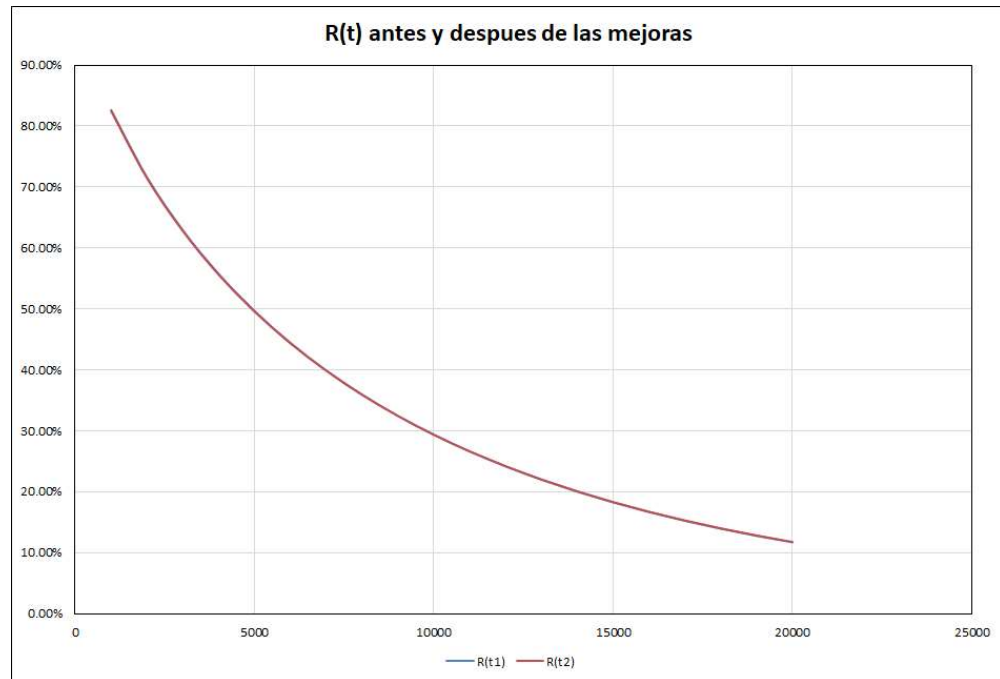
Fuente: Elaboración propia

Se puede visualizar que a las 15,000 horas de operación hay una mejora de la confiabilidad R(t) luego de que se hayan aplicado las acciones de mejora propuestas por el AMEF.

Se realizó una gráfica para visualizar la mejora del R(t).

GRAFICO 4.11

R(t) ANTES Y DESPUES DE LAS MEJORAS



Fuente: Elaboración propia

## CAPITULO V RESULTADOS

### 5.1 EVALUACIÓN DE LA CRITICIDAD DE LAS FLOTAS DE SCOOPS

Haciendo uso del software RELIASOFT RGA se calculó los parámetros de forma beta y los parámetros de escala lambda.

TABLA 5.1  
LAMBDA  $\lambda$  Y BETA  $\beta$  DE LAS FLOTAS DE SCOOPS DE 0.75 YD3,  
1.5 YD3 Y 4 YD3.

Flota scoops	Beta	Lambda
0.75 yd3	<b>0.8082</b>	0.1906
1.5 yd3	0.4896	2.7212
4 yd3	0.3084	16.7042

Fuente: Elaboración propia

Posterior a eso se realizó el cálculo del MTBF de cada flota de scoops, encontrando que la flota de scoop de 0.75 yd3 es la más crítica porque su MTBF es el menor.

TABLA 5.2  
CALCULO DEL MTBF (TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS)

Flota scoops	Beta	Lambda	MTBF
0.75 yd3	0.8082	0.1906	<b>38</b>
1.5 yd3	0.4896	2.7212	83
4 yd3	0.3084	16.7042	113

Fuente: Elaboración propia

### 5.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE SISTEMAS Y COMPONENTE DE LA FLOTA DE SCOOPS DE 0.75 YD3

Haciendo uso del diagrama de Jack Knife se determinó que los sistemas y componentes más críticos eran:



TABLA 5.3  
SISTEMAS Y COMPONENTES CRITICOS

Sistema	Componente
Motor	Colector de aceite
	Templador
	Radiador
	Eje de balancines
Eléctrico	Radio de comunicación
	Focos
	Batería
Cucharon	Cucharon

Fuente: Elaboración propia

### 5.3 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS

Luego de encontrar los sistemas y componentes críticos que afectan la confiabilidad de la flota de scoops de 0.75 yd<sup>3</sup> se usó el Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) con el fin de evaluar las causas raíces de los modos de fallas de las funciones de cada componente crítico de los cargadores de bajo perfil y poder implementar actividades que mejoren su confiabilidad. Las actividades que fueron implementadas se encuentran en la Tabla 4.27, p. 99.

### 5.4 EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD

Luego de haber aplicado las acciones recomendadas por el AMEF y haber mejorado el nivel de riesgo NPR se realizó un análisis de mejora de la confiabilidad.

Haciendo uso del software RELIASOFT RGA se calculó los parámetros de forma beta y los parámetros de escala lambda.

TABLA 5.4  
CALCULO DEL MTBF (TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS)

Flota scoops	Beta	Lambda	MTBF
0.75 yd <sup>3</sup>	0.8039	0.1925	42.6

Fuente: Elaboración propia

Posterior se realizó el cálculo del  $R(t)$  para dos escenarios, el primero para el escenario si no se hubiesen aplicado acciones de mejora y el segundo escenario cuando se aplicaron acciones de mejora. Esto con el único fin de evaluar la mejora de la confiabilidad  $R(t)$  para 15,000 horas de operación de la flota.

TABLA 5.5

$R(t)$  (15,000 HRS) VS  $R(t)$  (10,000 HRS)

Scoop LH201 0.75 yd3		
Escenarios	1er	2do
Tiempo	15000	15000
Beta	0.8082	0.8039
Lambda	0.1906	0.1925
$R(t)$	18.25%	<b>18.31%</b>

Fuente: Elaboración propia

Se puede visualizar que a las 15,000 horas de operación hay una mejora de la confiabilidad  $R(t)$  luego de que se hayan aplicado las acciones de mejora propuestas por el AMEF.

## **CAPITULO VI**

### **DISCUSION DE RESULTADOS**

#### **6.1 CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS**

##### **6.1.1 Contratación de Hipótesis General**

“La aplicación del modelo estocástico de Crow Amssa mejorara la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup>”.

El uso del modelo estocástico de Crow Amsaa logro mejorar la confiabilidad de la flota de scoops de 0.75 yd<sup>3</sup>, debido a que dio una visión clara del estado de la confiabilidad que tenía la flota de scoops antes y después de aplicado las acciones de mejora. Ver Capítulo 5.

##### **6.1.2 Contratación de Hipótesis Específicas**

- a) “El evaluar los tiempos medios entre fallas, usando el modelo estocástico de Crow Amsaa, puede determinar la criticidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup>”

Con el cálculo del MTBF haciendo uso del modelo estocástico de se determinó la flota más crítica. Ver Capítulo 5.1.

- b) “El uso del modelo de Jack Knife puede determinar la criticidad de los sistemas que componen la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup>”

Con el uso del modelo de Jack Knife se determinó los sistemas y componentes más críticos. Ver Capítulo 5.2.

- c) “El uso del Análisis de Modos y Efectos de Fallas desarrolla actividades para mejorar la confiabilidad de los sistemas críticos de una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup>”

Con el uso del AMEF se implementaron acciones de mantenimiento para mejorar la confiabilidad de los sistemas. Ver Tabla 4.27, p. 98.

- d) “El determinar la confiabilidad usando el modelo estocástico de Crow Amssa puede medir la mejora en la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd<sup>3</sup>”.

Con el uso modelo estocástico de Crow Amsaa se logró medir la mejora de la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.785 yd<sup>3</sup>. Ver Capítulo 5.4.

## **6.2 CONTRASTACION DE LOS RESULTADOS CON ESTUDIOS SIMILARES**

PARIONA, Charles. Análisis de las fallas de los equipos críticos de flotación, para reducir las pérdidas de producción en la Unidad Minera de Yauliyacu. Tesis (Ingeniero Mecánico). Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2016. 222 pp. Esta tesis buscaba mejorar la confiabilidad de los equipos de planta de la minera Yauliyacu, para lo cual se usó el FMEA - Análisis de modos y efectos de fallas (análisis cualitativo) y el modelo de Weibull (análisis cuantitativo), esto con el fin de optimizar la frecuencia de inspecciones y mantenimientos de los equipos de plantas y también aplicaron el MINITAB como herramienta de análisis de la confiabilidad.

En la presente tesis se usó el FMEA o AMEF y el modelo estocástico de Crow Amsaa, sin embargo la metodología para mejorar la confiabilidad es similar a la que presenta Pariona Charles, esto demuestra que la aplicación de una metodología para mejorar la confiabilidad de una flota o equipos en base a modelos estadísticos es muy apropiada. Esto también demuestra que un modelo estadístico no se puede aplicar para todos los equipos, porque dependerá de la información o base de datos con la que se esté trabajando, en este caso Pariona Charles determino que el modelo de Weibull era apropiado para la base de datos de fallas con la que contaba.

APOLINARIO, Miguel. Estimación de la confiabilidad en equipos mediante el uso del análisis de Weibull. Tesis (Ingeniero Mecánico). Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2008. 133 pp. Esta Tesis uso el diagrama de Weibull para estimar la confiabilidad de motocompresores de gas natural, esto con el fin de determinar si los motocompresores están en una etapa de desgaste crítica o no, y en base a eso desarrollar planes de mantenimiento que mejoren su confiabilidad. Los resultados de esta tesis son similares a la tesis actual, esto porque a pesar que sean distintos equipos en distintas regiones del País la obtención del parámetro de forma beta es importante ya que con eso se pueden determinar acciones e iniciar un proceso de mejora de la confiabilidad.

HALL, Robert. Análisis de datos de mantenimiento de equipos móviles en una minera subterránea. Tesis (Master en Ingeniería). Canada: Queen's University, facultad de ingeniería mecánica, 1997. 105 pp. Esta tesis fue aplicada a una flota de scoops, en la que se usaron herramientas de confiabilidad como el AMEF y el modelo estocástico llamado Crow Amsaa logrando mejorar la confiabilidad de sus equipos. Este proceso de mejora de la confiabilidad es similar a la tesis presente, esto porque se usa el AMEF y el modelo de Crow Amsaa, sin embargo en la tesis de Hall Robert no menciona como realiza un análisis de criticidad de sus equipos y sistemas.

### **6.3 RESPONSABILIDAD ETICA**

La presente tesis ha sido desarrollada respetando los derechos de autor de todos aquellos investigadores mencionados en los antecedentes, dando fe que no ha existido copia de datos de otras investigaciones, así mismo se respeta la confidencialidad de los datos proporcionados por la unidad minera Arcata para el desarrollo de la tesis y se pedí al señor lector que respete la información encontrada en esta presente tesis.

## CONCLUSIONES

Se tienen las siguientes conclusiones:

- 1) El uso de modelos estadísticos de confiabilidad varían de acuerdo a la base de datos de fallas de los equipos que se analizan, existiendo modelos estadísticos para sistemas reparables y sistemas no reparables.
- 2) El uso inapropiado de modelos estadísticos sin antes realizar pruebas de tendencias puede llevar a tomar malas decisiones y genere grandes pérdidas.
- 3) El cálculo del tiempo medio entre fallas, parámetro de forma beta y el número esperado de fallas pueden ser usados para determinar el estado de la confiabilidad de un sistema o sistemas.
- 4) El uso del diagrama de Jack Knife es muy recomendado para evaluar prioridades en equipos, sistemas o componentes, desplazando al diagrama de Pareto, ya que se basa en tres parámetros importantes (tasa de fallas, tiempo medio para reparar e indisponibilidad), mientras que el diagrama de Pareto solo analiza un parámetro.
- 5) El hacer uso de modelos estadísticos (como el modelo de Crow Amsaa) y herramientas cualitativas (como el AMEF) en conjunto son más efectivas para mejorar la confiabilidad de un sistema. Ya que los modelos estadísticos indican si las acciones de mejora realizadas han tenido gran impacto en el sistema analizado o no.

## RECOMENDACIONES

Se tienen las siguientes recomendaciones:

1. No usar el modelo de Weibull u otros modelos estadísticos para determinar la confiabilidad de un sistema, primero realizar pruebas de tendencias para determinar el modelo apropiado del sistema que se está analizando.
2. Antes de realizar un análisis de confiabilidad de un sistema hacer un buen filtrado de datos de fallas.
3. Mantener una estructura taxonómica de base de datos debidamente ordenada, ya que con esta información se realizarán los análisis de confiabilidad y de no estar correctas las decisiones que se tomen pueden tener impacto negativo para la organización.
4. Para realizar el Análisis de Modos y Efectos de Fallas se debe contar con un grupo de personas capacitadas en su uso y con un facilitador que los guíe, esto porque las decisiones y análisis que se tomen será en base a la experiencia de cada persona del grupo de investigadores. El grupo debe estar conformado por supervisores, técnicos, operadores, jefes e incluso el gerente de mantenimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- APOLINARIO, Miguel. Estimación de la confiabilidad en equipos mediante el uso del análisis de Weibull. Tesis (Ingeniero Mecánico). Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2008. 133 pp.  
Disponible en:  
[http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/750/1/apolinario\\_gm.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/750/1/apolinario_gm.pdf)
- CROW, Larry. Reporte técnico de análisis de confiabilidad para sistemas reparables complejos. Maryland: [s.n.], 1975. 40pp.  
Disponible en:  
<https://pdfs.semanticscholar.org/e176/06aeb2e7c003ad1b7610006bbb27ac622a10.pdf>
- DA COSTA, Martín. Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción. Tesis (Ingeniero Mecánico). Perú: Pontificie Universidad Católica del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2010. 120 pp.  
Disponible en:  
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/567>
- DEUTZ, Manual operador Motor F3L912. [s.l]:[s.n],[2005?],[120]pp.  
Disponible en:  
<https://es.scribd.com/doc/62038303/Deutz-912-913-Manual-Del-Operador>
- FERNANDEZ, Antonio. Gestión del Mantenimiento. España: Universidad de las Palmas de Gran Canaria, [2016?], 101 pp.  
Disponible en:  
<https://www.fulp.es/cursos/maestria-internacional-en-ingenieria-de-confiabilidad--mantenibilidad-y-riesgo-micro-xi--7976>
- GALVAN, Blas y SOSA, Adriel. Confiabilidad de dispositivos. España: Universidad de las Palmas de Gran Canaria, [2016?], 36 pp.  
Disponible en:



<https://www.fulp.es/cursos/maestria-internacional-en-ingenieria-de-confiabilidad--mantenibilidad-y-riesgo-micro-xi--7976>

- GONZALES, Vicente [et al]. Proceso de Poisson no homogéneo aplicado a la reparación en garantía de un producto. *Revista Tecnológica Industrial, España: Universidad de Sevilla*, (1):01-11, 2014.

Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/271098970\\_calculo\\_del\\_periodo\\_de\\_garantia\\_tras\\_la\\_reparacion\\_de\\_un\\_activo\\_industrial\\_complejo\\_aplicando\\_procesos\\_de\\_poisson\\_no\\_homogeneos](https://www.researchgate.net/publication/271098970_calculo_del_periodo_de_garantia_tras_la_reparacion_de_un_activo_industrial_complejo_aplicando_procesos_de_poisson_no_homogeneos)

- HALL, Robert. Análisis de datos de mantenimiento de equipos móviles en una minera subterránea. Tesis (Master en Ingeniería). Canada: Queen's University, facultad de ingeniería mecánica, 1997. 105 pp.

Disponible en:

<https://repositorio.uc.cl/discover?scope=%2F&query=&submit=lr&pp=10>

- JARDIN, Andrew y ALBERT, Tsang. Mantenimiento, Reemplazo y Confiabilidad, teoría y aplicaciones. E.U.A: CRC Press, 2006. 322pp. ISBN: 9781466554856
- LOUIT, Darko "et al.". Reliability Engineering & System Safety, E.U.A: ELSEVIER, 2009, [1974] pp. ISSN: 09518320.

- MARTORELL, Sebastián y SANCHEZ, Isabel. Fundamentos y Técnicas del análisis de riesgo. España: Universidad de las Palmas de Gran Canaria, [2016?], 106 pp.

Disponible en:

<https://www.fulp.es/cursos/maestria-internacional-en-ingenieria-de-confiabilidad--mantenibilidad-y-riesgo-micro-xi--7976>

- NAVAS, Miguel. Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis multivariante. Tesis (Doctor

en Ingeniería). España: Universidad nacional de educación a distancia, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, 2017. 308 pp.

Disponible en:

[http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:IngInd-Manavas/NAVAS\\_ALVAREZ\\_MiguelAngel\\_Tesis.pdf](http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:IngInd-Manavas/NAVAS_ALVAREZ_MiguelAngel_Tesis.pdf)

- PARIONA, Charles. Análisis de las fallas de los equipos críticos de flotación, para reducir las pérdidas de producción en la Unidad Minera de Yauliyacu. Tesis (Ingeniero Mecánico). Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2016. 222 pp.

Disponible en:

<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1654/TEISIS%20PARIONA%20ZAMUDIO%20CHARLES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- PASCUAL, Rodrigo. El Arte de Mantener. 3.<sup>a</sup> ed. Chile: Centro de Minería por la Universidad Católica de Chile, 2009. 1314 pp.

Disponible en:

[https://www.ucsc.cl/ingenieria/2005/2/ME57A/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=77092](https://www.ucsc.cl/ingenieria/2005/2/ME57A/1/material_docente/bajar?id_material=77092)

- Petroleum, petrochemical and natural gas industries. ISO 14224:2016, Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collention and Exchange of reliability and maintenance data for equipment. European, 2016. 283 pp.

Disponible en:

<https://www.iso.org/standard/64076.html>

- RAUSAND, Marvin y HOYLAND. Arnljot. System Reliability Theory. 2.<sup>a</sup> ed. E.U.A: Wiley Interscience, 2004, 636 pp.

ISBN: 047147133X

- RELASIAFOT corporation. Análisis de Crecimiento de confiabilidad y Sistemas Reparables [en línea]. [E.U.A]: [s.n.], 2014. 380 pp.

Disponible en:

[http://reliawiki.org/index.php/Reliability\\_Growth\\_and\\_Repairable\\_System\\_Analysis\\_Reference](http://reliawiki.org/index.php/Reliability_Growth_and_Repairable_System_Analysis_Reference)

- SAMPIERI, Roberto y FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. Metodología de la investigación. 5.<sup>a</sup> ed. México: McGraw-Hill, 2010. 613 pp.

ISBN: 9786071502919

- SANDVIK, Manual del operador – Scoop 0.75 yd3 LH201-D. [s.l]:[s.n], [2006?], [120]pp.

Disponible en:

<https://es.scribd.com/document/231476732/77006456-I-LH201-Spanish>

- SMRP. SMRP best practices. 5.<sup>a</sup> ed, E.U.A: Society for Maintenance & Reliability Professionals (SMRP), 2017, 379 PP.

Disponible

en:

[https://portal.smrp.org/eweb/shopping/shopping.aspx?pager=2&site=smrp&webcode=shopping&prd\\_key=d588a423-85f3-4c2d-a1c4-b35888a12f4d](https://portal.smrp.org/eweb/shopping/shopping.aspx?pager=2&site=smrp&webcode=shopping&prd_key=d588a423-85f3-4c2d-a1c4-b35888a12f4d)

- TAVARES, Lourival. Administración moderna del mantenimiento. Brasil: Novo Polo publicaciones, [1996?], 158 pp.

Disponible en:

<https://es.slideshare.net/CarlosAlbertoZiga/administracion-moderna-de-mantenimiento-lourival-tavares>

- The Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea Air and Space. SAE JA1012, Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. E.U.A, 2002. 62 pp.

Disponible en:

[http://dl.mpedia.ir/e-books/26-\[SAE\]SAE-JA1012-RCM\[mpedia.ir\].pdf](http://dl.mpedia.ir/e-books/26-[SAE]SAE-JA1012-RCM[mpedia.ir].pdf)

## ANEXOS

### Anexo 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Realidad Problemática	Planteamiento del Problema		Variables e Hipotesis		Instrumentos de recolección de datos	Diseño Metodológicos	
	Problema	Objetivos	Hipotesis	Variables		Nivel de la investigación	Tipo de la investigación
	Problema General	Ojetivos General	Hipotesis General	Dimensiones			
<p>Actualmente la unidad minera Arcata de la empresa Hochschild Mining cuenta con una flota de 12 cargadores de bajo de perfil (scoop) de 0.75 yd3, una flota de 3 cargadores de bajo perfil de 1.5 yd3 y una flota de 4 cargadores de bajo perfil de 4 yd3, los cuales tienen reportes de altos tiempos de reparación y alta cantidad de fallas, siendo la flota de scoops de 0.75 yd3 la que mayores tiempos de reparación y falla tiene, a esto se suma la baja producción de la minera la cual llego a 1800 ton/mes en el año 2017 y ahora llega 800 ton/mes en el presente año año 2018, provocando que la situación actual de la unidad minera no cuente con el presupuesto suficiente para el mantenimiento general de los equipos, teniendo la necesidad de mejorar la confiabilidad de la flota de scoops de 0.75 yd3 y evitar fallas que ocasionen más gastos por mantenimiento.</p>	<p>¿Cómo mejorar la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3 aplicando el modelo estocástico de Crow Amsaa?</p>	<p>Mejorar la confiabilidad de una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3 aplicando el modelo estocástico de Crow Amsaa</p>	<p>La aplicación del modelo estocástico de Crow Amsaa mejorara la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3</p>	<p>Vi. Modelo estocástico de Crow Amsaa Vd. Mejora de la confiabilidad de una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3</p>	<p>Historial de reporte de mantenimiento, formato para el Diagrama de Jack Knife, programas de cálculo excel</p>	<p>1. Según los objetivos de estudios 2. Según el nivel de conocimientos y manipulación de variables 3. Según el nivel de medición y naturaleza de la información</p>	<p>1. Aplicada y tecnológica 2. descriptiva, explicativa 3. Cuantitativa</p>
	<p>¿Cómo evaluar la criticidad de la flota de cargadores de bajo perfil usando el modelo estocástico de Crow Amsaa?</p>	<p>Determinar la criticidad de la flota de cargadores de bajo perfil usando el modelo estocástico de Crow Amsaa</p>	<p>El evaluar los tiempos medios entre fallas, usando el modelo estocástico de Crow Amsaa, puede determinar la criticidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3</p>	<p>Tiempos medios entre fallas Criticidad de la flota de cargadores de bajo perfil</p>	<p>Historial de reporte de mantenimiento, programas de cálculo excel</p>		
	<p>¿Cómo evaluar la criticidad de los sistemas que componen la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3, usando el modelo de Jack Knife?</p>	<p>Evaluar la criticidad de los sistemas que componen la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3 usando el modelo de Jack Knife</p>	<p>El uso del modelo de Jack Knife puede determinar la criticidad de los sistemas que componen la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3</p>	<p>Modelo de Jack Knife Criticidad de los sistemas de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3</p>	<p>Historial de reporte de mantenimiento, programas de cálculo excel</p>		
	<p>¿Cómo desarrollar actividades para mejorar la confiabilidad de los sistemas críticos de una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3, usando el análisis de modos y efectos de falla?</p>	<p>Desarrollar actividades para mejorar la confiabilidad de los sistemas críticos de una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3, usando el análisis de modos y efectos de falla</p>	<p>El uso del Análisis de Modos y Efectos de Fallas desarrolla actividades para mejorar la confiabilidad de los sistemas críticos de una flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3</p>	<p>Análisis de modos y efectos de fallas Actividades para mejorar la confiabilidad de los sistemas críticos</p>	<p>Historial de reporte de mantenimiento</p>	Parametro de diseño	
	<p>¿Cómo determinar la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3 para medir la mejora en la confiabilidad, usando el modelo estocástico de Crow Amsaa?</p>	<p>Determinar la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3 para medir la mejora en la confiabilidad, usando el modelo estocástico de Crow Amsaa</p>	<p>El determinar la confiabilidad usando el modelo estocástico de Crow Amsaa, puede medir la mejora en la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3</p>	<p>Confiabilidad Mejora de la confiabilidad de la flota de cargadores de bajo perfil de 0.75 yd3 para medir la mejora en la confiabilidad</p>	<p>Historial de reporte de mantenimiento, programas de cálculo excel</p>	<p>MTBF: Tiempo medio entre fallas R: Confiabilidad N(t): Número esperado de fallas</p>	

## Anexo 2. INSTRUMENTOS VALIDADOS

Formato de reporte de mantenimiento

Fecha	Tipo de Equipo	Equipo	Ubicación	Tipo de mantenimiento	Sistema	Detalle de intervención	H.I. Parada	H.I. intervención	H.F. Parada	T. Horas	Horómetro

Fuente: Elaboración propia

Formato para el Diagrama de Jack Knife

Etiquetas de fila	N° Fallas	Tiempo fuera de servicio	MTTR	Taza de fallas	Indisponibilidad
<b>Total general</b>					

Fuente: Elaboración propia

### Formato de Análisis de modos y efectos de falla

Función y Requisitos	Modo de Falla	Efecto de falla	Si	Clasificación	Causa de falla	Oi	Control	Tipo de Control	Di	RPNi	SODi	Acción Recomendada	Persona Responsable	Plazo	Acción Tomada	Fecha de Conclusión	Sr	Or	Dr	RPNr	SODr	

Fuente: Elaboración propia







Equipo	Marca	Modelo	Capacidad, Yds3	Fecha	Horas operativas	Tip de intervención	Horas de inspección	Horas por mantenimiento preventivo	Horas por reparaciones programadas	Horas por intervenciones correctivas	Horas por intervenciones eléctricas	Horas por accidentes	Horas por intervenciones de soldadura	Horas por intervenciones de soldadura	Horas por intervenciones de flantas
SC-20	Sandvik	LH 202	1.5	8/09/2011	8212.3	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-07	Sandvik	LH 201-100D	0.75	9/09/2011	12917.6	MC	0	0	0	1	0	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	9/09/2011	8135.8	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-06	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	9/09/2011	15212.8	MC	1	0	0	0	0.5	0	0	0	0
SC-20	Sandvik	LH 202	1.5	9/09/2011	8212.3	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	10/09/2011	8135.8	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-20	Sandvik	LH 202	1.5	10/09/2011	8212.3	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-32	Sandvik	LH 201-100D	0.75	10/09/2011	8360.4	MC	0	0	0	11	0	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	11/09/2011	8135.8	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-08	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	11/09/2011	10560	MC	0	0	0	1	0	0	0	0	0
SC-20	Sandvik	LH 202	1.5	11/09/2011	8212.3	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	12/09/2011	8135.8	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-08	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	12/09/2011	10568	MC	0	0	0	2	0	0	0	0	0
SC-20	Sandvik	LH 202	1.5	12/09/2011	8212.3	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-32	Sandvik	LH 201-100D	0.75	12/09/2011	8381.5	MC	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	13/09/2011	8135.8	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-20	Sandvik	LH 202	1.5	13/09/2011	8212.3	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-32	Sandvik	LH 201-100D	0.75	13/09/2011	8393	MC	0	0	0	1	0	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	14/09/2011	8135.8	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-20	Sandvik	LH 202	1.5	14/09/2011	8212.3	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	15/09/2011	8140	MC	0	0	0	15	0	0	0	0	0
SC-06	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	15/09/2011	15245	MC	1	0	0	0	0.5	0	0	0	0
SC-11	Sandvik	LH 201-100D	0.75	15/09/2011	15838.6	MC	0	0	0	3	0	0	0	0	0
SC-20	Sandvik	LH 202	1.5	15/09/2011	8212.3	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-05	Sandvik	LH 201-100D	0.75	16/09/2011	17174.4	MC	0	0	0	0	1	0	0	0	0
SC-06	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	16/09/2011	15249.2	MC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC-11	Sandvik	LH 201-100D	0.75	16/09/2011	15842.6	MC	0	0	0	1	0	0	0	0	0
EC-30	Sandvik	LH 303	1.5	16/09/2011	8332.3	MC	0	0	0	34	0	0	0	0	0
SC-12	Sandvik	LH 201-100D	0.75	17/09/2011	8412	MC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC-09	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	17/09/2011	9702.4	MC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	17/09/2011	8135.8	MC	0	0	0	3	0	0	0	0	0
SC-06	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	17/09/2011	15255.4	MC	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
SC-20	Sandvik	LH 202	1.5	17/09/2011	8212.3	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-07	Sandvik	LH 201-100D	0.75	17/09/2011	13019.6	MC	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	18/09/2011	8169.9	MC	0	0	0	0	2	0	0	0	0
SC-08	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	18/09/2011	10611	MC	0	0	0	2	0	0	0	0	0
SC-20	Sandvik	LH 202	1.5	18/09/2011	8223.3	MC	0	0	0	6	0	0	0	0	0
SC-29	Sandvik	LH 201-100D	0.75	18/09/2011	8179.7	MC	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0
SC-11	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	18/09/2011	15462.1	MC	0	0	0	24	0	0	0	0	0
SC-09	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	19/09/2011	9705.7	MC	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0
SC-06	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	19/09/2011	15261	MC	0	0	0	0	7	0	0	0	0
SC-08	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	19/09/2011	10614.4	MC	0	0	0	0	0	2	0	0	0
SC-12	Sandvik	LH 201-100D	0.75	19/09/2011	15453.2	MC	0	0	0	0	16	0	0	0	0
SC-31	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	19/09/2011	15162.1	MC	0	0	0	16	0	0	0	0	0
SC-34	LH 307		4	10/15	10315	MC	1	0	0	0	1	0	0	0	0
SC-09	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	20/09/2011	9712.5	MC	0	0	0	4	0	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	20/09/2011	8190.8	MC	0	0	0	4	0	0	0	0	0
SC-12	Sandvik	LH 201-100D	0.75	20/09/2011	15465.9	MC	0	0	0	5	0	0	0	0	0
SC-29	Sandvik	LH 201-100D	0.75	20/09/2011	8179.7	MC	0	0	0	0	1	0	0	0	0
SC-31	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	20/09/2011	15165.4	MC	0	0	0	6.5	0	0	0	0	0
SC-09	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	21/09/2011	9719.5	MC	0	0	0	0	1	0	0	0	0
SC-05	Sandvik	LH 201-100D	0.75	21/09/2011	17225	MC	0	0	0	0	3	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	21/09/2011	8202.3	MC	0	0	0	0	5.5	0	0	0	0
SC-19	Sandvik	LH 202	1.5	21/09/2011	10023.2	MC	0	0	0	1	0	0	0	0	0
SC-05	Sandvik	LH 201-100D	0.75	22/09/2011	17244	MC	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0
SC-08	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	22/09/2011	10629.6	MC	0	0	0	0	0	1	0	0	0
SC-12	Sandvik	LH 201-100D	0.75	22/09/2011	15490.4	MC	0	0	0	2	0	0	0	0	0
SC-34	Sandvik	LH 307	4	22/09/2011	10350	MC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC-20	Sandvik	LH 202	1.5	23/09/2011	8265.4	MC	0	0	0	3	0	0	0	0	0
SC-31	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	23/09/2011	15172.1	MC	0	0	0	0	2	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	24/09/2011	8231.3	MC	0	0	0	0	8	0	0	0	0
SC-06	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	25/09/2011	15295.9	MC	0	0	0	0	0	2	0	0	0
SC-09	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	25/09/2011	9733.9	MC	0	0	0	1	0	0	0	0	0
SC-12	Sandvik	LH 201-100D	0.75	25/09/2011	15521.2	MC	0	0	0	3	0	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	26/09/2011	8245.2	MC	0	0	0	0	2	0	0	0	0
SC-06	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	26/09/2011	15300.1	MC	0	0	0	0	1	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	27/09/2011	8246	MC	0	0	0	14	0	0	0	0	0
SC-06	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	27/09/2011	15308	MC	0	0	0	0	0	1	0	0	0
SC-12	Sandvik	LH 201-100D	0.75	27/09/2011	15519.4	MC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC-19	Sandvik	LH 202	1.5	27/09/2011	10062.8	MC	0	0	0	6	0	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	28/09/2011	8249.8	MC	0	0	0	2	0	0	0	0	0
SC-32	Sandvik	LH 201-100D	0.75	28/09/2011	8480.4	MC	0	0	0	0	0	3	0	0	0
SC-05	Sandvik	LH 201-100D	0.75	29/09/2011	17298	MC	0	0	0	0	2	0	0	0	0
SC-12	Sandvik	LH 201-100D	0.75	29/09/2011	15573.2	MC	0	0	0	0	4	0	0	0	0
SC-09	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	11/10/2011	9777.9	MC	0	0	0	0	4	0	0	0	0
SC-12	Sandvik	LH 201-100D	0.75	11/10/2011	15584.5	MC	0	0	0	2	0	0	0	0	0
SC-09	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	21/10/2011	9782.5	MC	0	0	0	5	0	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	21/10/2011	8276.7	MC	0	8	0	0	2.5	0	0	0	0
SC-32	Sandvik	LH 201-100D	0.75	11/10/2011	8494.2	MC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC-12	Sandvik	LH 201-100D	0.75	31/10/2011	15608.8	MC	0	0	0	0	0	3.5	0	0	0
SC-32	Sandvik	LH 201-100D	0.75	31/10/2011	8500.9	MC	0	0	0	0	2.5	0	0	0	0
SC-34	Sandvik	LH 307	4	11/10/2011	10465	MC	0	0	0	0	0	2	0	0	0
SC-09	Sandvik	LH 201E-100E	0.75	41/10/2011	9793.9	MC	0	0	0	7.5	0	0	0	0	0
SC-32	Sandvik	LH 201-100D	0.75	51/10/2011	8512.5	MC	0	0	0	0	3	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	11/10/2011	8318.6	MC	0	0	0	0	2	0	0	0	0
SC-42	Sandvik	LH 307	4	6/10/2011	5834	MC	0	0	0	0	0	0	0	4	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	71/10/2011	8327.9	MC	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0
SC-29	Sandvik	LH 201-100D	0.75	71/10/2011	8265.2	MC	0	0	0	0	1	0	0	0	0
SC-34	Sandvik	LH 307	4	71/10/2011	10311	MC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	81/10/2011	8338.7	MC	0	0	0	1	0	0	0	0	0
SC-19	Sandvik	LH 202	1.5	81/10/2011	10165.3	MC	0	0	0	13	0	0	0	0	0
SC-28	Sandvik	LH 201-100D	0.75	11/10/2011	8347.6	MC	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0
SC-12	Sandvik	LH 201-100D	0.75	91/10/2011	15679.8	MC	0	0	0	0	2.5	0	0	0	0
SC-20	Sandvik	LH 20													

### Anexo 3.2

### Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-05, 0.75 yd3

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	4395.4	121	6503.5	181	9184
2	1009.6	62	4405	122	6513.9	182	9276.1
3	1089.1	63	4506.6	123	6524.1	183	9292.3
4	1366	64	4527	124	6532.2	184	9317.9
5	1413	65	4538.6	125	6540.5	185	9433.3
6	1438	66	4550	126	6639.4	186	9438.6
7	1467	67	4563.6	127	6714.4	187	9455.9
8	1479	68	4570.9	128	6870.1	188	9464.2
9	1524	69	4630.8	129	6885.5	189	9521
10	1550	70	4667	130	6938.1	190	9563
11	1566	71	4701.7	131	7091.4	191	9570
12	1581	72	4733.8	132	7205.7	192	9665.6
13	1609	73	4897	133	7282.6	193	9989.8
14	1662	74	4908.2	134	7361	194	10089.2
15	1845	75	4967.2	135	7427	195	10095.8
16	1903.5	76	4973.9	136	7442	196	10129.6
17	1914.6	77	4986	137	7470.3	197	10155
18	1968.6	78	5002.2	138	7534.6	198	10177.7
19	2095	79	5057	139	7542.5	199	10258.8
20	2145.6	80	5068.9	140	7548.4	200	10269.9
21	2153.7	81	5108.7	141	7565.9	201	10302.4
22	2165.4	82	5147	142	7601	202	10483.7
23	2176.3	83	5152	143	7619.1	203	10596
24	2187.5	84	5164	144	7653	204	10604.5
25	2198.4	85	5177	145	7677.5	205	10621
26	2207.1	86	5193.1	146	7731.3	206	10629.1
27	2240.7	87	5204.3	147	7741.9	207	10667.6
28	2278.8	88	5223	148	7790.4	208	10677.1
29	2288	89	5274	149	7798	209	10689.5
30	2297.2	90	5301	150	7876.2	210	10697.1
31	2329.2	91	5364.4	151	7887.6	211	10716
32	2453.9	92	5454.8	152	7951.3	212	10765
33	2479.3	93	5538.4	153	7958.2	213	10795
34	2506	94	5545.9	154	8006.7	214	10836.5
35	2628.4	95	5604.3	155	8183.6	215	10843
36	2781	96	5680.8	156	8194	216	10913.9
37	2840.3	97	5693.9	157	8202.7	217	10921
38	2843.6	98	5716.8	158	8256.8	218	10962.4
39	2910.6	99	5719.3	159	8268.2	219	10981
40	2971	100	5806.2	160	8275.2	220	10988.5
41	3033.8	101	5848	161	8413	221	11121.2
42	3148.1	102	5887	162	8425.3	222	11175.4
43	3549.8	103	5925.2	163	8565.2	223	11350.6
44	3612.2	104	5934.5	164	8630.5	224	11443
45	3647.5	105	5948.1	165	8727.7	225	11566.5
46	3673.4	106	5974.1	166	8768.3	226	11583.4
47	3757.4	107	5974.4	167	8776.3	227	11638.6
48	3827.1	108	5977.6	168	8809.8	228	11646.5
49	3874.7	109	5995	169	8833	229	11679.9
50	4006	110	6014.9	170	8840.2	230	11705.4
51	4029.5	111	6064.9	171	8882.4	231	11822.1
52	4093.5	112	6153.2	172	8891.2	232	11827.9
53	4108	113	6165.5	173	8910.1	233	11863.6
54	4119.3	114	6188.4	174	8917.6	234	11868.9
55	4240.9	115	6268.5	175	8999.2	235	11919.2
56	4248.6	116	6315.1	176	9019	236	11935
57	4267.5	117	6417.8	177	9055.6	237	11960.8
58	4310.4	118	6430.1	178	9068	238	11963.8
59	4357.9	119	6453.8	179	9132	239	12020.1
60	4385.8	120	6481.3	180	9142	240	12030.8

**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-06, 0.75 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	3125.9	121	4972.7	181	6639.8
2	1106.1	62	3132.7	122	4985.7	182	6661.1
3	1111.5	63	3159.6	123	5024.7	183	6716.7
4	1200.5	64	3244.1	124	5030.7	184	6771.8
5	1202	65	3248.4	125	5047.3	185	6781.5
6	1208.5	66	3373.7	126	5056.6	186	7236
7	1220.5	67	3409.4	127	5066.4	187	7246.8
8	1229.8	68	3435.8	128	5108.3	188	7313.6
9	1264.2	69	3440.9	129	5163.4	189	7404.1
10	1276.5	70	3446	130	5169.8	190	7408.8
11	1281.5	71	3459.5	131	5177.7	191	7429.8
12	1290.5	72	3473.4	132	5194.8	192	7525
13	1302.6	73	3488.1	133	5244.4	193	7527.2
14	1332.8	74	3511.9	134	5258.1	194	7546.7
15	1338.8	75	3543.6	135	5266.2	195	7576.4
16	1352.5	76	3579.4	136	5302.1	196	7577.2
17	1364	77	3650.8	137	5329.7	197	7603.4
18	1374.5	78	3668.5	138	5374.4	198	7639.9
19	1416.4	79	3683.5	139	5378.7	199	7649.2
20	1448.6	80	3749.4	140	5386.7	200	7698
21	1452.8	81	3756.5	141	5394.2	201	7715.4
22	1457.5	82	3759.2	142	5420.6	202	7781.9
23	1464.6	83	3807	143	5450.5	203	7806.6
24	1494.5	84	3831.5	144	5459	204	7938.3
25	1503.7	85	3838.2	145	5463.6	205	7948.7
26	1511.6	86	3867.4	146	5530.7	206	7971.8
27	1585.9	87	3870.9	147	5542.4	207	8041.6
28	1588.1	88	3931.8	148	5569.9	208	8054.3
29	1683.1	89	3942.6	149	5575.2	209	8095
30	1692.9	90	3992.2	150	5577.2	210	8111.7
31	1693.8	91	4077.2	151	5628.4	211	8125
32	1703.1	92	4200.3	152	5640	212	8138.3
33	1744.8	93	4243.8	153	5716.9	213	8186.4
34	1780.9	94	4343.6	154	5723.3	214	8265.7
35	1789.8	95	4350.5	155	5731.4	215	8269.9
36	1935.5	96	4361.7	156	5742.3	216	8282.6
37	2025.8	97	4372.6	157	5823.6	217	8291.4
38	2191	98	4404.8	158	5901.3	218	8348.2
39	2195.8	99	4437.3	159	5959.7	219	8355.2
40	2230.7	100	4471.8	160	5966	220	8356.7
41	2299.1	101	4531.1	161	5970.8	221	8437.2
42	2407.1	102	4565.7	162	5983.4	222	8506.7
43	2432.1	103	4570.2	163	5989.1	223	8566.4
44	2442.6	104	4581.2	164	5991	224	8636.5
45	2449.9	105	4611.1	165	6021.9	225	8660.3
46	2501.8	106	4618.7	166	6028.5	226	8667.3
47	2525.8	107	4680	167	6171.3	227	8678.4
48	2562.4	108	4714.5	168	6246	228	8812.2
49	2624.9	109	4719.3	169	6270.2	229	8884.4
50	2631.9	110	4731.7	170	6309	230	8895.8
51	2643.9	111	4761	171	6312.9	231	9029.9
52	2810.6	112	4771.6	172	6338.4	232	9121.8
53	2841.1	113	4828	173	6384.8	233	9153.7
54	2886.8	114	4853.5	174	6387.8	234	9176.4
55	2896.1	115	4862.5	175	6411.2	235	9218.8
56	2948.8	116	4870.8	176	6418.9	236	9258.3
57	3005.2	117	4876.7	177	6427.8	237	9263.9
58	3027.7	118	4882.8	178	6432.7	238	9276.9
59	3108.2	119	4890.4	179	6528.6	239	9358.8
60	3118.2	120	4898.5	180	6608	240	9475.8

**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-07, 0.75 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	4408.1	121	7023.1	181	10314	241	15347.1
2	1105.7	62	4418.6	122	7090.8	182	10420.2	242	15453.1
3	1122.6	63	4438.2	123	7173.4	183	10429.9	243	15539.1
4	1136.5	64	4458.2	124	7228.9	184	10523.1	244	15550.1
5	1150.1	65	4478.1	125	7331.1	185	10552.9	245	15559.1
6	1271.2	66	4605.1	126	7393.1	186	10580.8	246	15561.1
7	1373	67	4614.8	127	7429.8	187	10659.8	247	15570.1
8	1410.3	68	4623.1	128	7507.8	188	10668.8	248	15580.1
9	1512.3	69	4700.1	129	7588.5	189	11120.3	249	15612
10	1794.5	70	4753.8	130	7617.6	190	11180.9	250	15791.1
11	1800.5	71	4774.3	131	7699.3	191	11236.6	251	15860.7
12	1961.2	72	4779.8	132	7727.9	192	11327.8	252	15861.7
13	1975.7	73	4875.3	133	7786.8	193	11683.9	253	15884.1
14	1990.2	74	5002.7	134	7808.4	194	11887.2	254	15892.1
15	2004.3	75	5067.8	135	7818.4	195	12006.6	255	15903.1
16	2035.5	76	5085.3	136	7831.3	196	12144.8	256	15944.4
17	2044.1	77	5098.9	137	7853.9	197	12379.3	257	16311.1
18	2197.6	78	5108.1	138	7875.4	198	12575.9		
19	2211.2	79	5131.8	139	7890.4	199	12587.3		
20	2439.3	80	5185.8	140	7902.8	200	12651.6		
21	2454.1	81	5278.3	141	7952.4	201	12771.7		
22	2466.1	82	5326.8	142	7966.1	202	12778.2		
23	2507.6	83	5368.8	143	7985.7	203	12787.7		
24	2537.3	84	5423.9	144	7999.6	204	13033		
25	2550	85	5504.1	145	8060.2	205	13143.3		
26	2800.3	86	5526.2	146	8090.1	206	13359.5		
27	3004.3	87	5661.7	147	8101.8	207	13471.3		
28	3035.7	88	5732.8	148	8127	208	13536.3		
29	3098.5	89	5743.8	149	8197.1	209	13574.3		
30	3121.5	90	5818.8	150	8253.1	210	13586.3		
31	3190.4	91	5826.1	151	8265.1	211	14021.3		
32	3202.7	92	5889.5	152	8338.9	212	14114.3		
33	3287.1	93	6017.6	153	8357.9	213	14166		
34	3357.5	94	6114.8	154	8399.6	214	14184.3		
35	3394.1	95	6161.5	155	8514.8	215	14191.3		
36	3482.3	96	6185.8	156	8528.3	216	14346.3		
37	3514.1	97	6222.4	157	8600.5	217	14375.3		
38	3524.3	98	6368.5	158	8706.2	218	14415.1		
39	3535.3	99	6411.5	159	8739.3	219	14427.1		
40	3589.5	100	6417.2	160	8744.1	220	14442.1		
41	3601.5	101	6456.7	161	8752	221	14553.1		
42	3634.1	102	6488.4	162	9154.6	222	14573.1		
43	3659.5	103	6529.5	163	9301.9	223	14847.1		
44	3666.3	104	6548.3	164	9369.5	224	14862.1		
45	3693.1	105	6552.4	165	9376.8	225	14965.1		
46	3768.1	106	6624.1	166	9489.4	226	14982.1		
47	3793.6	107	6666.3	167	9599	227	15019.1		
48	3844.5	108	6694	168	9683.6	228	15029.1		
49	3936	109	6712.5	169	9688.9	229	15046.1		
50	3969.6	110	6715.2	170	9790.3	230	15091.1		
51	3991.2	111	6762.9	171	9830.8	231	15094.1		
52	4034.9	112	6768.7	172	9861.4	232	15136.1		
53	4092.8	113	6822.3	173	9931.9	233	15148.1		
54	4109.4	114	6828.7	174	9981.9	234	15155.1		
55	4115.2	115	6860.1	175	9998.9	235	15161.1		
56	4124.7	116	6868.6	176	10058.1	236	15166.1		
57	4197.5	117	6913.2	177	10151.4	237	15294.1		
58	4283.4	118	6982.4	178	10241.8	238	15306.1		
59	4370.8	119	6985.2	179	10250.7	239	15327.1		
60	4399.9	120	7015.3	180	10254.4	240	15345.1		

**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-08, 0.75 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	2909.8	121	4613	181	7965.3
2	1055.8	62	2916.4	122	4635.7	182	8028.7
3	1068.4	63	2917.5	123	4649.6	183	8050.5
4	1103	64	2921.4	124	4697.4	184	8123.3
5	1160	65	2927.4	125	4702.4	185	8153.3
6	1165.5	66	3011.5	126	4723.6	186	8193.9
7	1169.5	67	3030.9	127	4794.1	187	8203
8	1182.5	68	3047.1	128	4798.1	188	8265.8
9	1191.4	69	3061.3	129	4804.4	189	8290.2
10	1257.5	70	3112.6	130	4854.5	190	8309.6
11	1270	71	3118.7	131	4879.8	191	8426.9
12	1279.2	72	3135.1	132	4913.1	192	8566.5
13	1336.8	73	3137	133	4922.3	193	8618.3
14	1366.5	74	3147.8	134	4950.2	194	8693.8
15	1374.5	75	3152.8	135	4962.7	195	8768.1
16	1417.5	76	3162.6	136	5024	196	8786.9
17	1420.9	77	3205.8	137	5050.9	197	8804.9
18	1436.1	78	3309.2	138	5072.9	198	8906.3
19	1544.5	79	3318.8	139	5116.8	199	8913.3
20	1547.1	80	3339.3	140	5123.3	200	8933.9
21	1569.9	81	3340.8	141	5206	201	8942.1
22	1618.5	82	3351.9	142	5258	202	8945
23	1697.1	83	3443.9	143	5402.1	203	9153.6
24	1712.4	84	3456.5	144	5549.2	204	9319.3
25	1810.1	85	3470.3	145	5722.5	205	9336.3
26	1826.5	86	3485.2	146	5735.2	206	9416.3
27	1834.5	87	3490.3	147	5795.7	207	9663.3
28	1860.5	88	3533.3	148	5805.6	208	9667.3
29	1883.9	89	3556.8	149	5975.9	209	9676.3
30	1933.6	90	3566	150	6008.5	210	9686.3
31	1976.9	91	3570.5	151	6098.1	211	9882.3
32	1983.5	92	3588.5	152	6123.6	212	10122.8
33	2010.6	93	3594.4	153	6136.5	213	10160.8
34	2012	94	3616.2	154	6172.9	214	10168.8
35	2058.7	95	3651.5	155	6179.2	215	10444.8
36	2071.9	96	3670	156	6218.2	216	10464.8
37	2077.2	97	3689.7	157	6221.8	217	10487.8
38	2263.5	98	3696.7	158	6242.1	218	10570.8
39	2293	99	3705.4	159	6289.5		
40	2311	100	3708.7	160	6299.9		
41	2321	101	3719.4	161	6314.9		
42	2328	102	3726.1	162	6332.7		
43	2344.7	103	3726.9	163	6542.7		
44	2389.5	104	3823.3	164	6577.7		
45	2407.3	105	3829.5	165	6661.8		
46	2418.2	106	3850.5	166	6664.7		
47	2431.5	107	3930	167	6732		
48	2459.1	108	3954.6	168	6772.2		
49	2500.5	109	3977.1	169	6790.8		
50	2644.3	110	3987.2	170	6799.2		
51	2672.9	111	4045.7	171	6833.7		
52	2678.8	112	4053.8	172	6933.7		
53	2686.1	113	4081.8	173	6945.9		
54	2692.1	114	4089.7	174	6955.5		
55	2700	115	4106.9	175	7144.8		
56	2701.1	116	4136.4	176	7430.7		
57	2782.1	117	4552.3	177	7685.5		
58	2792.4	118	4562.6	178	7717.8		
59	2803.1	119	4594.5	179	7729.6		
60	2840.8	120	4606.7	180	7775		

**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-09, 0.75 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	2780	121	4304.4	181	7531.7
2	1039.4	62	2811	122	4314.6	182	7583.3
3	1047.7	63	2897	123	4315.9	183	7982.7
4	1067.3	64	2907	124	4320.9	184	7989.2
5	1075.9	65	2918	125	4372.2	185	8280.2
6	1085.1	66	2955	126	4421.6	186	8368.2
7	1091	67	2961.5	127	4431.3	187	8370.2
8	1101.5	68	3004.1	128	4444	188	8372.2
9	1107	69	3009.2	129	4531.3	189	8373.2
10	1142.6	70	3037.5	130	4552.8	190	8394.2
11	1221	71	3085.9	131	4566	191	8416.2
12	1224.4	72	3108.3	132	4614.4	192	8434.2
13	1238.5	73	3114.7	133	4620.2	193	8446.8
14	1296.5	74	3142.5	134	4640.7	194	8450.2
15	1299.8	75	3157.8	135	4650.6	195	8459.2
16	1306.6	76	3166.4	136	4676.7	196	8486.2
17	1313.6	77	3209.1	137	4687	197	8496.2
18	1328	78	3213.7	138	4764.3	198	8511.2
19	1372	79	3306.6	139	4854.8	199	8519.2
20	1376.6	80	3348.5	140	4936.1	200	8523.2
21	1388	81	3356	141	5013.7	201	8528.2
22	1425.5	82	3360.2	142	5067.2	202	8538.2
23	1437	83	3411.6	143	5071.2	203	8557.2
24	1442.9	84	3418.1	144	5090.6	204	8574.2
25	1446.2	85	3458.1	145	5097.5	205	8582.2
26	1475	86	3466.5	146	5164.4	206	8621.2
27	1493.1	87	3496.5	147	5264.9	207	8623.2
28	1505.2	88	3510.5	148	5339.9	208	8629.2
29	1568.4	89	3515.7	149	5364.9	209	8654.2
30	1595.2	90	3525.6	150	5446	210	8687.2
31	1626.2	91	3559.3	151	5467.8	211	8699.2
32	1657.8	92	3564.4	152	5492.6	212	8716.2
33	1691.4	93	3585.9	153	5619.7	213	8721.2
34	1699.7	94	3606.2	154	5704.3	214	8724.2
35	1741.6	95	3622.7	155	5721.6	215	8749.2
36	1832	96	3628.3	156	5791.6	216	8943.2
37	2043.7	97	3635.5	157	5798.7	217	8995.2
38	2084	98	3654	158	5822.2	218	9026.2
39	2091	99	3681.2	159	5873.8	219	9035.2
40	2097	100	3686.5	160	5980.9	220	9091.4
41	2138	101	3713.5	161	6092.2	221	9225.2
42	2160	102	3716.5	162	6102.4	222	9239.9
43	2166.5	103	3725.7	163	6119	223	9305.3
44	2205	104	3732.8	164	6172.9	224	9360.2
45	2215	105	3769.2	165	6212.2	225	9398.2
46	2220	106	3773.5	166	6223.2	226	9402.2
47	2224	107	3803	167	6311.3	227	9497.6
48	2269	108	3846	168	6325.6	228	9554.2
49	2284	109	3885.8	169	6462.7	229	9637.2
50	2289.5	110	3906.4	170	6779.8	230	9640.2
51	2292	111	3982.5	171	6787.9	231	9721.8
52	2299.5	112	4032.3	172	6870.2	232	9821.2
53	2329.4	113	4048.7	173	6951.2	233	9908.2
54	2415.5	114	4052.3	174	6983.5	234	9945.2
55	2469.5	115	4065.9	175	7030.9		
56	2560	116	4126.7	176	7207.8		
57	2619	117	4204.3	177	7232.5		
58	2628	118	4212.2	178	7267.7		
59	2737	119	4258.4	179	7457.1		
60	2771.3	120	4294.4	180	7517.2		

**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-11, 0.75 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	3921.6	121	5578	181	9004.6	241	12491.5
2	1033.3	62	3924.4	122	5587.2	182	9014.4	242	12577.3
3	1164.6	63	3948.5	123	5699.8	183	9063.2	243	12629.3
4	1315.3	64	3958.5	124	5814.5	184	9200.5	244	12942.5
5	1325.5	65	3987.5	125	5829.2	185	9233.5	245	12952.5
6	1459.9	66	4040.3	126	5906.6	186	9288.4	246	12974.5
7	1491.6	67	4049.9	127	6017.4	187	9294.3	247	12996.5
8	1498.2	68	4070.6	128	6071.5	188	9507.4	248	13035.5
9	1499.5	69	4119.7	129	6133.1	189	9515.5	249	13073.1
10	1555.1	70	4125.8	130	6149.2	190	9524.7	250	13106.5
11	1559.1	71	4149.8	131	6179.1	191	9578.3	251	13129.5
12	1697.5	72	4191	132	6233.3	192	9791.2	252	13218.5
13	1737.5	73	4233.4	133	6269.9	193	9836.7	253	13408.5
14	1747.6	74	4239.3	134	6291.5	194	9883.2	254	13449.5
15	1792.9	75	4288.2	135	6501.9	195	9887.1	255	13620.5
16	1802.3	76	4314.5	136	6521.9	196	9894.4	256	13654.5
17	1817.8	77	4343.9	137	6672.2	197	9898.5	257	13715.5
18	1828.2	78	4400.6	138	6761.8	198	9947.6	258	13784.5
19	1835.7	79	4419.2	139	6897.4	199	9961.2	259	13794.5
20	1862.1	80	4487.3	140	7006.2	200	9966.3	260	13809.5
21	1865	81	4582.5	141	7099.8	201	9972.1	261	13896.5
22	1888.4	82	4594.4	142	7139.5	202	10021.9	262	14136.5
23	1903.6	83	4660.5	143	7261.9	203	10088.5	263	14781.5
24	1927.7	84	4666.5	144	7323.3	204	10200.7	264	14802.5
25	1938.2	85	4702.5	145	7336.5	205	10210.1	265	14825.5
26	1948.3	86	4734.3	146	7354.3	206	10218.4	266	14827.5
27	1985.7	87	4803.2	147	7365.2	207	10380.7	267	14830.5
28	2035	88	4810.9	148	7376.5	208	10394	268	14848.5
29	2087.5	89	4814	149	7625.1	209	10622.7	269	14850.5
30	2105.1	90	4841.3	150	7714.4	210	10631.6	270	14852.5
31	2167.5	91	4852.6	151	7796.6	211	10709.8	271	14863.5
32	2183.6	92	4886	152	7832.6	212	10777.6	272	14919.5
33	2192.5	93	4892.4	153	7839	213	10780.5	273	14926.5
34	2212.5	94	4911.3	154	7893.8	214	10823.5	274	14968.5
35	2256.5	95	4918.8	155	7914.9	215	10826.4	275	14987.5
36	2328.2	96	4945.1	156	7933.9	216	10873.2	276	15003.5
37	2337.6	97	4961.7	157	8123.4	217	10892.3	277	15064.5
38	2662.7	98	4968.7	158	8134.3	218	10896.2	278	15073.5
39	2714.5	99	4977.6	159	8148.5	219	10971.8	279	15085.5
40	2771.2	100	4982.3	160	8150.8	220	10975.3	280	15092.5
41	2886.9	101	5011.6	161	8207.7	221	11036.5	281	15159.5
42	3011	102	5049.4	162	8215	222	11110	282	15194.5
43	3067.3	103	5155.1	163	8235.7	223	11170.1	283	15237.5
44	3117.4	104	5204	164	8259.7	224	11238.5	284	15285.5
45	3258.1	105	5264.8	165	8270.2	225	11250.5	285	15309.9
46	3274.8	106	5275.2	166	8376.3	226	11279.7	286	15324.9
47	3338.5	107	5284.4	167	8426	227	11302.4	287	15405.9
48	3410.7	108	5292.5	168	8466.8	228	11326.5	288	15507.9
49	3437.3	109	5301.1	169	8504.8	229	11334.2	289	15613.9
50	3471.1	110	5310.6	170	8666.8	230	11416.8	290	15773.7
51	3551.5	111	5319.7	171	8701.1	231	11479.1	291	15917.6
52	3721.6	112	5334	172	8721.6	232	11491.8	292	16044.9
53	3760.5	113	5343.1	173	8741.7	233	11497.4	293	16058.9
54	3770.8	114	5350.7	174	8751.1	234	11653	294	16093.9
55	3797.8	115	5370.3	175	8758.1	235	11682.4	295	16144.2
56	3805.6	116	5378.3	176	8769.9	236	11831.7	296	16383.8
57	3814.4	117	5379.4	177	8775.5	237	12182.6	297	16397.9
58	3830.2	118	5395.9	178	8815.9	238	12267.5		
59	3861.5	119	5445.9	179	8879	239	12311.5		
60	3872.6	120	5456.1	180	8923	240	12320.1		

**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-12, 0.75 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	3296.3	121	6327.8
2	1034.5	62	3307.4	122	6332.2
3	1242.5	63	3329	123	6404.2
4	1260.5	64	3453.5	124	6569.1
5	1267.5	65	3461	125	6575.8
6	1275.1	66	3622.3	126	6647.7
7	1283.1	67	3674.7	127	6656.7
8	1294.5	68	3843.7	128	6663.5
9	1299.1	69	3866	129	6800.1
10	1334.4	70	3931	130	6838.1
11	1343.7	71	3975.2	131	6888.4
12	1364.7	72	3996.7	132	6950.5
13	1372.5	73	4050.5	133	7208.5
14	1398.5	74	4202.9	134	7222.3
15	1439.9	75	4257.8	135	7235.1
16	1461.5	76	4276	136	7284.9
17	1469.5	77	4282.5	137	7308.1
18	1476	78	4363.5	138	7355.5
19	1495.1	79	4432.1	139	7366.5
20	1520.6	80	4600.3	140	7371.9
21	1545.7	81	4609.3	141	7445.3
22	1675.7	82	4635.2	142	7454.8
23	1688.4	83	4645.9	143	7487.8
24	1712.9	84	4656.9	144	7522.6
25	1743.7	85	4677	145	7591.7
26	1761.9	86	4688.1	146	7707.9
27	1795.7	87	4740.3	147	7715.5
28	1807	88	4750	148	7753.4
29	1831.3	89	4797.1	149	7759.1
30	1902.3	90	4820	150	7787.3
31	1913.6	91	4839.6	151	7883.9
32	1924.9	92	4880.2	152	7940.7
33	2026.3	93	4933.1	153	7989.8
34	2035.1	94	5013.5	154	8009.4
35	2048.1	95	5039.7	155	8018.7
36	2137.6	96	5047.3	156	8022.8
37	2232.4	97	5054.6	157	8040.5
38	2256.1	98	5064.2	158	8061.5
39	2287.6	99	5072.4	159	8155.8
40	2292.9	100	5128.3	160	8169.3
41	2323.7	101	5131.6	161	8252.8
42	2338.9	102	5166.3	162	8314.7
43	2359.1	103	5232.5	163	8324
44	2377.2	104	5283.9	164	8326.8
45	2451.9	105	5300	165	8371.3
46	2479.5	106	5311.5	166	8379.1
47	2515.7	107	5493	167	8387.8
48	2525.5	108	5496.5	168	8403
49	2535.2	109	5517.3	169	8453.9
50	2552.5	110	5524.1	170	8460.5
51	2731.6	111	5774.8	171	8481
52	2905.5	112	5918.5	172	8537.5
53	2918.2	113	5956	173	8542.7
54	2922.8	114	5972.3	174	8561.2
55	3068.3	115	6040	175	8704.8
56	3159.5	116	6051.3	176	8712.9
57	3202.4	117	6229	177	8730.3
58	3213.7	118	6232.8	178	8802.8
59	3231	119	6273.2	179	8834.1
60	3260.3	120	6286.4	180	8848.1



N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
181	8878.3	241	13317.9	301	17788.4
182	8883.1	242	13468.5	302	17814.4
183	8923.6	243	13478.5	303	17905.7
184	8930.7	244	13620.5	304	17963.4
185	9032.7	245	13955.5	305	18118.4
186	9046	246	14069.4	306	18127.4
187	9125	247	14329.4	307	18354.4
188	9141.4	248	14380.4	308	18835.4
189	9157.5	249	14416.4	309	18982.4
190	9187.1	250	14516.4	310	19019.4
191	9280.5	251	14661.8	311	19075.4
192	9283.3	252	14668.8	312	19145.4
193	9287	253	14752.4		
194	9298.7	254	14779.4		
195	9302.3	255	14939.4		
196	9319.2	256	15123.4		
197	9335.5	257	15178		
198	9410.4	258	15212.4		
199	9489.5	259	15322.4		
200	9549.1	260	15448.4		
201	9562.1	261	15459.4		
202	9569	262	15569.4		
203	9592	263	16180.4		
204	9616.3	264	16234.4		
205	9652.8	265	16259.4		
206	9657.5	266	16304.4		
207	9664.2	267	16316.4		
208	9815	268	16445.4		
209	9916	269	16520.4		
210	10011.7	270	16544.4		
211	10051.2	271	16570.4		
212	10125.7	272	16605.4		
213	10132	273	16631.4		
214	10136.5	274	16683.4		
215	10140.5	275	16729.4		
216	10159.8	276	16763.4		
217	10203.5	277	16814.4		
218	10295.4	278	16829.4		
219	10365.6	279	16856.4		
220	10518.8	280	16867.4		
221	10528.3	281	16875.4		
222	10595.5	282	16889.4		
223	10665.9	283	16894.4		
224	10873.3	284	16907.4		
225	10881.3	285	16922.4		
226	10990.5	286	16997.4		
227	11200.3	287	17011.8		
228	11596.3	288	17029.6		
229	11618	289	17163.8		
230	11754.2	290	17199.4		
231	11987.8	291	17211.4		
232	12001.2	292	17222.4		
233	12181.5	293	17272.4		
234	12421.8	294	17334.4		
235	12440.9	295	17438.4		
236	12460.3	296	17453.4		
237	12501.3	297	17529.7		
238	12571.5	298	17544.4		
239	12632.1	299	17597.2		
240	13063.1	300	17718.1		

**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-28, 0.75 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	3532.8	121	6430.1
2	1013.4	62	3543.3	122	6452.7
3	1018.5	63	3555.3	123	6500.6
4	1042.1	64	3631.6	124	6524.7
5	1051.3	65	3673.1	125	6564.9
6	1106	66	3678.8	126	6589.6
7	1129.2	67	3726.1	127	6621.9
8	1139.8	68	3732.5	128	6688
9	1149.4	69	3761.4	129	6699.2
10	1177.3	70	4011.9	130	6756.6
11	1240	71	4023	131	6827.3
12	1247	72	4070.2	132	6884.9
13	1293	73	4291.9	133	6941.2
14	1323	74	4392.4	134	7082.6
15	1331	75	4400.4	135	7118.3
16	1381.6	76	4415.5	136	7131.3
17	1429.3	77	4566.2	137	7135.9
18	1434.8	78	4599.3	138	7144.5
19	1446.3	79	4712.4	139	7169
20	1450.5	80	4774.9	140	7269.4
21	1469.3	81	5141	141	7278.5
22	1480.4	82	5147.9	142	7375.7
23	1501.3	83	5186.4	143	7384.9
24	1512.8	84	5206.7	144	7398.7
25	1541.8	85	5241.4	145	7538.2
26	1555.7	86	5301.4	146	7563.1
27	1556.5	87	5309.4	147	7587.6
28	1560.3	88	5334.2	148	7596
29	1587.2	89	5342.7	149	7667
30	1629.1	90	5405.8	150	7691.6
31	1638.4	91	5572.5	151	7730.5
32	1649.2	92	5599.4	152	7783.2
33	1658.1	93	5608.4	153	7787.6
34	1739.9	94	5701.6	154	7931.7
35	1790.1	95	5710.4	155	7959.1
36	1855	96	5753.4	156	8055.9
37	1909.8	97	5766.9	157	8084.1
38	2126.4	98	5770.8	158	8131.3
39	2233.7	99	5784	159	8173.8
40	2256.7	100	5790.1	160	8394.7
41	2262.1	101	5800.7	161	8421.7
42	2269.8	102	5827.7	162	8429.8
43	2324	103	5835.2	163	8470.7
44	2333.4	104	5852.9	164	8483.9
45	2338.6	105	5878.9	165	8527.3
46	2357.8	106	5896.4	166	8792.4
47	2482.7	107	5910.8	167	8802.2
48	2634.6	108	5952.6	168	9005.6
49	2638	109	5962.4	169	9013
50	2849.9	110	5978.1	170	9029.3
51	2859.4	111	5984.2	171	9069.2
52	2871.4	112	5988.9	172	9309.9
53	2888	113	5994.4	173	9359.7
54	3240.1	114	6118.8	174	9365
55	3264.7	115	6128.9	175	9478.1
56	3290	116	6150	176	9610.8
57	3406.6	117	6294	177	9644.9
58	3458.3	118	6319.9	178	9732.7
59	3463	119	6378.7	179	9808.7
60	3523.4	120	6424.3	180	10083.8

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
181	10147.1	241	13582.3	301	19677.4
182	10294.1	242	13592.2	302	19775.4
183	10333.2	243	13912.8	303	19815.4
184	10420.2	244	13937.5	304	19853.4
185	10430.5	245	13971.7	305	19866.4
186	10499.3	246	13986.2	306	19890.4
187	10511.7	247	13995.6	307	20010.4
188	10533.7	248	14006.7	308	20046.4
189	10738.3	249	14016	309	20063.4
190	10762.7	250	14426.1	310	20079.4
191	10777.2	251	14703.5	311	20121.4
192	10788.6	252	14727.7	312	20131.4
193	10797.2	253	14795.6	313	20193.4
194	10806.8	254	14866.7	314	20310.4
195	10887.5	255	14928.3	315	20319.4
196	11159.1	256	14964.6	316	20351.4
197	11169.1	257	15063.7	317	20369.4
198	11266.3	258	15074.6	318	20407.9
199	11340	259	15296.2	319	20528.4
200	11350.6	260	15452.6	320	20531.4
201	11363	261	15776	321	20535.4
202	11406.1	262	16037.4	322	20561.4
203	11500.5	263	16059.7	323	20595.4
204	11550.6	264	16108	324	20712.5
205	11584.4	265	16177.4	325	20720.9
206	11592.5	266	16188	326	20775.7
207	11601.6	267	16310.4	327	20802.4
208	11612	268	16340.8	328	20849.4
209	11685.1	269	16364.7	329	20864.1
210	11710.2	270	16407.9	330	20912.5
211	11806.1	271	16550.9	331	20965.4
212	11930.8	272	16661.6	332	21034.5
213	11968.6	273	16823.1	333	21067.4
214	12138.9	274	16833.2	334	21104.4
215	12168.1	275	17128.2	335	21123.4
216	12426.6	276	17137.2	336	21159.4
217	12447.6	277	17181.7	337	21172.4
218	12452.4	278	17429.6	338	21180.8
219	12549.2	279	17479.5	339	21831.4
220	12595.1	280	17626.5	340	21845.4
221	12605.1	281	17662.2	341	21890.4
222	12624.1	282	17923.4	342	21981.4
223	12724.7	283	18010.4	343	22043.4
224	12756.6	284	18416.4	344	22051.4
225	12845.4	285	18479.4	345	22219.4
226	12861.1	286	18503.4		
227	12882.3	287	18521.4		
228	12918.8	288	18607.4		
229	12930.2	289	18617.4		
230	12945.9	290	18647.4		
231	13096.9	291	18662.4		
232	13169.7	292	18726.4		
233	13174.8	293	18926.4		
234	13188.5	294	18988.4		
235	13286	295	19076.4		
236	13312.8	296	19437.4		
237	13379.7	297	19561.4		
238	13524.9	298	19570.4		
239	13559.5	299	19575.4		
240	13568.8	300	19590.4		

**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-29, 0.75 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	4790.6	121	6334.8
2	1194.6	62	4809.6	122	6342.7
3	1207	63	4830.1	123	6353.7
4	1233	64	4854.1	124	6376.4
5	1301	65	5015.6	125	6385.2
6	1331	66	5022.6	126	6471.7
7	1424.7	67	5100.9	127	6582.6
8	1523.6	68	5120.8	128	6593.2
9	1609.1	69	5140.6	129	6606.6
10	1736	70	5146.6	130	6624.6
11	1763.3	71	5188.6	131	6629.8
12	1818.4	72	5200.6	132	6783.6
13	1918.5	73	5207.6	133	6799.6
14	2096.7	74	5227	134	6810.1
15	2106.6	75	5239.1	135	6835.4
16	2211.7	76	5253.2	136	6917
17	2230.6	77	5258.4	137	6920
18	2276.6	78	5274.9	138	6971.6
19	2319.6	79	5437.6	139	7008.8
20	2379.3	80	5507.3	140	7041.6
21	2617.3	81	5523.6	141	7067.2
22	2627.5	82	5549.8	142	7148.6
23	2640.2	83	5560.2	143	7173.2
24	2653.3	84	5566.3	144	7252.2
25	2746.2	85	5583.6	145	7332.8
26	2758.1	86	5589.6	146	7388.8
27	2862.7	87	5606.9	147	7510.1
28	2914.7	88	5633.1	148	7590
29	2928.9	89	5645.4	149	7610.6
30	3034.7	90	5661.7	150	7626.9
31	3203.6	91	5693.2	151	7675.6
32	3226.1	92	5696.8	152	7683.7
33	3252.6	93	5707.6	153	7694.4
34	3269.6	94	5771.4	154	7712.9
35	3296.9	95	5786.5	155	7916.5
36	3307.4	96	5810.5	156	7945.9
37	3319.6	97	5827.6	157	7968.6
38	3323.9	98	5849.1	158	8106.4
39	3409.4	99	5854.3	159	8191.6
40	3416.1	100	5864.1	160	8196.6
41	3443.2	101	5872.4	161	8224.2
42	3446.8	102	5907.2	162	8237.7
43	3483.3	103	5924.2	163	8243.1
44	3490.1	104	5954.1	164	8326.8
45	3572.7	105	5962.3	165	8484.9
46	3600.1	106	5993.5	166	8557.9
47	3656.6	107	5996.5	167	8581.3
48	3709.2	108	6017.4	168	8597.7
49	4130.2	109	6020.3	169	8603
50	4253.1	110	6024.9	170	8680.7
51	4267.1	111	6031.9	171	8796.6
52	4288.4	112	6045	172	8801.6
53	4386.9	113	6102.7	173	8814.6
54	4473.6	114	6165.2	174	8858.1
55	4486.7	115	6202.5	175	8877.8
56	4530.6	116	6210.6	176	8964.2
57	4609.3	117	6216.5	177	8974.6
58	4715.7	118	6223.9	178	8978.1
59	4719	119	6263.1	179	9006.6
60	4786.6	120	6306.8	180	9052.9

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
181	9129.6	241	14240.1	301	19595.9
182	9145.1	242	14368.9	302	19630.9
183	9202.5	243	14435.1	303	19641.9
184	9226	244	14454.8	304	19694.9
185	9280.5	245	14712.4	305	19780.9
186	9286.2	246	14758.7	306	19912.9
187	9411	247	14767.1	307	19940.9
188	9467.9	248	14842.5	308	19995.9
189	9491.6	249	15015.6	309	20088.9
190	9549.3	250	15035	310	20100.9
191	9586.9	251	15063.1	311	20142.9
192	9863.6	252	15330.7	312	20191.9
193	9875.5	253	15339.1	313	20203.9
194	9994.6	254	15355.9	314	20209.9
195	10006.6	255	15366.5	315	20277.9
196	10018.6	256	15508.7	316	20525
197	10296	257	15613.5	317	20535
198	10554.3	258	15712.3	318	20540
199	10564.6	259	15732.1	319	20555.9
200	10681.9	260	15879.6	320	20607.3
201	10808.4	261	15918.6	321	20631
202	11046.5	262	15942.3	322	20660.1
203	11097.7	263	16102.8		
204	11349.2	264	16125.4		
205	11423.6	265	16136.9		
206	11594	266	16204		
207	11829	267	16239.5		
208	11862.8	268	16266.9		
209	11884.2	269	16307		
210	11984.8	270	16469.7		
211	12064.4	271	16480.3		
212	12128.4	272	16594.6		
213	12190.7	273	16602.7		
214	12255.7	274	16614.9		
215	12266.4	275	16683.4		
216	12335	276	16804.9		
217	12366.2	277	17095.9		
218	12373.7	278	17110.9		
219	12380.1	279	17187.9		
220	12487.1	280	17204.9		
221	12570.6	281	17308.9		
222	12577.6	282	17331.9		
223	12591.3	283	17338.9		
224	12610.6	284	17353.9		
225	12684.6	285	17417		
226	12721.3	286	17445.9		
227	12836.1	287	17529.9		
228	12952.6	288	17608.9		
229	13091.7	289	17675.9		
230	13110.1	290	17783.9		
231	13200.6	291	17853.9		
232	13591.8	292	17911.9		
233	13700.8	293	17987.9		
234	13724.3	294	18166.9		
235	13743.5	295	18215.9		
236	13798.2	296	18340.9		
237	13863.2	297	18628.9		
238	14149.6	298	18647.9		
239	14188.6	299	18851.9		
240	14231	300	19214.9		

**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-32, 0.75 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	2917.8	121	5032.8
2	1036.8	62	2920.8	122	5037.8
3	1056.8	63	2928.8	123	5046.2
4	1066.8	64	2936.2	124	5135.4
5	1093.8	65	3015.8	125	5161.2
6	1096.8	66	3018.8	126	5305
7	1143.8	67	3156.1	127	5316.2
8	1175.8	68	3166.8	128	5393.3
9	1180.8	69	3309.4	129	5427.7
10	1183.8	70	3395.8	130	5500.6
11	1191.8	71	3429.8	131	5522.6
12	1194.8	72	3742.8	132	5640
13	1204.8	73	3761	133	5663.4
14	1218.8	74	3769.6	134	5672
15	1229.8	75	3779	135	5680.8
16	1235.8	76	3826.4	136	5709.8
17	1250.8	77	3865.5	137	5717.9
18	1263.4	78	3874.5	138	5735
19	1299.8	79	3884.8	139	5743.1
20	1302.8	80	3889.3	140	5767.7
21	1304.3	81	4028.8	141	5786.8
22	1309.8	82	4185.2	142	5812.9
23	1314.8	83	4206.4	143	5819.5
24	1321.8	84	4223.8	144	5875.3
25	1337.2	85	4233.9	145	5892.8
26	1358.3	86	4242.3	146	5944.3
27	1369.8	87	4254.4	147	5984.6
28	1388.8	88	4263.6	148	6051.6
29	1457.2	89	4316.5	149	6089.8
30	1471	90	4343	150	6121.6
31	1477.7	91	4353.9	151	6138.5
32	1489.3	92	4362.8	152	6146.3
33	1530.8	93	4370.8	153	6174.8
34	1540.8	94	4402.9	154	6266.3
35	1600.8	95	4417.6	155	6350
36	1624.5	96	4495.8	156	6515
37	1671.8	97	4551.1	157	6522.5
38	1674.8	98	4556	158	6604.3
39	1684.8	99	4558.8	159	6627.8
40	1712.8	100	4577.7	160	6658.2
41	1716.3	101	4598.7	161	6659.2
42	1718.3	102	4607.3	162	6661.5
43	1724.8	103	4613.4	163	6766.3
44	1729.8	104	4640	164	6794.2
45	1767.8	105	4652.6	165	6798.8
46	1873.8	106	4676.5	166	6825.8
47	1899.8	107	4680.9	167	6852
48	2131.8	108	4732	168	6862
49	2136.8	109	4741.5	169	6869.5
50	2244.8	110	4753.3	170	6898.4
51	2332.8	111	4754.8	171	6949.7
52	2339.8	112	4762.2	172	6955.9
53	2422.8	113	4769.6	173	6962.8
54	2440.8	114	4797.9	174	6983.2
55	2494.8	115	4805.9	175	7076.2
56	2509.8	116	4822.8	176	7094.8
57	2639.8	117	4881.8	177	7121.8
58	2717.8	118	4887	178	7181.8
59	2758.8	119	4905.5	179	7208.8
60	2824.8	120	5028.1	180	7236

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
181	7261.5	241	9831.8	301	12578.1
182	7352.5	242	9839.8	302	12586.9
183	7374.3	243	9852.6	303	12597.3
184	7464.1	244	9911.4	304	12621.8
185	7544.9	245	9981.1	305	12694.6
186	7585.8	246	9996.4	306	12855.3
187	7605.4	247	10006.7	307	12868.2
188	7676.9	248	10047.8	308	12873.4
189	7677.8	249	10059.9	309	12934.4
190	7691.2	250	10068.1	310	13088.5
191	7695.2	251	10104.8	311	13189.3
192	7699	252	10120.3	312	13197.8
193	7842.3	253	10158	313	13311.1
194	7848.9	254	10237.2	314	13353.3
195	7878.2	255	10263	315	13365.2
196	7911.8	256	10291	316	13514.9
197	8124.8	257	10432.6	317	13581.6
198	8151.9	258	10473.3	318	13692.5
199	8186.3	259	10538.3	319	13851.8
200	8206.9	260	10610.6	320	13862.8
201	8238.8	261	10827.6	321	14236.3
202	8290.7	262	10844.1	322	14319.2
203	8456.9	263	10868.8	323	14409.1
204	8465.1	264	10891.6	324	14443.9
205	8469.7	265	11079.4	325	14477
206	8483	266	11089.9	326	15151.2
207	8493.9	267	11107.1	327	15163.2
208	8518	268	11122.1	328	15471.2
209	8527.8	269	11270.1	329	15613.2
210	8553.8	270	11336.8	330	15692.1
211	8602.3	271	11343.5	331	15696.2
212	8661	272	11413.6	332	15786.2
213	8693.3	273	11429	333	15797.2
214	8748.8	274	11551.7	334	16297.2
215	8756.8	275	11557.7	335	16363.2
216	8766.8	276	11593.5	336	16708.2
217	8806.5	277	11600.8	337	17017.2
218	8857.6	278	11665.8	338	17203.2
219	8863.7	279	11732.8	339	17218.2
220	8872.7	280	11760.8	340	17370.2
221	8894.9	281	11823	341	17400.2
222	8918.4	282	11998.5	342	17485.2
223	8928	283	12027.9	343	17511.2
224	8951.3	284	12035.8	344	17618.2
225	8991.4	285	12042.8	345	17647.2
226	9109.4	286	12069.3	346	17689.2
227	9145.8	287	12131.5	347	17859.2
228	9241.9	288	12158.2	348	17877.2
229	9331.4	289	12185.5	349	17919.2
230	9418.3	290	12198.2	350	17956.2
231	9463.3	291	12258.3	351	18027.2
232	9476.4	292	12274.8	352	18048.1
233	9493.6	293	12298.8	353	18100.2
234	9503.1	294	12356	354	18111.2
235	9537.2	295	12376.1	355	18124.2
236	9611.8	296	12504.8	356	18264.2
237	9659.8	297	12513.8	357	18268.2
238	9669.9	298	12520.8	358	18277.2
239	9700.6	299	12549.3	359	18309.2
240	9756.7	300	12557.5	360	18331.2

**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-44, 0.75 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	5112.6	121	8167	181	13967.3
2	1072.7	62	5131	122	8188.3	182	14139.3
3	1082.1	63	5148.5	123	8307.7	183	14443.3
4	1092.8	64	5201.3	124	8437.8	184	14456.3
5	1237.4	65	5390.6	125	8458.3	185	14518.3
6	1359.7	66	5466.6	126	8510.4	186	14527.3
7	1492.3	67	5484.7	127	8558.4	187	14624.3
8	1592.2	68	5499.1	128	8674.8	188	14767.3
9	1631	69	5583.3	129	8803.3	189	14781.3
10	1633.3	70	5764.3	130	8811.3	190	14880.3
11	1764.3	71	5965.8	131	8817.3	191	15031.3
12	1781.1	72	5990.5	132	8833.3	192	15127.3
13	1886	73	6109	133	8858.8	193	15163.3
14	2080.3	74	6189.2	134	8900	194	15590.3
15	2374.7	75	6208.3	135	9027.5	195	15708.3
16	2465.7	76	6303.2	136	9077.3	196	15915.3
17	2486.3	77	6383.2	137	9085.9	197	15986.3
18	2508	78	6459	138	9099	198	16012.3
19	2632.7	79	6528.3	139	9112.2	199	16029.3
20	2659	80	6578.7	140	9206.7	200	16071.3
21	2713.9	81	6586.3	141	9241.4	201	16134.3
22	2838.3	82	6597.7	142	9382.7	202	16216.3
23	2910.3	83	6613.3	143	9478.1	203	16250.3
24	3056.7	84	6625.7	144	9517.3	204	16286.3
25	3163.4	85	6631.5	145	9650.3	205	16378.3
26	3273.8	86	6642.3	146	9738.3	206	16411.3
27	3328.6	87	6672.5	147	10216.5	207	16456.3
28	3529.1	88	6723	148	10223.3	208	16551.3
29	3566.5	89	6733.3	149	10258.3	209	16558.3
30	3633.2	90	6741.1	150	10341.8	210	16620.3
31	3694.1	91	6812.3	151	10360	211	16625.3
32	3713.6	92	6844.1	152	10380	212	16634.3
33	3743.6	93	6880.4	153	10489.5	213	16725
34	3819.8	94	6883.5	154	10511	214	16738
35	3836.4	95	6916.9	155	10549.3	215	16748
36	3896.6	96	6928.7	156	10626.3	216	16821
37	3903.8	97	6936.3	157	10664.9	217	16839
38	4030.3	98	6940.8	158	11079.1	218	16868
39	4051.9	99	6955.4	159	11105	219	16980
40	4065.5	100	6962.3	160	11250.9	220	17043.2
41	4237.7	101	7067.1	161	11398.3	221	17105
42	4334.1	102	7077.1	162	11406.3	222	17281
43	4341.3	103	7169.4	163	11444.6	223	17286
44	4345.7	104	7174.9	164	11521.8	224	17395.5
45	4355.3	105	7223	165	11699.7	225	17424
46	4364.6	106	7250.8	166	11709.6	226	17454
47	4433.5	107	7270.3	167	11903.8	227	17491
48	4451	108	7362.1	168	11913.7	228	17595.1
49	4455.4	109	7385.3	169	12509.1	229	17738.2
50	4626.7	110	7711.1	170	12716.9	230	17808
51	4733.4	111	7752.9	171	13032.1	231	17845
52	4770.4	112	7880.8	172	13128.9	232	17970
53	4784.5	113	7951.3	173	13148.8	233	18452
54	4808.9	114	7984.3	174	13191	234	18529.6
55	4845.2	115	8025.8	175	13213.5	235	18535.3
56	4974.9	116	8077.7	176	13529.3	236	18585.8
57	5016.7	117	8083.9	177	13626.3	237	18624
58	5024.2	118	8088.2	178	13720.3	238	18840
59	5049.9	119	8142	179	13740.3	239	18991
60	5088.7	120	8161.3	180	13943.3	240	18994



**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla de SC-31, 0.75 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	3112	121	5173	181	8698.3
2	1003.3	62	3153.7	122	5193.4	182	8720.7
3	1010	63	3159.8	123	5218.5	183	8723.5
4	1082	64	3208.7	124	5240.7	184	8866.6
5	1084	65	3316	125	5356.8	185	8934.5
6	1085	66	3323	126	5473.9	186	9056.6
7	1163	67	3383.1	127	5480.5	187	9114.2
8	1168	68	3452.2	128	5546.1	188	9235.5
9	1172	69	3457	129	5553.8	189	9337.7
10	1176	70	3471.7	130	5569.3	190	9399.7
11	1184	71	3485.7	131	5575	191	9453
12	1190	72	3492.9	132	5663.8	192	9475
13	1211.5	73	3539.3	133	5740	193	9483
14	1229	74	3557	134	5748	194	9517
15	1256.6	75	3572.1	135	5762	195	9603
16	1262	76	3587.2	136	5780	196	9855
17	1306	77	3593.5	137	5788		
18	1457	78	3605.2	138	5791.5		
19	1504.5	79	3637.9	139	5876.1		
20	1518	80	3639.5	140	5880.3		
21	1537	81	3646.2	141	5933.4		
22	1545	82	3650	142	6048.6		
23	1554	83	3660.6	143	6160.3		
24	1618	84	3679.6	144	6289.2		
25	1624	85	3698.8	145	6295.9		
26	1634	86	3707	146	6322.6		
27	1642	87	3729.5	147	6577.1		
28	1648	88	3789.7	148	6580.9		
29	1659	89	3820.3	149	6592.6		
30	1674	90	3843.2	150	6886.5		
31	1679	91	4000.5	151	6910.9		
32	1697	92	4014.6	152	6919		
33	1788.6	93	4031.4	153	6944.2		
34	1802.6	94	4046.1	154	7122.6		
35	1808.4	95	4060.3	155	7419		
36	1818.4	96	4068.5	156	7517.3		
37	1823.2	97	4072.5	157	7555		
38	1839.7	98	4079.6	158	7592.7		
39	1941.3	99	4146.9	159	7618.4		
40	1948.6	100	4267.9	160	7786.2		
41	2057.9	101	4297.1	161	7844.1		
42	2070.3	102	4321.1	162	7886.6		
43	2150.4	103	4403.4	163	7984.8		
44	2219.8	104	4457.8	164	7991.9		
45	2308	105	4484	165	8084.5		
46	2408.7	106	4497	166	8096.1		
47	2508.8	107	4549.9	167	8136.5		
48	2546.7	108	4692	168	8152.2		
49	2557.8	109	4708.9	169	8160.3		
50	2562.8	110	4718.9	170	8191.1		
51	2609.6	111	4736.4	171	8233		
52	2638.6	112	4747.8	172	8239.4		
53	2680.1	113	4756.8	173	8269		
54	2708.7	114	4769.5	174	8332.9		
55	2746.5	115	4813.6	175	8461.8		
56	2840.1	116	4901.2	176	8504.8		
57	2852.5	117	4907.2	177	8535		
58	2987	118	4939.8	178	8588.7		
59	3010	119	5043.7	179	8613		
60	3023.1	120	5051.6	180	8685.1		

**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-19, 1.5 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	4044.6	121	7758.2	181	12658.5
2	1006.4	62	4060.3	122	7765.9	182	12668.2
3	1046	63	4136.2	123	7775.8	183	13246.7
4	1052.6	64	4199.9	124	7810	184	13276.4
5	1124.5	65	4207.5	125	7850.8	185	13364.9
6	1134.5	66	4303.4	126	8062.3	186	13495.6
7	1136.5	67	4382.5	127	8218.3	187	13599.2
8	1189.5	68	4396.1	128	8323.2	188	13858.8
9	1212.1	69	4464.1	129	8327	189	14068.5
10	1232.5	70	4522.9	130	8335.3	190	14083.9
11	1288.1	71	4562.2	131	8342.8	191	14353.5
12	1299.7	72	4664.5	132	8433.3	192	14365.9
13	1432.7	73	4671.5	133	8580.8	193	14645.8
14	1472.3	74	4723.6	134	8732.7	194	14712.6
15	1574.8	75	4729.3	135	8788.8	195	15232.3
16	1580.5	76	4776.8	136	8847.8	196	15335.2
17	1666.5	77	4789.4	137	8865.5	197	15347
18	1684.5	78	4819.4	138	8960	198	15553.9
19	1804.9	79	4844.5	139	9070	199	16069.7
20	1863.9	80	4858.5	140	9162.7	200	16158.3
21	1873.6	81	4915.8	141	9254.7	201	16204.7
22	1911.6	82	4936.5	142	9528.1	202	16378.1
23	1946.9	83	4994.5	143	9557.3	203	16418
24	1956.2	84	4997.5	144	9622.2	204	16505.3
25	1978.1	85	5038.6	145	9846.7	205	16611.5
26	1988.3	86	5255.4	146	9866.9	206	16717.2
27	1994.9	87	5398.5	147	9917.9	207	16870.1
28	2034.2	88	5558.2	148	9926	208	16934.3
29	2146.9	89	5644.5	149	10277	209	17042.3
30	2232.2	90	5667.9	150	10333.9	210	17221.3
31	2254.5	91	5744.2	151	10363.5	211	17256.3
32	2267.9	92	5779.7	152	10392.4	212	17267.3
33	2464.5	93	5907.8	153	10435.6	213	17351.3
34	2589.6	94	5920.5	154	10459.1	214	17720.3
35	2654.7	95	5932.3	155	10473.6	215	17950.3
36	2713	96	6016.1	156	10745.4	216	18198.3
37	2738.5	97	6074.8	157	10804.1	217	18494.3
38	2771	98	6088.1	158	10866.3	218	18501.3
39	2798.3	99	6203.3	159	10894.6	219	18654.3
40	2812.2	100	6280.2	160	10987.1	220	18773.3
41	2843.2	101	6334.1	161	11037.5	221	18806.3
42	2857.3	102	6385.8	162	11046	222	18815.3
43	2901.8	103	6430.4	163	11190.8	223	18825.3
44	2933.5	104	6444.4	164	11256.3	224	18908.3
45	2945.5	105	6449.5	165	11262.3	225	19270.3
46	3044.1	106	6494.3	166	11344.1	226	19450.3
47	3058.8	107	6514.7	167	11378.9	227	19563.3
48	3072	108	6681.6	168	11426	228	19646.3
49	3156.5	109	6796.3	169	11529.7	229	19710.3
50	3271.9	110	6838.7	170	11612.4	230	19798.3
51	3288.5	111	7049.1	171	11660.8	231	19883.3
52	3456	112	7107.8	172	11706.1	232	19888.3
53	3469	113	7115.3	173	11750.1	233	19907.3
54	3483.8	114	7144.3	174	11783.3	234	19925.3
55	3494.6	115	7226.8	175	11787.6	235	19986.3
56	3558.1	116	7230.1	176	11798.4	236	20035.3
57	3669.4	117	7393	177	11839.1	237	20128.3
58	3880.5	118	7587.7	178	12235	238	20156.3
59	3962.7	119	7746.6	179	12312.9	239	20174.3
60	3991.9	120	7753.3	180	12501.3	240	20197.3

## Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-20, 1.5 yd3

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	3141.7	121	5928.5	181	9785.3	241	14426
2	1052.2	62	3171.7	122	5939.5	182	9864.8	242	14458.3
3	1071.6	63	3291.8	123	5952.2	183	9916.5	243	14527
4	1076.1	64	3309.8	124	5966.1	184	9944.4	244	14692
5	1100	65	3393.6	125	5968.8	185	10073.6	245	14697
6	1106	66	3404.6	126	6040.5	186	10177.1	246	14746
7	1112.5	67	3491.3	127	6058.8	187	10256.1	247	14837
8	1120.6	68	3606.4	128	6108.1	188	10262.7	248	14851
9	1160.3	69	3646.7	129	6243.7	189	10278.4	249	14895
10	1161.6	70	3657.4	130	6249	190	10284.1	250	14973
11	1173.6	71	3723.5	131	6267.7	191	10374.7	251	15192
12	1187.6	72	3945.6	132	6274.9	192	10426.7	252	15292
13	1223.5	73	3957.3	133	6336.1	193	10679.4	253	15301
14	1231.6	74	4020.6	134	6401.4	194	10699.1	254	15358
15	1240.1	75	4026.6	135	6616.8	195	10730.9	255	15364
16	1244.7	76	4031.6	136	6643.7	196	10794	256	15430
17	1245.9	77	4175.3	137	6650.5	197	10797.2	257	15520.8
18	1256.9	78	4233.2	138	6718.8	198	10887.3	258	15627
19	1299	79	4290	139	6807.4	199	10933	259	15681
20	1412	80	4375.2	140	6811.5	200	10962.5	260	15890
21	1441.1	81	4430.1	141	6874.1	201	10994.1	261	16085
22	1608.9	82	4434.6	142	6906.9	202	11056.2	262	16392
23	1634.6	83	4479.2	143	7045.2	203	11106.6	263	16408
24	1725.8	84	4493.1	144	7134.1	204	11301.2	264	16522
25	1764.3	85	4514.5	145	7296.5	205	11307	265	16531
26	1801.1	86	4586	146	7479.6	206	11357.2	266	17177
27	1827.6	87	4609.2	147	7509.2	207	11382.9	267	17201
28	2015.6	88	4657.4	148	7610.1	208	11467.4	268	17378
29	2048.6	89	4665.7	149	7646.2	209	11475.3	269	17398
30	2082.3	90	4690.6	150	7668.5	210	11481	270	17427
31	2147.6	91	4715.6	151	7846.9	211	11506.6	271	17437
32	2165.6	92	4762.3	152	7899.3	212	11536.7	272	17470
33	2206.6	93	4766.2	153	7912.7	213	11767.4	273	17489
34	2225.4	94	4791.1	154	7937.8	214	11907.3	274	17528
35	2235.6	95	4834.8	155	8066.9	215	12427.3	275	17554
36	2267.4	96	4899.5	156	8125.9	216	12446.4	276	17569
37	2296.6	97	4913.4	157	8162.5	217	12477.7	277	17576
38	2307.6	98	4919.6	158	8165.2	218	12567.4	278	17583
39	2322.1	99	4927.8	159	8259	219	12607.1	279	17734
40	2409.6	100	4932.6	160	8332.8	220	12692.5	280	17744
41	2418.4	101	5151	161	8368.9	221	12820.3	281	17752
42	2429.2	102	5159.2	162	8397.9	222	12845.6	282	17796
43	2440.4	103	5185.8	163	8431	223	12931.5	283	17803
44	2444.6	104	5208.7	164	8445.2	224	13056.8	284	17863
45	2447.6	105	5307.5	165	8454.6	225	13230.4	285	17870
46	2459.8	106	5401.7	166	8501.4	226	13242.7	286	17904
47	2489.3	107	5441.7	167	8571	227	13500.6	287	17924
48	2505	108	5469.8	168	8703.2	228	13552.5	288	18049
49	2512.1	109	5493.1	169	8707.8	229	13610.7	289	18172
50	2606.8	110	5521.6	170	8792.9	230	13724.9	290	18322
51	2657.6	111	5532.2	171	9137.7	231	13740.2	291	18341
52	2859.6	112	5554.7	172	9230.9	232	13746.2	292	18353
53	2879.6	113	5616.2	173	9344.3	233	13870	293	18372.8
54	2899.6	114	5660.6	174	9427.5	234	13933.9	294	18377
55	3009	115	5683.9	175	9521.7	235	13966.8	295	18511.1
56	3013.7	116	5711.4	176	9688.9	236	14018.5	296	18518.5
57	3025.7	117	5817.4	177	9703.7	237	14109	297	18567
58	3083.2	118	5851.2	178	9724.4	238	14158.8	298	18575
59	3109.4	119	5886.6	179	9733.3	239	14239.6	299	18629
60	3129.1	120	5912.5	180	9752.8	240	14327.3	300	18634

**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-21, 1.5 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	7148.2	121	11663.7	181	20546.5
2	1005.6	62	7223.8	122	11708.6	182	20556.5
3	1014.2	63	7258.8	123	11715.5	183	20576.5
4	1023	64	7426	124	11827.4	184	20576.7
5	1035.7	65	7496.1	125	12420.8	185	20599.4
6	1056.2	66	7514.5	126	12491.4	186	20833.3
7	1085.5	67	7671.6	127	12503.6	187	20863.3
8	1110.5	68	7720.4	128	12714.5	188	20975.3
9	1189.5	69	7861.5	129	12725.8	189	20995.3
10	1400.6	70	7934.6	130	12946.2	190	21001.3
11	1538.7	71	7989.2	131	13401.3	191	21213.3
12	1639.8	72	7998.5	132	13919	192	21462.9
13	2129.7	73	8040.5	133	13923.7	193	21582.3
14	2169.9	74	8075.9	134	13992.1	194	21782.3
15	2377.4	75	8099.5	135	14369.3	195	21793.3
16	2555.2	76	8166.6	136	14507.6	196	21860.3
17	2565.5	77	8192.7	137	14530.8	197	21870.3
18	2620.3	78	8203.1	138	14544		
19	2661.9	79	8211	139	14756.9		
20	2714.5	80	8298.9	140	14768		
21	2930.4	81	8612.5	141	14877		
22	2943.9	82	8622.8	142	14938.8		
23	2954.6	83	8631	143	15183.5		
24	3008.4	84	8642.4	144	15315.5		
25	3032.1	85	8766	145	15318.4		
26	3218.2	86	8791.9	146	15328.3		
27	3355.7	87	8844.8	147	15511.4		
28	3513.1	88	8846.6	148	15970.5		
29	3663.3	89	8980.7	149	16053.5		
30	3696.3	90	9110.1	150	16218.5		
31	3729.8	91	9122.7	151	16379.5		
32	3760.6	92	9341.9	152	16806.5		
33	3892	93	9365	153	17193.5		
34	3928.1	94	9431.3	154	17295.5		
35	3961.8	95	9444.1	155	17369.5		
36	4047.9	96	9570.8	156	17403.5		
37	4321.4	97	9590.1	157	17413.5		
38	4808	98	9937.5	158	17534.5		
39	4982.5	99	9965.5	159	17674.5		
40	5055.1	100	10084.5	160	18043.5		
41	5179.8	101	10259.3	161	18131.5		
42	5227.4	102	10263.4	162	18141.5		
43	5336.3	103	10275.1	163	18681.5		
44	5406	104	10322.8	164	18700.5		
45	5455.4	105	10565.2	165	18917.5		
46	5481.2	106	10609.4	166	19140.5		
47	5483.4	107	10617.4	167	19151.5		
48	5549.5	108	10656.6	168	19161.5		
49	5586.3	109	10807.8	169	19331		
50	5672.5	110	10919.1	170	19383.5		
51	5685.3	111	11013.4	171	19446.5		
52	5711	112	11022.2	172	19452.5		
53	5803	113	11035.9	173	19501.5		
54	5955.7	114	11269.3	174	19540.5		
55	6084.2	115	11277.4	175	19731.4		
56	6110.7	116	11542.1	176	19899.5		
57	6349.5	117	11551.4	177	19993.5		
58	6601.2	118	11578.3	178	20133.5		
59	6759.6	119	11593.4	179	20218.2		
60	7020.4	120	11653.5	180	20479.5		

## Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-26, 4 yd3

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	3533.6	121	5539	181	7621.3	241	12284.3
2	1041.9	62	3541.8	122	5615	182	7654.3	242	12393.3
3	1063.2	63	3571.1	123	5647.8	183	7689.3	243	12420.3
4	1135.6	64	3681.2	124	5690.8	184	7848.3	244	12429.3
5	1146.4	65	3699.2	125	5718.8	185	7976.3	245	12617.3
6	1152.9	66	3747	126	5751.6	186	8027.3	246	12926.3
7	1164.9	67	3769	127	5830	187	8178.3	247	13243.3
8	1203	68	3778.7	128	5880	188	8191.3	248	13278.3
9	1319.4	69	3837.3	129	5919.3	189	8486.3	249	13308.3
10	1322	70	3855.9	130	5926.6	190	8522.3	250	13469.3
11	1326	71	3913.5	131	5947.6	191	8806.3	251	13498.3
12	1384.7	72	3942	132	5962	192	8922.3	252	13543.3
13	1407.7	73	3997	133	5977.6	193	9102.3	253	13789.3
14	1422.7	74	4004	134	6016	194	9246.3	254	13842.3
15	1517.8	75	4046.1	135	6026	195	9390.3	255	13916.3
16	1598	76	4096.8	136	6044.7	196	9399.3	256	14154.3
17	1696	77	4175	137	6053.6	197	9420.3	257	14186.3
18	1750.8	78	4184.5	138	6075.7	198	9549.3	258	14207.3
19	1756	79	4302.1	139	6089	199	9576.3	259	14230.3
20	1774.6	80	4314.5	140	6095	200	9652.3	260	14240.3
21	1817.4	81	4326	141	6100.1	201	9661.3	261	14284.3
22	1878.5	82	4374	142	6162	202	9747.3	262	14342.3
23	1924.6	83	4399	143	6272.6	203	9775.4	263	14389.3
24	1987.4	84	4411.8	144	6313.8	204	9833.3	264	14503.3
25	1997.2	85	4427.9	145	6323	205	9875.3	265	14519.3
26	2040	86	4471.7	146	6382.6	206	9934.3	266	14536.3
27	2050.3	87	4513	147	6432	207	9941.3	267	14638.3
28	2061.7	88	4548.2	148	6489.7	208	9946.3	268	14654.3
29	2073.3	89	4558.7	149	6517.1	209	9958.3	269	14673.3
30	2121.3	90	4638.2	150	6530.8	210	9982.3	270	14705.3
31	2159	91	4674	151	6537.9	211	10008.3	271	14733.3
32	2294	92	4697	152	6572.4	212	10121.3	272	14736.3
33	2423.2	93	4859	153	6583.1	213	10218.3	273	14744.3
34	2432.1	94	4894.2	154	6605.6	214	10239.3	274	14756.3
35	2461	95	4898.6	155	6900.9	215	10255.3	275	15195.3
36	2522.6	96	4908.4	156	6908	216	10381.3	276	15330.3
37	2529.2	97	4918	157	6938.2	217	10395.3	277	15351.3
38	2559.6	98	4924.9	158	6943.6	218	10421.3	278	15562.3
39	2591	99	5010	159	6955.2	219	10444.3	279	15607.3
40	2614.8	100	5023.5	160	6965.8	220	10486.3	280	15713.3
41	2645.2	101	5025.6	161	6972	221	10527.3	281	15771.3
42	2652.3	102	5031	162	7017.2	222	10539.3	282	15789.3
43	2714.4	103	5042.6	163	7027.4	223	10900.3	283	15875.3
44	2748.4	104	5116.7	164	7062.6	224	11115.3	284	15888.3
45	2884.3	105	5124.9	165	7086.8	225	11164.3	285	15941.3
46	2932.6	106	5153	166	7096.3	226	11244.3	286	16036.3
47	2976.2	107	5175.2	167	7110.8	227	11311.3	287	16194.3
48	3054	108	5206.2	168	7120.5	228	11338.3	288	16774.3
49	3104.2	109	5220.6	169	7143.7	229	11341.3	289	16798.3
50	3165.8	110	5234	170	7157.3	230	11381.3	290	16906.3
51	3185.8	111	5258.4	171	7203.5	231	11389.3	291	16966.3
52	3194.2	112	5282.8	172	7241.8	232	11524.3	292	17132.3
53	3314.4	113	5298.4	173	7286.7	233	11579.3	293	17141.3
54	3384.4	114	5317.3	174	7301.7	234	11674.3	294	17239.3
55	3400.7	115	5352.6	175	7355.5	235	11753.3	295	17313.3
56	3412.2	116	5395	176	7416.3	236	11919.3	296	17450.3
57	3418.4	117	5403.5	177	7442.3	237	11927.3	297	17482.3
58	3478.2	118	5424.4	178	7507.3	238	11958.3	298	17635.3
59	3483	119	5464.4	179	7601.3	239	12103.3	299	17746.3
60	3501.6	120	5526.1	180	7611.8	240	12276.3	300	18000.3

**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-34, 4 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	7332	121	13820	181	19706
2	1003	62	7447	122	13828	182	19713
3	1130	63	7656	123	13858	183	19774
4	1227	64	7742	124	13867	184	19844
5	1234	65	7807	125	13877	185	19849
6	1281	66	7915	126	14113	186	20033
7	1360	67	8011	127	14135	187	20067
8	1385	68	8201	128	14147	188	20174
9	1436	69	8209	129	14191	189	20350
10	1511	70	8567	130	14202	190	20375
11	1651	71	8655	131	14304	191	20384
12	1686	72	8881	132	14332	192	20413
13	1801	73	9317	133	14381	193	20433
14	1847	74	9416	134	14403	194	20489
15	2016	75	9492	135	14526	195	20492
16	2360	76	9564	136	14546	196	20730
17	2518	77	9659	137	14572	197	20735
18	2538	78	9684	138	14581	198	20803
19	2550	79	9720	139	14604	199	20816
20	2576	80	9865	140	14661	200	20881
21	2580	81	9889	141	14718	201	20892
22	2581	82	9916	142	14803	202	20904
23	2592	83	9923	143	14841	203	20965
24	2612	84	9929	144	14850	204	21092
25	2995	85	10037	145	14885	205	21176
26	3114.2	86	10246	146	15029	206	21235
27	3149	87	10311	147	15066	207	21246
28	3169	88	10338	148	15180	208	21386
29	3271	89	10391	149	15211	209	21448
30	3345	90	10470	150	15225	210	21817
31	3364	91	10547	151	15497	211	21835
32	3400	92	10953	152	15533	212	22116
33	3529	93	10960	153	15620	213	22119
34	3689	94	10968	154	15626	214	22538
35	3727	95	11234	155	15728		
36	3855	96	11242	156	15924		
37	3973	97	11415	157	15980		
38	4313	98	11461	158	16032		
39	4389	99	11810	159	16292		
40	4466	100	11835	160	16405		
41	4748	101	11960	161	16425		
42	5096	102	12089	162	16456		
43	5139	103	12112	163	16464		
44	5380	104	12122	164	16622		
45	5464	105	12444	165	16733		
46	5604	106	12480	166	16858.3		
47	5612	107	12602	167	17082		
48	5799	108	12676	168	17722		
49	5808	109	12690	169	17817		
50	5837	110	12760	170	18689		
51	5852	111	12879	171	18753		
52	6224	112	12895	172	18790		
53	6283	113	13208	173	19012		
54	6334	114	13337	174	19043		
55	6396	115	13438	175	19051		
56	6440	116	13454	176	19257		
57	6665	117	13462	177	19440		
58	6746	118	13487	178	19525		
59	6781	119	13682	179	19553		
60	6800	120	13779	180	19683		

**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-42, 4 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas	N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000	61	7320.5	121	11387.5	181	19729.5
2	1095.5	62	7356.5	122	11403.5	182	19883.5
3	1112.5	63	7367.5	123	11839.5	183	20168.5
4	1317.5	64	7372.5	124	11976.5	184	20401.5
5	1369.8	65	7389.9	125	12038.5	185	20550.5
6	1373.5	66	7395.5	126	12145.5	186	20866.5
7	1584.5	67	7405.5	127	12466.5	187	20974.5
8	1596.5	68	7465.5	128	12586.5	188	21120.5
9	1727.5	69	7500.5	129	12666.5	189	21153.5
10	1765.5	70	7515.5	130	12678.5	190	21210.5
11	1774.5	71	7569.5	131	13361.5	191	21271.5
12	2027.5	72	7573.5	132	13622.5	192	21394.5
13	2136.5	73	7584.5	133	13670.5	193	21410.5
14	2612.5	74	7598.5	134	13690.5	194	22098.5
15	2618.5	75	7678.5	135	13728.5	195	22218.5
16	2924.5	76	7685.5	136	13771.5	196	22233.5
17	2935.5	77	7728.5	137	13949.5	197	22966.5
18	2948.5	78	7806.5	138	14430.5	198	23076.5
19	3147.5	79	7860.5	139	14544.5	199	23128.5
20	3485.5	80	7931.5	140	14557.5	200	23132.5
21	3532.5	81	8097.5	141	14588.5	201	23386.5
22	3709.5	82	8117.5	142	14602.5	202	23984.5
23	4506.5	83	8190.5	143	14657.5	203	24105.5
24	4754.5	84	8212.5	144	14875.5	204	24153.5
25	4766.5	85	8222.5	145	14923.5		
26	4819.5	86	8233.5	146	14929.5		
27	4897.5	87	8248.5	147	15078.5		
28	4908.5	88	8275.5	148	15270.5		
29	5107.5	89	8285.5	149	15290.5		
30	5143.5	90	8309.5	150	15344.5		
31	5152.5	91	8335.5	151	15350.5		
32	5264.5	92	8348.5	152	15392.5		
33	5339.5	93	8388.5	153	15414.5		
34	5353.5	94	8429.5	154	15488.5		
35	5610.5	95	8434.5	155	15570.5		
36	5742.5	96	8447.5	156	15714.5		
37	5784.5	97	8449.5	157	15717.5		
38	5844.5	98	8451.1	158	15998.5		
39	5952.5	99	8496.5	159	16026.5		
40	6000.5	100	8727.5	160	16307.5		
41	6057.5	101	9066.5	161	16467.5		
42	6265.5	102	9078.5	162	16537.5		
43	6289.5	103	9191.5	163	16929.5		
44	6398.5	104	9246.5	164	17201.5		
45	6480.5	105	9341.5	165	17714.5		
46	6490.5	106	9487.5	166	17722.5		
47	6503.5	107	9524.5	167	18209.5		
48	6585.5	108	9654.5	168	18383.5		
49	6592.5	109	9835.5	169	18544.5		
50	6605.5	110	9848.5	170	18655.5		
51	6687.5	111	10142.5	171	18718.5		
52	6693.5	112	10227.5	172	18817.5		
53	6813.5	113	10622.5	173	18905.5		
54	6948.5	114	10696.5	174	18969.5		
55	6973.5	115	10819.5	175	19449.5		
56	6988.5	116	10831.5	176	19503.5		
57	7004.5	117	10920.5	177	19572.5		
58	7010.5	118	11109.5	178	19594.5		
59	7191.5	119	11214.5	179	19695.5		
60	7314.5	120	11338.5	180	19721.5		

**Número acumulado de fallas y tiempo acumulado hasta la falla deSC-52, 4 yd3**

N(t): Fallas Acumuladas	Horas Acumuladas
1	1000
2	1535.9
3	1538.9
4	2581.9
5	2662.9
6	2908.9
7	3144.9
8	3291.8
9	3616.8
10	3637.9
11	3726.8
12	3742.8
13	3910.2
14	3946.8
15	3983.8
16	3991.8
17	4832.8