

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO  
EN LA METODOLOGÍA RCM PARA LA MAQUINARIA PESADA PARA  
MOVIMIENTO DE TIERRA, DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE  
CANCHIS - CUZCO”**

## **TESIS**

PRESENTADA POR:

**ELISBAN LABRA QUISPE**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO**

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN  
LA METODOLOGÍA RCM PARA LA MAQUINARIA PESADA PARA  
MOVIMIENTO DE TIERRA, DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE  
CANCHIS - CUZCO”.**

TESIS PRESENTADA POR:

**ELISBAN LABRA QUISPE**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:


**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

FECHA DE SUSTENTACIÓN 19-12-2018

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**



**PRESIDENTE**

: 

Mg. OLGER ALEJANDRINO ORTEGA ACHATA

**PRIMER MIEMBRO**

: 

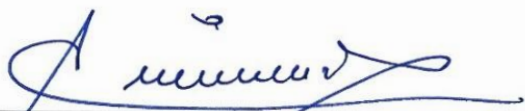
M.Sc. MARIO MAMANI PAMPA

**SEGUNDO MIEMBRO**

: 

M.Sc. MARCOS JOSE VILLANUEVA CORNEJO

**DIRECTOR DE TESIS**

: 

M.Sc. JUAN RENZO ILLACUTIPA MAMANI

**Área: Mecánica**

**Tema: Mantenimiento.**

## AGRADECIMIENTO

**A:**

*Dios por darme la vida y por haberme permitido lograr uno más de mis objetivos.*

*A la Universidad Nacional del altiplano, a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica y a todos los docentes que contribuyeron en mi formación profesional.*

*A mis padres y hermanos, que siempre estaban pendientes de mi formación, así al resto de mi familia por su apoyo incondicional. Y como no, agradecer a mis amigos por sus palabras de aliento.*

*Elisban Labra Quispe*

**DEDICATORIA****A:**

*Mi familia, en especial a mis queridos padres: Prof. Mario Labra y la Sra. Francisca Quispe por motivarme, brindarme confianza y apoyo incondicional en cada momento de mi vida para lograr mi formación profesional.*

*Mi hermano y hermanas quienes de una u otra forma siempre contribuyeron en esta etapa de mi vida.*

***Elisban Labra Quispe***

ÍNDICE

RESUMEN .....	14
ABSTRACT.....	15
CAPITULO I.....	16
1.1 INTRODUCCIÓN .....	16
1.2 OBJETIVOS .....	17
1.2.1 Objetivo General.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos .....	17
CAPITULO II.....	18
2.1 MAQUINARIA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	18
2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS PESADOS.....	18
2.2.1 Cargador Frontal Sobre Ruedas.....	18
2.2.2 Tractor Sobre Orugas.....	19
2.2.3 Motoniveladora.....	20
2.2.4 Excavadora Sobre Orugas.....	21
2.2.5 Minicargador Frontal .....	22
2.3 DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINARIA.....	23
2.3.1 Sistemas Comunes de Maquinaria.....	23
2.3.1.1 Motor.....	25
2.3.2 Transmisión .....	26
2.3.3 Medios de Locomoción .....	28
2.3.3.1 Tren de Rodaje.....	28
2.3.3.2 Elementos Constituyentes del Tren de Rodaje .....	29
2.3.3.3 Neumáticos .....	31
2.3.4 Sistema Hidráulico.....	32
2.3.5 Componentes del Sistema Hidráulico.....	32
2.3.5.1 Bombas Hidráulicas .....	33
2.3.5.2 Cilindros Hidráulicos.....	34
2.3.5.3 Válvulas Direccionales .....	35
2.3.6 Sistema Eléctrico .....	35
2.3.6.1 La Batería.....	36
2.3.6.2 El Motor de Arranque .....	37

2.3.6.3	El Alternador.....	38
2.3.7	Sistema de Frenos .....	39
2.3.7.1	Frenos de Tambor .....	40
2.3.7.2	Frenos de Disco .....	41
2.4	MANTENIMIENTO.....	42
2.4.1	Historia y Evolución del Mantenimiento.....	42
2.4.2	Unidad de Mantenimiento .....	45
2.5	TIPOS DE MANTENIMIENTO .....	47
2.5.1	Mantenimiento Correctivo.....	47
2.5.2	Mantenimiento Correctivo: Programado y No Programado.....	48
2.5.3	El Mantenimiento Preventivo.....	48
2.5.4	Mantenimiento Predictivo.....	50
2.5.5	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.....	51
2.5.6	Concepto del MCC .....	52
2.5.7	Las Siete Preguntas Básicas del RCM.....	53
2.5.8	El proceso de decisión de RCM.....	54
2.5.9	Proceso de Implantación del MCC .....	55
2.6	DISTRIBUCIÓN WEIBULL.....	56
2.6.1	Función de Confiabilidad.....	58
2.6.2	Vida Útil de un Producto .....	59
2.6.3	Distribución Weibull de dos Parámetros .....	60
2.6.4	Distribución Weibull de Tres Parámetros.....	61
2.7	HIPÓTESIS.....	62
2.7.1	Hipótesis General.....	62
2.7.2	Hipótesis Específicas .....	62
2.7.3	Variables .....	62
2.8	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	62
2.8.1	Tipo Metodológico .....	62
2.8.2	Metodología de la Investigación.....	63
2.8.3	Técnicas de Recolección de Datos.....	63
2.8.4	Técnicas .....	63
CAPITULO III.....		65

3.1	MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	65
3.1.1	Tipo de Investigación.....	65
3.1.2	Técnicas de Recolección de Datos.....	66
3.1.3	Técnicas de Análisis de Datos .....	66
3.1.4	Método de la Investigación.....	67
3.1.5	Unidades de Información.....	67
3.2	PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	68
3.2.1.	Diagnóstico de la Situación Actual.....	68
3.2.2.	Identificación de los Componentes más Críticos.....	69
3.3	ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLAS .....	69
3.3.1	Hoja de Información .....	70
3.3.2	Hoja de Decisión.....	70
3.3.3	Árbol Lógico.....	71
3.3.4	Análisis de Criticidad.....	73
3.4	DETERMINACIÓN DE LA CONFIABILIDAD .....	75
3.4.1	Confiabilidad .....	75
3.5	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN .....	77
3.6	PROCESAMIENTO DE DATOS.....	77
3.7	VARIABLES .....	77
CAPITULO IV .....		78
4.1	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....	78
4.2	ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS .....	78
4.3	ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF) .....	79
4.3.1	Registro de fallas de los equipos.....	82
4.4	ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE ACTIVOS .....	89
4.5	DETERMINACIÓN DE LOS INTERVALOS DE INTERVENCIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	92
4.6	DETERMINACIÓN DE LOS INTERVALOS DE MANTENIMIENTO DE LOS SUBSISTEMAS CRÍTICOS .....	94
4.6.1	Intervalos para el Cargador Frontal CAT 938G .....	94

4.6.2	Intervalos para el Tractor a orugas CAT D7G.....	100
4.6.3	Intervalos para la Motoniveladora NEWHOLLAN RG 200 .....	107
4.6.4	Intervalos para la Excavadora Komatsu PC 350LC 8 .....	110
RECOMENDACIONES.....		115
ANEXOS .....		118



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1: Cargador Frontal CAT 938G.....	19
Figura 2. 2: Tractor sobre orugas CAT D7G .....	20
Figura 2. 3: Motoniveladora New Holland RG-200B .....	21
Figura 2. 4: Excavadora hidráulica sobre orugas KOMATSU PC350 LC - 8.....	22
Figura 2. 5: Mini cargador New Holland L223 .....	23
Figura 2. 6: Motor .....	26
Figura 2. 7: Sistema de transmisión.....	28
Figura 2. 8: Tren de rodaje.....	30
Figura 2. 9: Neumáticos.....	31
Figura 2. 10: Sistema Hidráulico .....	33
Figura 2. 11: Bomba Hidráulica .....	34
Figura 2. 12: Cilindro Hidráulico .....	34
Figura 2. 13: Sistema de Arranque .....	36
Figura 2. 14: Batería .....	37
Figura 2. 15: Motor de Arranque .....	38
Figura 2. 16: Alternador.....	39
Figura 2. 17: Freno de tambor .....	41
Figura 2. 18: Freno de disco .....	42
Figura 2. 19: Unidad elemental de mantenimiento.....	46
Figura 2. 20: Funciones primarias de mantenimiento.....	46
Figura 2. 21: Siete preguntas claves del MCC.....	54
Figura 2. 22: Hoja de decisión del RCM .....	55
Figura 2. 23: Equipo natural de trabajo del MCC.....	56
Figura 2. 24: Tasas de Fallas, Confiabilidad, Parámetro Beta.....	58
Figura 2. 25: Curva de la Bañera .....	59
Figura 3. 1: Hoja de información.....	70
Figura 3. 2: Hoja de decisión .....	71
Figura 3. 3: Árbol Lógico .....	72
Figura 3. 4: Criterios a evaluar, Matriz de Criticidad.....	74
Figura 3. 5: Matriz de criticidad .....	75
Figura 4. 1: Clasificación de fallas para el Cargador Frontal CAT 938 G .....	83
Figura 4. 2: Clasificación de fallas para el Tractor a Orugas CAT D7G.....	85

Figura 4. 3: Clasificación de fallas para la Motoniveladora NEW HOLLAND RG200 86	
Figura 4. 4: Clasificación de fallas para la Excavadora Komatsu PC 350L-C8.....	88
Figura 4. 5: Registro de fallas de los equipos .....	89
Figura 4. 6: Criterios de Evaluación de Criticidad de Equipos .....	90
Figura 4. 7: Gráfico de Weibull Filtro de Combustible .....	96
Figura 4. 8: Grafica Weibull Bomba Hidráulica.....	100
Figura 4. 9: Grafica Weibull Combustible Tractor D7G .....	102
Figura 4. 10: Grafica Weibull Manguera hidráulica Tractor D7G .....	105
Figura 4. 11: Grafica Weibull Lubricación Tractor D7G .....	107
Figura 4. 12: Grafica Weibull Filtro de combustible RG 200 .....	110
Figura 4. 13: Grafica Weibull Filtro de combustible Excavadora Komatsu PC 350LC 8 .....	112
Figura A. 1: Cargador Frontal CAT 938G en movimiento de tierra .....	118
Figura A. 2: Tractor sobre Oruga CAT D7G.....	118
Figura A. 3: Motoniveladora NEW HOLLAND RG220 .....	119
Figura A. 4: Excavadora Hidráulica sobre Orugas KOMATSU PC350 LC – 8 .....	119
Figura A. 5: Mini Cargador NEW HOLLAND L223 en movimiento de tierra.....	120

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 3. 1: Factor de estado .....	68
Tabla 4. 1: Equipos Operativos para Movimiento de Tierra de la MPC. ....	78
Tabla 4. 2: Factor de Estado para los Equipos Operativos .....	78
Tabla 4. 3: factor de estado para el MINICARGADOR NEW HOLLAND. ....	79
Tabla 4. 4: Sub Sistemas del Cargador Frontal CAT 938G.....	79
Tabla 4. 5: Sub Sistemas de la Motoniveladora New Holland RG 200.....	80
Tabla 4. 6: Sub Sistemas del Mini cargador NEW HOLLAND L223 .....	80
Tabla 4. 7: Sub Sistemas de la Excavadora Komatsu PC 350L-C8. ....	81
Tabla 4. 8: Sub Sistemas del Tractor Orugas CAT D7G.....	82
Tabla 4. 9: Fallas registradas del Cargador Frontal CAT 938G .....	82
Tabla 4. 10: Fallas registradas del Tractor a orugas CAT D7G .....	84
Tabla 4. 11: Fallas registradas de la Motoniveladora NEW HOLLAND RG200 .....	85
Tabla 4. 12: Fallas registradas de la Excavadora Komatsu PC 350L C8 .....	87
Tabla 4. 13: Fallas registradas Mini cargador NEW HOLLAND L223.....	88
Tabla 4. 14: Evaluación de Criticidad del Cargador Frontal CAT 938G .....	90
Tabla 4. 15: Evaluación de Criticidad del Tractor a orugas CAT D7G.....	91
Tabla 4. 16: Evaluación de Criticidad de la Motoniveladora Newhollan RG 200 .....	91
Tabla 4. 17: Evaluación de Criticidad de la Excavadora Komatsu PC 350L .....	92
Tabla 4. 18: Registro de fallas filtro de combustible del Cargador Frontal.....	95
Tabla 4. 19: Valores Obtenidos Weibull Filtro combustible .....	96
Tabla 4. 20: Valores de los Parámetros para el Filtro de Combustible del Cargador Frontal CAT 938G.....	97
Tabla 4. 21: Confiabilidad y MTTF para un tiempo (t) de 135 horas del filtro de combustible del cargador frontal CAT 938G .....	98
Tabla 4. 22: Registro de fallas bomba hidráulica del Cargador Frontal .....	98
Tabla 4. 23: Valores Obtenidos Weibull Bomba Hidráulica .....	98
Tabla 4. 24: Valores de los Parámetros para la Bomba Hidráulica del Cargador Frontal CAT 938G .....	99
Tabla 4. 25: Confiabilidad y MTTF para un tiempo (t) de 135 horas de la Bomba Hidráulica del cargador frontal CAT 938G.....	100
Tabla 4. 26: Registro de fallas filtro combustible Tractor D7G .....	101
Tabla 4. 27: Valores Obtenidos Weibull Combustible Tractor D7G .....	101
Tabla 4. 28: Valores de los Parámetros para el Combustible del Tractor D7G.....	101

Tabla 4. 29: Confiabilidad y MTTF para un tiempo (t) de 280 horas del filtro de combustible del Tractor D7G .....	102
Tabla 4. 30: Registro de fallas Manguera Hidráulica Tractor D7G.....	103
Tabla 4. 31: Valores Obtenidos Weibull Manguera Tractor D7G.....	103
Tabla 4. 32: Valores de los Parámetros para Manguera Hidráulica del Tractor D7G ..	104
Tabla 4. 33: Confiabilidad y MTTF para un tiempo (t) de 175 horas para la manguera hidráulica del Tractor D7G.....	104
Tabla 4. 34: Registro del sistema lubricación Tractor D7G .....	105
Tabla 4. 35: Valores Obtenidos Weibull Lubricación Tractor D7G.....	106
Tabla 4. 36: Valores de los Parámetros para la lubricacion del Tractor D7G .....	106
Tabla 4. 37: Confiabilidad y MTTF para un tiempo (t) de 345 horas para la lubricación del Tractor D7G.....	107
Tabla 4. 38: Registro fallas Motoniveladora NEWHOLLAN RG 200 .....	108
Tabla 4. 39: Valores Obtenidos Weibull Filtro de combustible Motoniveladora NEW HOLLAN RG 200 .....	108
Tabla 4. 40: Valores de los Parámetros para el filtro de combustible de la motoniveladora NEW HOLLAN RG 200.....	109
Tabla 4. 41: Confiabilidad y MTTF para un tiempo (t) de 183 horas para el filtro de combustible de la motoniveladora NEW HOLLAN RG 200.....	109
Tabla 4. 42: Registro fallas Excavadora Komatsu PC 350LC 8.....	110
Tabla 4. 43: Valores Obtenidos Weibull Filtro de combustible Excavadora Komatsu PC 350LC 8 .....	111
Tabla 4. 44: Valores de los Parámetros para el filtro de combustible de la Excavadora Komatsu PC 350LC 8.....	111
Tabla 4. 45: Confiabilidad y MTTF para un tiempo (t) de 180 horas para el filtro de combustible de la Excavadora Komatsu PC 350LC 8.....	112

**ACRÓNIMOS**

Mtto.	Mantenimiento
Prv.	Preventivo
Prd.	Predictivo
Pieza	Elemento físico no divisible de un mecanismo.
Equipo	Conjunto de componentes interconectados de una instalación.
Overhaul	Reparación Mayor.

## RESUMEN

El presente proyecto de tesis propone un método basado en RCM, para la gestión de mantenimiento en maquinaria para movimiento de tierras pertenecientes a la Municipalidad Provincial de Canchis Cuzco, tiene como objetivo diseñar un plan de mantenimiento preventivo en base a la metodología RCM de los diferentes elementos que componen la maquinaria pesada para movimiento de tierra de la Municipalidad Provincial de Canchis Cuzco, para de esta manera mejorar su disponibilidad y confiabilidad; como objetivos específicos se realizó el diagnóstico la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de la Maquinaria Pesada, para determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla, de esta manera se podrá identificar los componentes más críticos, así como indicar el tipo de fallas, modo de fallas y su frecuencia que son parte del problema a resolver y de esta manera se elaboró la propuesta del plan de mantenimiento preventivo aplicando la metodología RCM, que se podrá aplicar en el área de mantenimiento, mejorando de esta manera su disponibilidad y confiabilidad. El área donde se aplicará la presente investigación está ubicada en el Distrito de Sicuani, Provincia de Canchis en el departamento de Cuzco, en las coordenadas: Latitud: 14°16'16" Sur, Longitud: 71°13'44" Oeste y una altitud de 3546 metros sobre el nivel del mar.

Palabras clave: confiabilidad, disponibilidad, mantenimiento, maquinaria pesada.

### ABSTRACT

The present thesis proposes a method based on RCM, for the management of maintenance machinery for movement of land belonging to the Provincial Municipality of Canchis Cuzco, is intended to design a preventive maintenance plan in base to the RCM methodology of the different elements that compose the heavy machinery for the Provincial Municipality of Cusco Canchis earth moving, to thus improve its availability and reliability; as specific objectives was the diagnosis of the current state of systems, sub systems and components of the heavy machinery, to determine their functions, functional failures and failure modes, thus it may was able to identify the components more critics, as well as indicate the type of fault, failure mode and frequency that are part of the problem to be solved and thus was prepared proposal of the preventive maintenance plan applying the RCM methodology, that can be applied in the area of maintenance, thus improving their availability and reliability. The area where applied this research is located in Sicuani district, Canchis province in the Department of Cuzco, in the coordinates: latitude:  $14^{\circ} 16'16''$  South, length:  $71^{\circ} 13'44''$  West and an altitude of 3546 meters above the sea level.

Key words: reliability, availability, maintenance, heavy machinery.

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

#### 1.1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Municipalidad Provincial de Canchis - Cuzco y trata del diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para la maquinaria pesada para movimiento de tierra, aplicando el método de Análisis de Modos y Efecto de Falla y el análisis de criticidad enfocado a brindar una guía confiable de los tipos y frecuencias de mantenimiento para dichos equipos, para la mejora del tiempo servicio, que mejoraran la confiabilidad del funcionamiento y la operación.

El tipo de investigación es básica y el nivel de investigación es descriptivo simple, El trabajo de investigación se encuentra dividido en cuatro capítulos.

En el primer capítulo se plantea el objetivo general y los objetivos específicos con lo que se justifica el trabajo de investigación.

El Segundo capítulo es la revisión de la literatura en el que nos muestra los antecedentes que nos apoyaron en el trabajo, información teórica referente a la descripción de la maquinaria como de los diferentes sistemas y subsistemas que la conforman, también acerca de los conceptos, principios y leyes que rigen el mantenimiento basado en la confiabilidad partiendo de ello el Análisis de Modos y Efecto de Falla, criticidad cuya base es el desarrollo del trabajo de tesis.

En el tercer capítulo se describe el procedimiento general de evaluación de diagnóstico actual de los diferentes sistemas y subsistemas que conforman la maquinaria, para posteriormente determinar la criticidad de los equipos, la cual por medio de un



análisis que comienza por la identificación de los elementos y su frecuencia de fallas y demás valoraciones se determina cual es la etapa del proceso que presenta mayor necesidad de análisis que nos refiere los resultados y el diagnóstico final.

En el cuarto capítulo se presenta los cuadros que se aplicó en los diferentes sistemas de las frecuencias de fallas, además se analizó el método AMEF y con la determinación de los elementos críticos de los diferentes subsistemas que presentaron mayor incidencia de fallas y de esta manera se comenzó a detallar las frecuencias de mantenimiento sugeridas por los manuales técnicos de cada equipo y del resultado del análisis de los parámetros de Weibull.

Finalmente se realizó las conclusiones y recomendaciones de acuerdo a los objetivos planteados en el primer capítulo.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Realizar el Diseño de un plan de Mantenimiento Preventivo basado en la metodología RCM para la Maquinaria pesada para movimiento de tierra, de la Municipalidad Provincial de Canchis, mejorando así su disponibilidad y confiabilidad.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de la maquinaria pesada para determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla.
- Identificar los componentes críticos, para determinar la confiabilidad mediante los parámetros característicos de la metodología RCM haciendo uso del historial de fallas.

## CAPITULO II

### REVISIÓN LITERARIA

#### 2.1 MAQUINARIA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS.

Las obras de ingeniería civil han ido incrementándose para cubrir las necesidades de la sociedad, los procesos deben ser mejorados de tal manera que se pueda realizar mayor trabajo en menor tiempo, para lo cual se crea nuevos procedimientos y se requiere de fuerza mecánica a más de la humana. Para poner en práctica proyectos de mayor envergadura, se crearon máquinas para ayudar a la capacidad manual del hombre, y luego equipos completos que seguirán completándose de acuerdo a las nuevas técnicas y necesidades. (LUZ JANNETH MALES ALCOSER, 2007).

#### 2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS PESADOS.

##### 2.2.1 Cargador Frontal Sobre Ruedas

El Cargador Frontal, es un equipo tractor, montado en ruedas, que tiene una cuchara de gran tamaño en su extremo frontal. Los cargadores son equipos de carga, acarreo y eventualmente excavaciones en el caso de acarreo solo se recomienda realizarlo en distancias cortas.

El uso de cargadores da soluciones modernas a un problema de acarreo y carga de materiales, con la finalidad de reducir los costos y aumentar la producción. En el caso de excavaciones con explosivos, la buena movilidad de este le permite moverse fuera de la voladura rápidamente y con seguridad; y antes de que el polvo de la explosión se disipe, el cargador puede estar recogiendo la roca regada y preparándose para la entrega del material.

Los cucharones del cargador frontal varían en tamaño desde 0.19 m<sup>3</sup> hasta modelo de 19.1 m<sup>3</sup> de capacidad, colmado. (AMADOR, 2005).

*Figura 2. 1: Cargador Frontal CAT 938G*



*Fuente: Municipalidad Provincial de Canchis.*

### **2.2.2 Tractor Sobre Orugas**

Máquina para movimiento de tierra con una gran potencia y robustez en su estructura, diseñada especialmente para el trabajo de corte (excavando) y al mismo tiempo empujo con la hoja (transporte). En esta máquina son montados diversos equipos para poder ejecutar su trabajo, además debido a su gran potencia tiene la posibilidad de empujar o apoyar a otras máquinas cuando estas lo necesiten. (AMADOR, 2005).

*Figura 2. 2: Tractor sobre orugas CAT D7G*



*Fuente: Municipalidad Provincial de Canchis*

### **2.2.3 Motoniveladora.**

Otra Máquina muy versátil usada para mover tierra u otro material suelto. Su función principal es nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material en que trabaja. Se considera una máquina de terminación superficial. Su versatilidad está dada por los diferentes movimientos de la hoja y la serie de accesorios que puede tener.

Puede imitar todos los tipos de tractores, pero su diferencia radica en que la motoniveladora es más frágil, ya que no es capaz de aplicar la potencia de movimiento ni la de corte del tractor.

Debido a esto es más utilizada en tareas de acabado o trabajos de precisión. Las motoniveladoras pueden ser arrastradas o automotrices, siendo esta la máquina utilizada y se denomina motoniveladora. (AMADOR, 2005).

*Figura 2. 3: Motoniveladora New Holland RG-200B*



*Fuente: Municipalidad Provincial de Canchis*

#### **2.2.4 Excavadora Sobre Orugas**

Están destinados específicamente para trabajos en minas, construcción y canteras. Tienen un tren de fuerza mecánico. La excavadora hidráulica es frecuentemente usada para la excavación de rocas y tierra, sin embargo, gracias a sus numerosos accesorios también puede ser usada para el rompimiento de concreto, el taladro de hoyos en la tierra, el cimientado de gravilla antes del pavimento, el destrozado de rocas, acero, y concreto, y hasta para acribillar lugares. (AMADOR, 2005).

*Figura 2. 4: Excavadora hidráulica sobre orugas KOMATSU PC350 LC - 8*



*Fuente: Municipalidad Provincial de Canchis.*

### **2.2.5 Minicargador Frontal**

El Mini cargador Frontal, es una máquina de construcción compacta altamente versátil. Está diseñado para proporcionar la productividad y confiabilidad en las condiciones de trabajo más severas. Los Mini cargadores son diseñados, construidos y respaldados para brindar rendimiento y versatilidad excepcionales, así como facilidad de operación, facilidad de servicio. Estos se han desarrollado para satisfacer las necesidades industriales, en lo que respecta a rendimiento, durabilidad y fiabilidad. La combinación altamente versátil de Mini cargadores satisface todas las necesidades de las aplicaciones de construcción, industriales, mineras. (AMADOR, 2005).

Figura 2. 5: Mini cargador New Holland L223



Fuente: Municipalidad de Canchis

## 2.3 DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINARIA

### 2.3.1 Sistemas Comunes de Maquinaria

Los sistemas comunes de la maquinaria móvil son:

- **Sistema o Unidad de Potencia:**

Por lo general la unidad de potencia está constituida por el motor de combustión interna el cual utiliza combustible diésel.

- **Sistema o Unidad de Transmisión:**

A todos los elementos que intervienen en el acto de transmitir la fuerza proporcionada por el motor hasta las ruedas motrices que han de arrastrar el vehículo se denomina unidad de transmisión, los elementos que conforman esta unidad son los siguientes: embrague, caja de cambios manual, mecanismo cónico

o mando final, convertidor de par, caja de cambios automática, mecanismo cónico o mando final.

- **Sistema o Unidad de Locomoción:**

Dentro de la maquinaria móvil se puede tener las que utilizan para su desplazamiento neumáticos y otras que constan de un sistema llamado tren de rodaje, los cuales son elementos de desgaste que debe ser inspeccionados, mantenidos o cambiados cada determinado tiempo. Por lo que la unidad de locomoción se divide en neumáticos y tren de rodaje.

- **Sistema Hidráulico:**

Los sistemas hidráulicos de las máquinas tienen una base teórica que se fundamenta en las leyes de los fluidos, este sistema consta de: bombas, válvulas, líneas de trabajo, actuadores lineales y rotatorios.

- **Sistema Eléctrico:**

Toda maquinaria consta de un sistema eléctrico el cual facilita muchas operaciones, consta de: baterías, alternador, motor de arranque, sensores.

- **Sistema de Frenos:**

Se equipa al vehículo con una serie de mecanismos que se encarga de disminuir la velocidad del equipo o detenerlo por completo permitiendo realizarlo en las mejores condiciones de seguridad, tiempo y distancias mínimas, conservando la trayectoria del vehículo, con una frenada proporcional al esfuerzo del conductor, este sistema consta de los siguientes elementos: forros, cilindros, cañerías del sistema de neumáticos, discos, pastillas, retardador.



- **Sistema de Suspensión:**

Se llama suspensión al conjunto de elementos elásticos que se interponen entre los órganos suspendidos (bastidor, carrocería, pasajeros y carga) y los órganos no suspendidos (ruedas y ejes).

Su misión es absorber las reacciones producidas en las ruedas por las desigualdades del terreno, asegurando así la comodidad del conductor del vehículo y, al mismo tiempo, mantener la estabilidad del mismo, este sistema es conformado por: muelles, barras, almohadillas.

- **Sistema de Carrocería.**

Chasis es la armazón que sostiene a toda la máquina, en la actualidad son calculados por métodos de elementos finitos en la cual se consigue el peso ideal de este elemento.

Dependiendo de la máquina que se trate la configuración puede ser más o menos rígida para que pueda soportar todos los componentes que intervienen en la máquina, este sistema está conformado por: chasis, protecciones, bastidor. (ALCOSER, 2007)

### **2.3.1.1 Motor.**

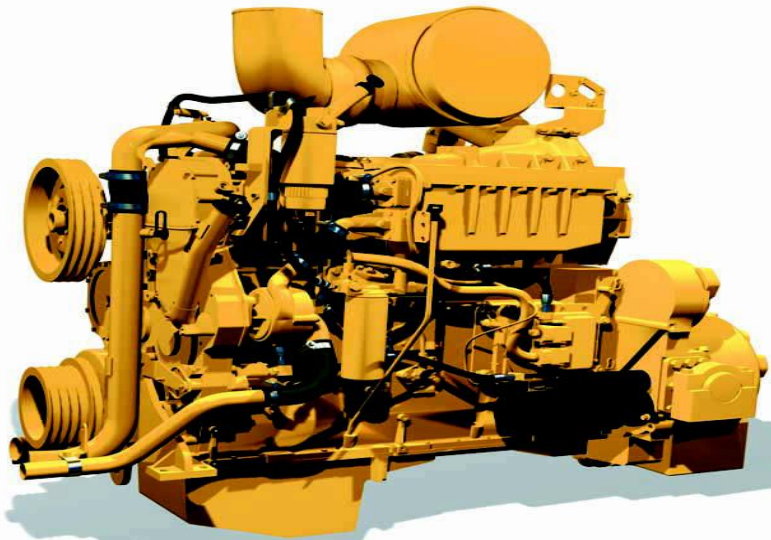
El motor es la unidad que provee la potencia necesaria para que la máquina pueda funcionar y hacer el trabajo para el cual fue diseñado. El motor es una máquina de combustión interna; en lo que respecta específicamente al motor Diésel, su ignición es por compresión. El combustible se quema dentro del cilindro y al expandirse los productos gaseosos de la combustión, hacen posible que el pistón se mueva dentro del cilindro del punto muerto superior al inferior, y como está unido a la biela y ésta a un eje

cigüeñal, el movimiento vertical obtenido queda transformado en un movimiento giratorio, que es el que se utiliza para producir trabajo. Entonces se dice que el motor es una máquina que transforma la energía térmica en energía mecánica.

Naturalmente, al estar trabajando un motor, hay muchas piezas que están en movimiento continuo unas con otras y que necesariamente tienen que lubricarse constantemente para minimizar el desgaste.

Los motores generalmente tienen cuatro o más cilindros conectados, de tal manera que cada uno proporcione una carrera durante un ciclo completo del motor. Los cilindros forman parte del bloque, que es un bastidor de metal fundido; la parte superior, que contiene las válvulas, se llama culata o cabeza y la parte inferior se llama propiamente bloque. (ALCOSER, 2007).

*Figura 2. 6: Motor*



*Fuente: Manual Caterpillar*

### **2.3.2 Transmisión**

Se le da el nombre de transmisión a todos aquellos elementos que intervienen en el acto de transmitir la fuerza proporcionada por el motor hasta las ruedas motrices que han de arrastrar el vehículo.

Los elementos que comprenden la transmisión son los siguientes:

- Embrague
- Caja manual de velocidades
- Junta universal
- Puentes
- Grupos cónicos
- Ruedas motrices.

Pueden tener la siguiente distribución.

- Convertidor de par
- Caja automática de velocidades
- Junta universal
- Mandos finales
- Ruedas motrices.

Estas distribuciones también son conocidas como tren de impulsión, y si a este le sumamos el motor se llama tren de fuerza.

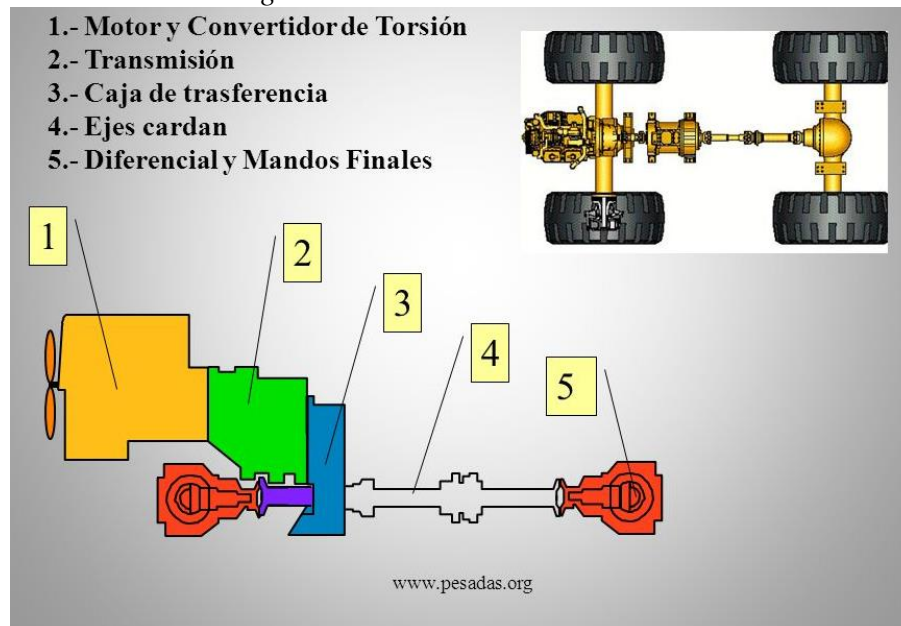
El tren de impulsión tiene un solo propósito: transferir potencia del motor al suelo.

Los componentes de la transmisión y mandos finales trabajan juntos para que esto suceda.

La transmisión toma la potencia del motor y la manipula para controlar la velocidad, el sentido de la marcha y el par de motor. Los mandos finales reducen la velocidad y aumentan el par motor.

Cada máquina tiene un tren de impulsión diferente, así por ejemplo los trenes de impulsión de un cargador frontal de llantas, tractor y vehículo de tracción trasera.

Figura 2. 7: Sistema de transmisión

Fuente: [www.pesadas.org](http://www.pesadas.org)

### 2.3.3 Medios de Locomoción

#### 2.3.3.1 Tren de Rodaje

Los tractores, cargadores de oruga (trascavators), excavadoras, perforadoras (track drill), etc. Son maquinarias que para su desplazamiento utilizan un sistema llamado tren de rodaje, los cuales son un elemento de desgaste que debe ser inspeccionado, mantenido o cambiado cada determinado tiempo, representa una alta inversión, hasta el 20% del precio de una máquina de cadenas. El tren de rodaje puede representar hasta un 50% de los costos de mantenimiento de la máquina.

Las Cadenas o transito: utilizadas para terrenos inestables de topografía accidentada Presentan mayor tracción en el suelo, pero menor velocidad de desplazamiento

Un claro ejemplo de maquinaria que se desplaza por medio de cadenas o de transito son los tractores bulldozer. Dentro de los bulldozer o tractores tenemos los tipos de locomoción por medio de cadenas o tránsitos (orugas).

### 2.3.3.2 Elementos Constituyentes del Tren de Rodaje

El tren de rodaje está constituido por los siguientes elementos:

Cadena (eslabones, pasadores y bujes), rodillos, ruedas guías, ruedas motrices, zapatas, tornillería, eslabón maestro.

Las ruedas motrices, de toda la cadena pueden estar compuestas de una sola pieza o tratarse simplemente de una rueda con agujeros en su periferia, en donde se atornilla distintos segmentos con forma de piñón sobre los que se desliza la cadena.

La rueda guía está compuesta normalmente de chapa soldada y tiene también gran resistencia a la abrasión, y es, como la rueda motriz endurecida por inducción o por tratamiento térmico en su superficie.

Los rodillos de apoyo inferiores, en número que oscila de 4 a 7, son metálicos contruidos con un rodamiento interior o casquillos de bronce o de otro metal, con gran facilidad de deslizamiento, y sumergidos en un baño de aceite, protegidos por un sello eficaz.

Los rodillos superiores tienen una constitución similar a los de apoyo, aunque su trabajo es menor y se dispone en número de 1 o 2 en los modelos más usuales de los tractores.

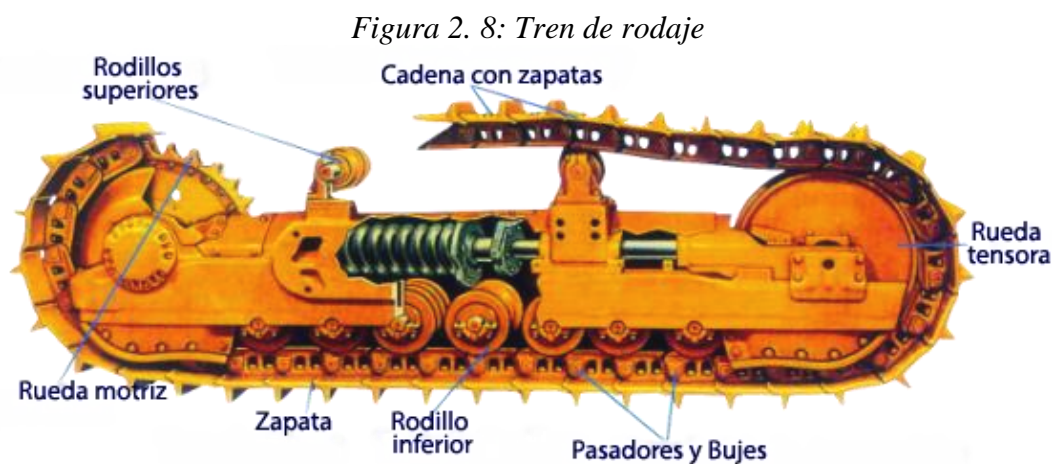
Los eslabones forman las piezas elementales de la cadena y aunque los de una cadena son similares a los de otra, no son idénticos.

Los eslabones se unen entre sí por los casquillos, que entran suficientemente ajustados en ambos eslabones, derecho e izquierdo, del mismo lado de la cadena, constituyendo el núcleo elemental de la misma.

Los bulones pasan por el interior de los casquillos con una cierta holgura que permite su giro, quedando fijados también a presión, por elementos protectores, en la parte exterior de los eslabones; el sellado de la cavidad entre casquillos y bulón se consigue por medio de ingeniosos dispositivos de arandelas, a presión, en la mayoría de los casos.

Las tejas o zapatas son el elemento de contacto del tren de rodaje de orugas con la tierra, roca o elemento de sustentación; tiene diversas formas, según sea para fuerte penetración, gran flotabilidad, hielo, palas, cargadoras frontales, etc.

Las zapatas van fijadas a los eslabones mediante tornillos de alta resistencia (estampados en la mayor parte de los casos) que no necesitan reapretado especial durante toda la vida de la máquina.



*Fuente: Manual Caterpillar*

Existen Como podemos ver claramente las cadenas famosamente conocidas como orugas, son de muchísima ventaja para la utilización puesto que al presentar mayor tracción sobre las ruedas de tránsito, estas favorecen la potencia de empuje del motor, este tipo de cadenas los podemos ver en diversas variantes de maquinaria pesada. (ALCOSER, 2007)

### 2.3.3.3 Neumáticos

Generalmente utilizada para terrenos firmes de topografía sensiblemente plana, presentan menor tracción en el suelo y una mayor velocidad de desplazamiento.

#### **Materiales Constitutivos de un Neumático**

Los materiales que conforman el neumático son los siguientes:

- Textiles: Cuerdas de Nylon para la carcasa de la llanta Caucho natural y sintético: Para mezclar y producir compuestos de bandas de rodamiento, costados y recubrimientos de las piezas.
- Productos Químicos: Negro de humo, aceites, acelerantes y demás químicos que se combinan para dar la resistencia y características especiales a cada mezcla.
- Productos de acero: Para la construcción de pestañas. (ALCOSER, 2007).

*Figura 2. 9: Neumáticos*



*Fuente: Manual Caterpillar*

#### **2.3.4 Sistema Hidráulico**

Todas las máquinas de movimiento de tierras actuales, en mayor o menor medida, utilizan los sistemas hidráulicos para su funcionamiento; de ahí la importancia que estos tienen en la configuración de los equipos y en su funcionamiento.

Un sistema hidráulico constituye un método relativamente simple de aplicar grandes fuerzas que se pueden regular y dirigir de la forma más conveniente.

Otras de las características de los sistemas hidráulicos son su confiabilidad y su simplicidad. Todo sistema hidráulico consta de unos cuantos componentes relativamente simples y su funcionamiento es fácil de entender.

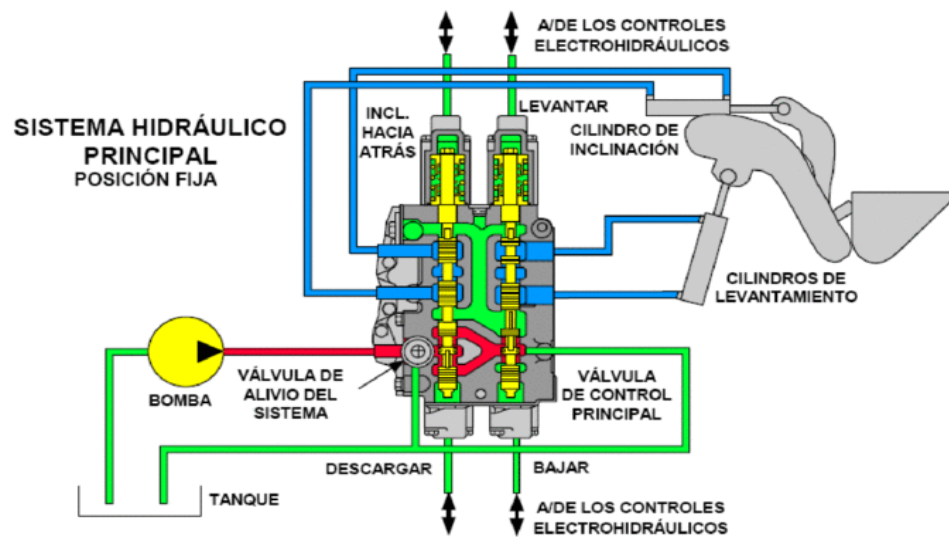
#### **2.3.5 Componentes del Sistema Hidráulico**

Los elementos que son necesarios para que un sistema hidráulico funcione son los siguientes:

- Tanque de almacenamiento de aceite,
- Fluido hidráulico (aceite),
- Líneas de conexión,
- Válvulas,
- Bombas
- Actuadores.
- Filtros hidráulicos.



Figura 2. 10: Sistema Hidráulico



Fuente: <https://docslide.com.br/ASETEC-GROUP>

### 2.3.5.1 Bombas Hidráulicas

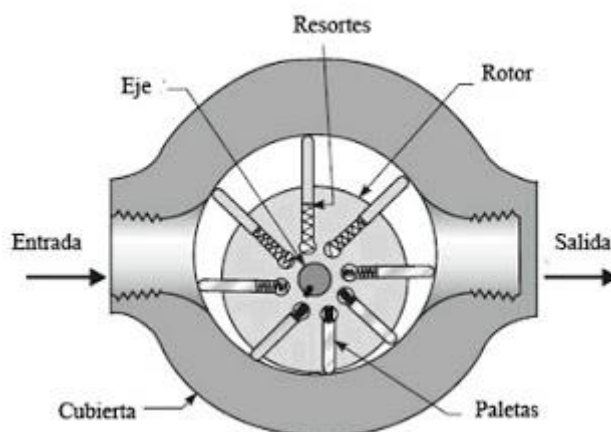
En todo sistema hidráulico, es necesario que exista un grupo de presión, que genere la energía necesaria para mover los vástagos de los cilindros o los ejes de los actuadores rotativos de los componentes que realizan el trabajo. El elemento fundamental en esos grupos es la bomba, capaz de elevar la presión del fluido hidráulico y enviar el caudal a los mencionados dispositivos consumidores.

Teniendo en cuenta las presiones de trabajo, se han considerado como circuitos:

- Baja presión a los que funcionan con presiones de hasta 70 bares.
- Media presión a los que funcionan entre los 70 bar y los 180 bar y
- Alta presión a los circuitos que funcionan con presiones superiores a los 180 bares.

(Serrano, 2002).

Figura 2. 11: Bomba Hidráulica



Fuente: <http://industrial-automatica.blogspot.com>

### 2.3.5.2 Cilindros Hidráulicos

Los cilindros son los componentes de trabajo de los circuitos hidráulicos, que se utilizan con mayor frecuencia en las máquinas o mecanismos. Mediante el caudal de aceite y la presión que proporcionan las bombas, desarrollan el trabajo a través de un movimiento rectilíneo de avance y retroceso que tiene lugar de forma repentina en las diferentes fases de un ciclo.

Los vástagos de los cilindros hidráulicos están fabricados de acero y recubrimiento duro con una superficie lo menos rugosa posible por lo que generalmente se utiliza el cromo. (ALCOSER, 2007)

Figura 2. 12: Cilindro Hidráulico



Fuente: <https://yapo.cl>

### 2.3.5.3 Válvulas Direccionales

Las válvulas direccionales, como su nombre lo indican, se usan para controlar la dirección del caudal. Aunque todas realizan esta función, las válvulas direccionales varían considerablemente en construcción y funcionamiento. Se clasifican, según sus características principales en:

- Tipo de elemento interno. Obturador (pistón o esfera), corredera rotativa o deslizante.
- Métodos de actuación. Levas, émbolos, palancas manuales, mecánicas, solenoides eléctricos.
- Número de vías: dos vías, tres vías, cuatro vías, etc.
- Tamaño nominal de las tuberías conectadas a la válvula o a su placa base.
- Conexiones. Roscas cónicas, roscas cilíndricas, bridas y placas bases.

(ALCOSER, 2007)

### 2.3.6 Sistema Eléctrico

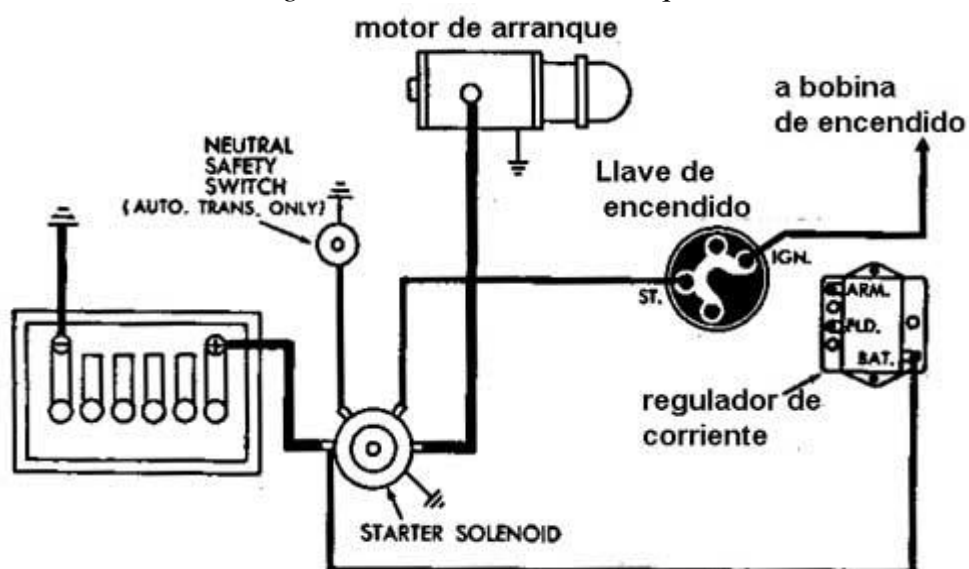
Es un conjunto de dispositivos cuya función es proveer la energía necesaria para el arranque y correcto funcionamiento de los accesorios eléctricos tales como luces, electrodomésticos y diversos instrumentos. Cuando los expertos diseñan un sistema eléctrico lo hacen pensando en cómo proveer energía aun en las peores condiciones de operación; los sistemas de 12 volts son los más tradicionales y, a su vez, los menos costosos, los de 24 volts se consideran los más eficientes.

En la actualidad los sistemas eléctricos de las maquinas han evolucionado tremendamente comparados con los existentes hace relativamente poco tiempo.

La introducción de la electrónica en ellos hace que cada nuevo modelo que sale al mercado suponga la introducción de nuevos componentes y nuevas funciones.

Las funciones básicas del sistema eléctrico comienzan nada más arrancar la máquina. Consisten en suministrar la energía necesaria para arrancar el motor, utilizar luces, accesorios eléctricos, instrumentos, indicadores etc. Los componentes electrónicos que forman parte del sistema eléctrico sirven en su mayoría para efectuar un control más fino de los distintos componentes como la inyección del motor, control de cambios de la servo transmisión, control de las funciones hidráulicas, etc., y todo ello de una forma que permite el ajuste o modificación de los parámetros de funcionamiento, de manera que la máquina se adapte en cada momento a las condiciones en que trabaja, de una forma automática.

Figura 2. 13: Sistema de Arranque



Fuente: Manual Caterpillar

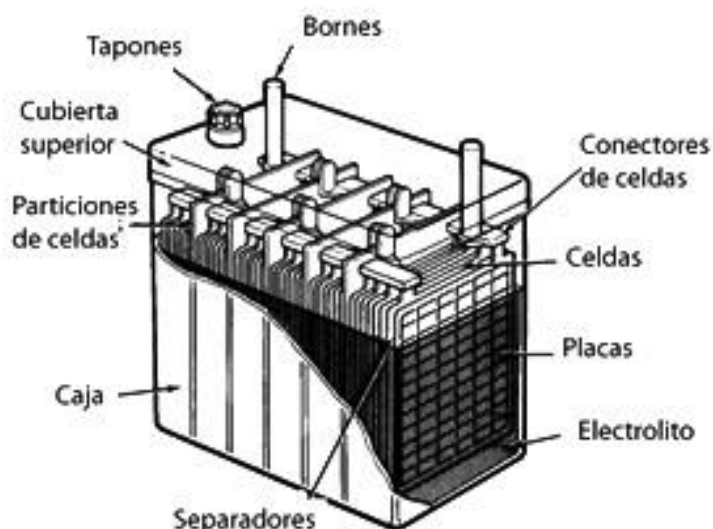
### 2.3.6.1 La Batería

Es la encargada de mantener una reserva de corriente para hacer funcionar el arranque y los accesorios mientras la máquina está parada. También actúa de reserva cuando el generador no es suficiente porque el consumo eléctrico momentáneo supere su

capacidad de producir corriente, y estabiliza el sistema absorbiendo las cargas puntuales que se producen cuando se enciende o apaga algún componente de fuerte consumo.

Normalmente suelen ser de plomo y ácido. El almacenamiento de la energía se hace de forma química y la potencia la da en forma de electricidad.

*Figura 2. 14: Batería*

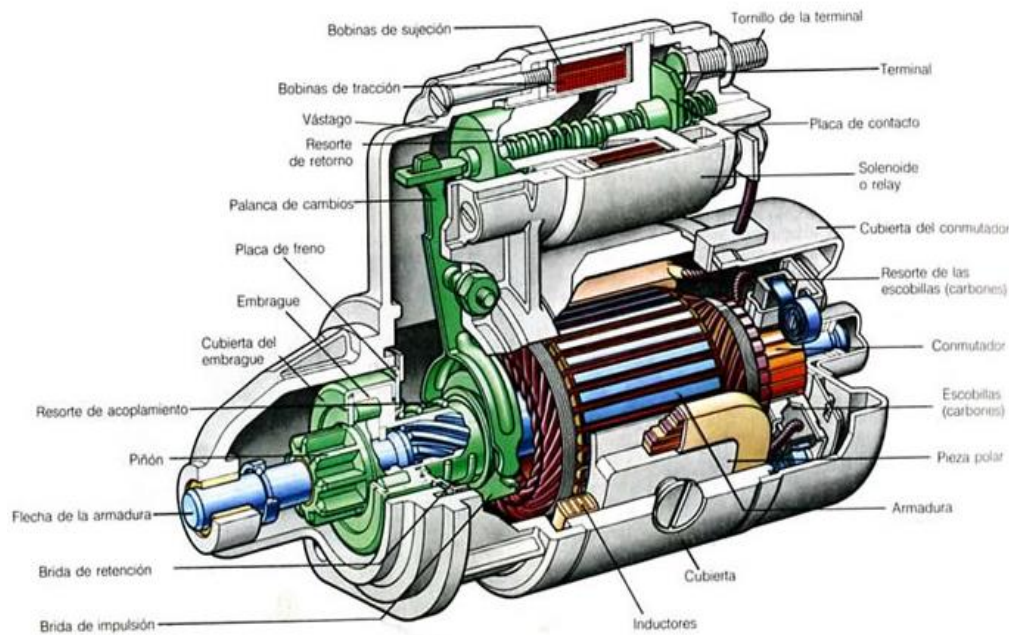


*Fuente. Unapartepormillon.com*

### **2.3.6.2 El Motor de Arranque**

Va montado en la carcasa del volante del motor de manera que, mediante una corona dentada, al accionar la llave de encendido hace girar el cigüeñal del motor para que comience el ciclo de combustión. Lleva incorporado un relé que tiene la función doble de desplazar el piñón del arranque para que engrane con la corona y a la vez cierra el circuito de potencia que hace girar el arranque. El motor de arranque no requiere mantenimiento habitualmente, únicamente es conveniente revisarlo cuando el motor diésel necesite a su vez una reconstrucción, teniendo en cuenta revisar la corona del volante del motor diésel y sustituyendo los elementos del motor de arranque que estén gastados por el uso, como casquillos, contactos del relé, escobillas, etc.

Figura 2. 15: Motor de Arranque



Fuente: Partesdel.com

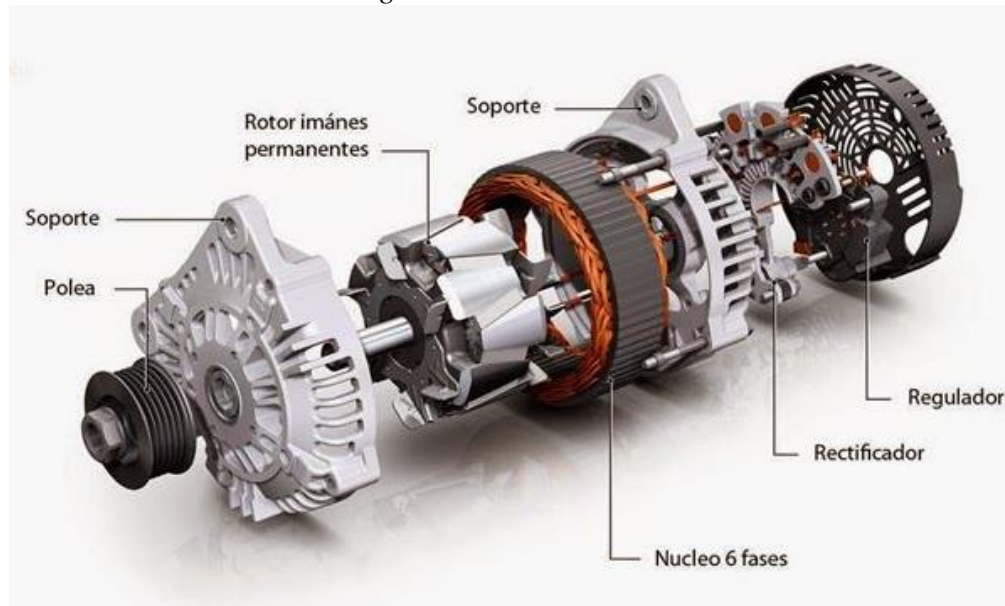
### 2.3.6.3 El Alternador

Es un elemento fundamental entre los componentes de un motor y tiene dos funciones fundamentales, la primera recargar la batería y dejarla en condiciones de efectuar un nuevo arranque del motor térmico en cuanto sea preciso y la segunda alimentar de corriente eléctrica los componentes auxiliares del motor térmico así como el alumbrado, sensores, indicadores, etc.

Antiguamente se usaba una dinamo de corriente continua para estas funciones, actualmente los componentes electrónicos hacen más sencillo y barato usar un alternador para esta labor, el alternador produce más corriente con un tamaño menor de componentes y necesita menos revoluciones de motor para hacerlo.

El alternador es una máquina síncrona que genera corriente alterna la cual se rectifica mediante unos diodos para así alimentar la batería y el resto de componentes con una tensión de 14 voltios para turismos y 28 voltios para vehículos industriales y máquinas grandes.

Figura 2. 16: Alternador



Fuente: Pinterest.

### 2.3.7 Sistema de Frenos

La finalidad de los frenos en un vehículo es la de conseguir detener o maniobrar la marcha del mismo (deceleración) en las condiciones que determine su conductor, para ello, la energía cinética que desarrolla el vehículo tiene que ser absorbida, en su totalidad o en parte, por medio de rozamiento.

Para ello se equipa al vehículo con una serie de mecanismos que se encarga de conseguirlo permitiendo realizarlo en las mejores condiciones de seguridad, tiempo y distancia mínimos, conservación de la trayectoria del vehículo, con una frenada proporcional al esfuerzo del conductor, en diversas condiciones de carga, etc. Se debe tener en cuenta que, si el proceso de frenado se realiza bruscamente, las ruedas se bloquean y se desplazan sin girar, provocando una pérdida de adherencia y por lo tanto se producirá un derrape.

Los mecanismos de freno de las ruedas se clasifican en:

- Frenos de tambor

- Frenos de disco.

Los primeros son más utilizados en camiones pesados (capacidad mayor a 7 toneladas), aunque los camiones modernos empiezan a introducir el freno de disco para todas las ruedas.

Para un mejor rendimiento y efectividad en la acción del frenado en todas las condiciones de funcionamiento (frenados consecutivos, alta velocidad, etc.) los frenos de las ruedas deben satisfacer diferentes características. (ALCOSER, 2007).

### **2.3.7.1 Frenos de Tambor**

El freno de tambor es todavía el más utilizado en camiones pasados, y sus partes son:

- El tambor
- Las mordazas
- El actuador
- Los muelles de retorno
- El mecanismo de recuperación de juego.

El tambor metálico gira con la rueda y contiene una pista de rozamiento en su interior. En el eje, y fijas a un plato, se encuentran dos mordazas que constituyen el elemento fijo. Las mordazas están cubiertas de material de fricción en la zona de contacto con el tambor.

Un actuador, que puede ser de diversos tipos, provoca, a la demanda del conductor, un esfuerzo que separa las mordazas de freno. El desplazamiento de las mordazas, al entrar en contacto con el tambor, produce el frenado del vehículo.

La recuperación de las mordazas se efectúa por medio de muelles.

El movimiento del tambor tiene tendencia a arrastrar a las mordazas. La mordaza que se encuentra en la parte delantera del tambor se llama mordaza primaria, dado que el



arrastre de tambor hace que se acüñe contra el mismo aumentando el rozamiento y por tanto la frenada.

Por el contrario, la mordaza secundaria (la situada en la parte trasera) tendrá tendencia a ejercer menor presión sobre el tambor, debido a esto la guarnición secundaria es más corta.

Sin embargo, este sistema tiene algunos inconvenientes: desgastes desiguales, esfuerzos desproporcionados, aumentos de recorrido para el sistema de mando, etc.

Para remediarlo se han utilizado varias soluciones para los montajes de freno de tambor.

*Figura 2. 17: Freno de tambor*



*Fuente: Mecánica Virtual*

### 2.3.7.2 Frenos de Disco

Los frenos de disco se utilizan en ejes delanteros de camiones, aunque últimamente se introducen en algunas marcas de manera integral (es decir en todos los ejes).

Las partes de la que consta un sistema de frenos de disco son:

- El disco

- La pinza
- El actuador de recuperación de juego
- Las pastillas.

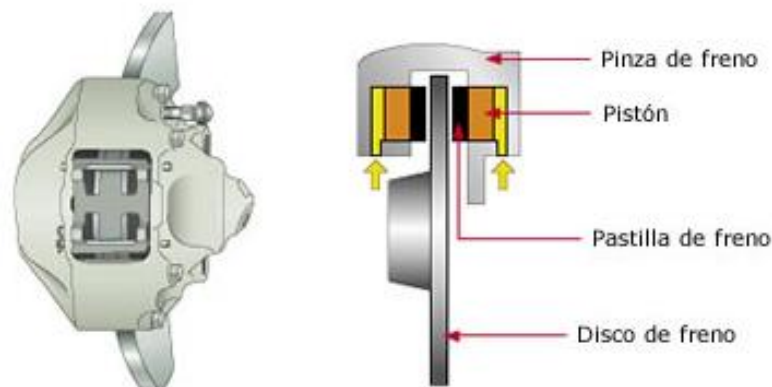
El disco metálico gira con la rueda y ofrece dos caras de rozamiento por su exterior.

La pinza es un soporte fijo al eje, y más concretamente a la mangueta, que contiene el actuador y las pastillas de freno.

Un actuador, que puede ser de diversos tipos, provoca, a la demanda del conductor, un esfuerzo que junta las pastillas de freno.

El desplazamiento de las pastillas (una a cada lado del disco) provoca, al entrar en contacto con el disco, el frenado del vehículo. La recuperación de las pastillas se hace fundamentalmente por la elasticidad de las mismas. (ALCOSER, 2007)

*Figura 2. 18: Freno de disco*



*Fuente: Mecánica Virtual*

## 2.4 MANTENIMIENTO

### 2.4.1 Historia y Evolución del Mantenimiento

Desde el principio de los tiempos, el Hombre siempre ha sentido la necesidad de mantener su equipo, aún las más rudimentarias herramientas o aparatos. La mayoría de

las fallas que se experimentaban eran el resultado del abuso y esto sigue sucediendo en la actualidad. Al principio solo se hacía mantenimiento cuando ya era imposible seguir usando el equipo. A eso se le llamaba "Mantenimiento de Ruptura o Reactivo"

Fue hasta 1950 que un grupo de ingenieros japoneses iniciaron un nuevo concepto en mantenimiento que simplemente seguía las recomendaciones de los fabricantes de equipo acerca de los cuidados que se debían tener en la operación y mantenimiento de máquinas y sus dispositivos.

Esta nueva tendencia se llamó "Mantenimiento Preventivo". Como resultado, los gerentes de planta se interesaron en hacer que sus supervisores, mecánicos, electricistas y otros técnicos, desarrollaran programas para lubricar y hacer observaciones clave para prevenir daños al equipo. Aun cuando ayudó a reducir pérdidas de tiempo, el Mantenimiento Preventivo era una alternativa costosa. La razón: Muchas partes se reemplazaban basándose en el tiempo de operación, mientras podían haber durado más tiempo. También se aplicaban demasiadas horas de labor innecesariamente.

Los tiempos y necesidades cambiaron, en 1960 nuevos conceptos se establecieron, "Mantenimiento Productivo" fue la nueva tendencia que determinaba una perspectiva más profesional. Se asignaron más altas responsabilidades a la gente relacionada con el mantenimiento y se hacían consideraciones acerca de la confiabilidad y el diseño del equipo y de la planta. Fue un cambio profundo y se generó el término de "Ingeniería de la Planta" en vez de "Mantenimiento", las tareas a realizar incluían un más alto nivel de conocimiento de la confiabilidad de cada elemento de las máquinas y las instalaciones en general.

Diez años después, tomó lugar la globalización del mercado creando nuevas y más fuertes necesidades de excelencia en todas las actividades. Los estándares de "Clase

Mundial" en términos de mantenimiento del equipo se comprendieron y un sistema más dinámico tomó lugar. TPM es un concepto de mejoramiento continuo que ha probado ser efectivo.

Primero en Japón y luego de vuelta a América (donde el concepto fue inicialmente concebido, según algunos historiadores). Se trata de participación e involucramiento de todos y cada uno de los miembros de la organización hacia la optimización de cada máquina.

Esta era una filosofía completamente nueva con un planteamiento diferente y que se mantendrá constantemente al día por su propia esencia. Implica un mejoramiento continuo en todos los aspectos y se le denominó TPM. Tal como lo vimos en la definición, TPM son las siglas en inglés de "Mantenimiento Productivo Total", también se puede considerar como "Mantenimiento de Participación Total" o "Mantenimiento Total de la Productividad".

El propósito es transformar la actitud de todos los miembros de la comunidad industrial.

Toda clase y nivel de trabajadores, operadores, supervisores, ingenieros, administradores, quedan incluidos en esta gran responsabilidad. La "Implementación de TPM" es un objetivo que todos compartimos. También genera beneficios para todos nosotros.

Mediante este esfuerzo, todos nos hacemos responsables de la conservación del equipo, el cual se vuelve más productivo, seguro y fácil de operar, aún su aspecto es mucho mejor. La participación de gente que no está familiarizada con el equipo enriquece los resultados pues en muchos casos ellos ven detalles que pasan desapercibidos para quienes vivimos con el equipo todos los días. (Chinchay, 2010)

## 2.4.2 Unidad de Mantenimiento

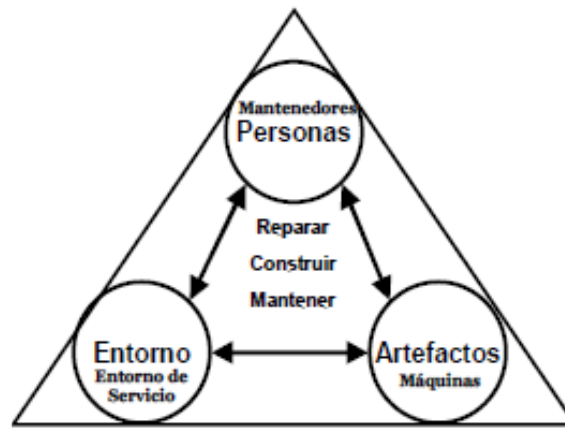
El enfoque sistémico puro de mantenimiento admite el reconocimiento de tres elementos fundamentales:

Mantenedores (Personas), máquinas o equipos industriales o de operación (Artefactos) y sitios físicos donde se prestan los servicios de mantenimiento (Entorno).

Para poder hallar la función básica de un sistema de mantenimiento es posible utilizar la definición de ingeniería que se describe en la Clasificación Internacional Uniforme de Ocupaciones de la Oficina Internacional del Trabajo, donde enuncia que algunas de las funciones de los arquitectos, ingenieros y afines son: construcción, reparación y mantenimiento de edificios, obras públicas, etc. Y en especial de aplicaciones industriales como máquinas y equipos, entre otras (CIUO-88- OIT, 1991,59); el mantenimiento es una ciencia que se aplica en elementos, máquinas o sistemas productivos generados por el ser humano, donde su fin es preservar los equipos industriales mediante su construcción, reparación o mantenimiento.

El mantenimiento y la reparación son partes esenciales del objeto de estudio en ingeniería de fábricas, entendiéndose la función de mantenimiento dependiente del ciclo de vida de las máquinas en sus tres etapas y la función de reparación como una especie de mantenimiento especializado en un estado de uso (o abuso) más avanzado del equipo, es decir con una mantenibilidad más reducida. (Gutiérrez, 2005).

Figura 2. 19: Unidad elemental de mantenimiento

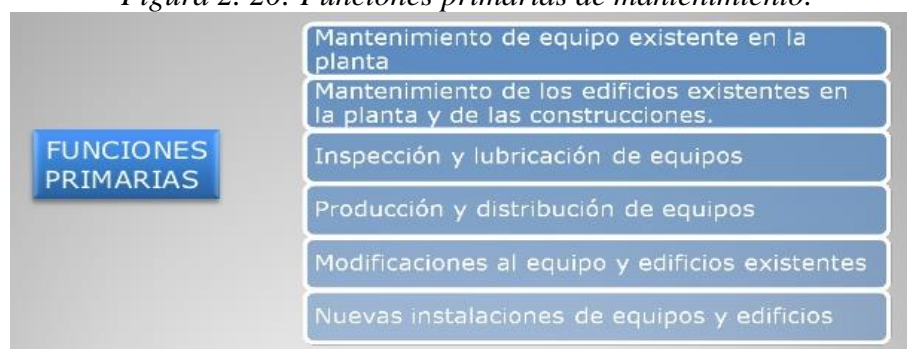


Fuente: (Gutiérrez, 2005).

La construcción figura como elemento estructural en el esquema sugerido por el Autor Rey Sacristán para comprender el marco del mantenimiento tero tecnológico (Husband, 1976) (Darnell y otro, 1975) (Thompson, 1980), donde los usuarios (AOD53), los constructores, compradores y demás entidades o personas relacionadas con el cuerpo o la función de equipos industriales son vitales en el diseño de esquemas de gestión de mantenimiento (Rey, 1996).

El mantenimiento y la reparación son partes esenciales del objeto de estudio en ingeniería de fábricas, entendiéndose la función de mantenimiento dependiente del ciclo de vida de las máquinas en sus tres etapas (mantenimiento, reparación o sustitución) y la función de reparación como una especie de mantenimiento especializado en un estado de uso (o abuso) más avanzado del equipo, es decir con una mantenibilidad<sup>54</sup> más reducida.

Figura 2. 20: Funciones primarias de mantenimiento.



Fuente: (Gutiérrez, 2005).

## 2.5 TIPOS DE MANTENIMIENTO

### 2.5.1 Mantenimiento Correctivo

Se entiende por mantenimiento correctivo la corrección de las averías o fallas, cuando éstas se presentan. Es la habitual reparación tras una avería que obligó a detener la instalación o máquina afectada por el fallo.

Históricamente, el mantenimiento nace como servicio a la producción. Lo que se denomina Primera Generación del Mantenimiento cubre el periodo que se extiende desde el inicio de la revolución industrial hasta la Primera Guerra Mundial. En estos días la industria no estaba altamente mecanizada, por lo que el tiempo de paro de máquina no era de mayor importancia. Esto significaba que la prevención de las fallas en los equipos no era una prioridad para la mayoría de los gerentes.

A su vez, la mayoría de los equipos eran simples, y una gran cantidad estaba sobredimensionada. Esto hacía que fueran fiables y fáciles de reparar. Como resultado no había necesidad de un mantenimiento sistematizado más allá de limpieza y lubricación, y por ello la base del mantenimiento era puramente correctiva.

Las posteriores generaciones del mantenimiento trajeron el preventivo sistemático, el predictivo, el proactivo, el mantenimiento basado en fiabilidad, etc. Y aun así, una buena parte de las empresas basan su mantenimiento exclusivamente en la reparación de averías que surgen, e incluso algunas importantes empresas sostienen que esta forma de actuar es la más rentable. En otras muchas, las tareas correctivas suponen un alto porcentaje de su actividad y son muy pocas las empresas que han planteado como objetivo reducir a cero este tipo de tareas (objetivo cero averías) y muchas menos las que lo han conseguido. (Garrido, 2009)

### **2.5.2 Mantenimiento Correctivo: Programado y No Programado**

Existen dos formas diferenciadas de mantenimiento correctivo: el programado y no programado. La diferencia entre ambos radica en que mientras el no programado supone la reparación de la falla inmediatamente después de presentarse, el mantenimiento correctivo programado o planificado supone la corrección de la falla cuando se cuenta con el personal, las herramientas, la información y los materiales necesarios y además el momento de realizar la reparación se adapta a las necesidades de producción. La decisión entre corregir un fallo de forma planificada o de forma inmediata suele marcarla la importancia del equipo en el sistema productivo: si la avería supone la parada inmediata de un equipo necesario, la reparación comienza sin una planificación previa. Si en cambio, puede mantenerse el equipo o la instalación operativa aún con ese fallo presente, puede posponerse la reparación hasta que llegue el momento más adecuado.

La distinción entre correctivo programado y correctivo no programado afecta en primer lugar a la producción. No tiene la misma afección el plan de producción si la parada es inmediata y sorpresiva que si se tiene cierto tiempo para reaccionar. Por tanto, mientras el correctivo no programado es claramente una situación indeseable desde el punto de vista de la producción, los compromisos con clientes y los ingresos, el correctivo programado es menos agresivo con todos ellos.

En segundo lugar, afecta a un indicador llamado 'Fiabilidad'. Este indicador, del que se hablará en el apartado 16.4.38 Garantías, no incluye las paradas planificadas (en general, las que se pueden programar con más de 48 horas de antelación). (Garrido, 2009)

### **2.5.3 El Mantenimiento Preventivo.**

El mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos con



el fin de detectar condiciones y estados inadecuados de esos elementos que puedan ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de máquinas, equipos o instalaciones, y realizar en forma permanente el cuidado de mantenimiento adecuado de la planta para evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están en estado inicial de desarrollo. (Álvarez, 2004)

En algunos casos, vale la pena sustituir un dispositivo que funciona antes de que falle. En general, el motivo por el que se sustituye un dispositivo que funciona es que el coste de hacerlo es pequeño en comparación con el coste de responder a un fallo que ocurra durante el funcionamiento del dispositivo, un fallo en el campo. Históricamente, se han definido dos tipos de políticas de mantenimiento preventivo. Se designan como «sustitución por edad» y «sustitución en bloque». Ambas pueden ser analizadas utilizando los conceptos de procesos de renovación desarrollados anteriormente. Más recientemente, se ha hecho la distinción entre una «reparación mínima», en la que un dispositivo que ha fallado se pone de nuevo en funcionamiento sin que ello modifique el riesgo, y una reparación completa que resulta en una función de riesgo correspondiente a un nuevo dispositivo. Los nuevos resultados relativos a la reparación mínima y a varios otros (Nachlas, 1995)

El objetivo del mantenimiento preventivo es aumentar al máximo la disponibilidad y confiabilidad del equipo llevando a cabo un mantenimiento planeado, basado en las inspecciones planificadas y programadas de los posibles puntos a falla. (Álvares, 2004).

Es el conjunto de tareas de mantenimiento programadas que siguen un orden sistemático en un período de tiempo establecido y que tienen la finalidad de evitar fallos

repentinos, paradas de producción inesperadas y mejorar la confiabilidad del equipo. Este tipo de mantenimiento incluye actividades como:

Inspecciones rutinarias. Se realizan inspecciones al equipo importante de la planta para determinar si está funcionando correctamente y determinar si es necesaria o no la intervención.

Reemplazo de piezas y Reparaciones programadas. Después de cierto período de tiempo de operación, es necesario cambiar componentes de la maquinaria y hacer reparaciones para garantizar un buen desempeño de la misma.

Overhaul. Es una reparación mayor que se realiza con la finalidad de regresar al equipo, lo más cerca posible, a las condiciones originales de operación.

#### **2.5.4 Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza.

La técnica está basada en el hecho que la mayoría de las partes de la máquina darán un tipo de aviso antes de que fallen. Para percibir los síntomas con que la máquina nos está advirtiendo requiere varias pruebas no destructivas, tal como análisis de aceite, análisis de desgaste de partículas, análisis de vibraciones y medición de temperaturas.

El uso de estas técnicas, para determinar el estado de la máquina dará como resultado un mantenimiento mucho más eficiente, en comparación con los tipos de mantenimiento anteriores.

El mantenimiento predictivo permite que la gerencia de la planta tenga el control de las máquinas y de los programas de mantenimiento y no al revés. En una planta donde se usa el mantenimiento predictivo el estado general de las máquinas esta conocido en cualquier momento y una planificación más precisa será posible.

El mantenimiento predictivo usa varias disciplinas. La más importante de estas es el análisis periódico de vibraciones. Se ha demostrado varias veces que de todas las pruebas no destructivas, que se pueden llevar a cabo en una máquina, la firma de vibraciones proporciona la cantidad de información más importante acerca de su funcionamiento interno.

En algunas máquinas que podrían afectar de manera adversa las operaciones de la planta si llegarían a fallar, se puede instalar un monitor de vibración continuo. En este monitor, una alarma se prenderá cuando el nivel de vibraciones rebasa un valor predeterminado.

De esta manera se evitan fallas que progresan rápidamente, y causan un paro catastrófico. (Smith, 2003)

### **2.5.5 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad**

Llamado también por sus siglas en ingles RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costes derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaban la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

RCM se basa en analizar los fallos potenciales que puede tener una instalación, sus consecuencias y la forma de evitarlos. Fue documentado por primera vez en un informe escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en 1978. Desde entonces, el RCM ha sido usado para diseñar el mantenimiento y la gestión de activos en todo tipo de actividad industrial y en prácticamente todos los países industrializados del mundo. Este proceso definido por Nowlan y Heap sirvió de base para el desarrollo del RCM, que ha sido mejorado y refinado con su uso y con el paso del tiempo. Muchas de las posteriores evoluciones de la idea original conservan los elementos clave del proceso ideado por Nowlan y Heap. Sin embargo, el uso extendido del nombre “RCM” ha llevado a que surjan un gran número de metodologías de análisis de fallos que difieren significativamente del original, pero que sus autores también llaman “RCM”. Muchos de estos otros procesos no alcanzan los objetivos definidos por Nowlan y Heap, y algunos son incluso contraproducentes. En general tratan de abreviar y resumir el proceso, lo que lleva en algunos casos a desnaturalizarlo completamente. (Garrido, 2009).

#### **2.5.6 Concepto del MCC**

El MCC sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional. Esta no es una fórmula matemática y su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de los activos de un determinado contexto operacional, realizado por un equipo natural de trabajo. “El esfuerzo desarrollado por el equipo natural permite generar un sistema de gestión de mantenimiento flexible, que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta, la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón costo/beneficio” (Jones, 1995)

La metodología MCC, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes siete preguntas:

### **2.5.7 Las Siete Preguntas Básicas del RCM**

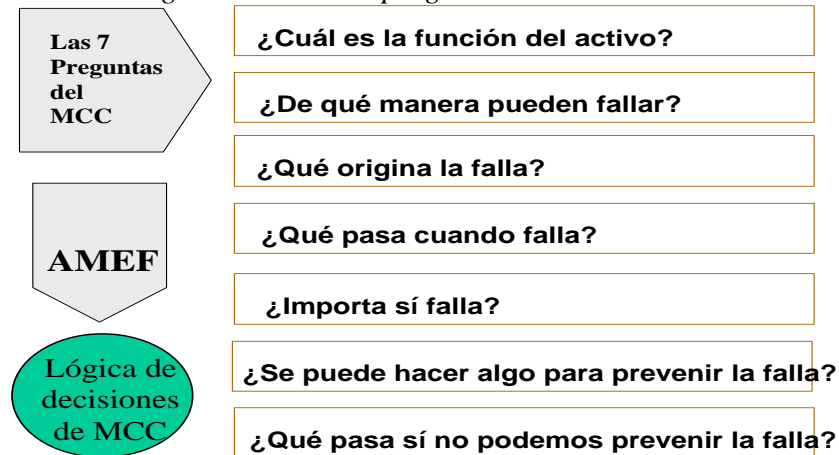
El R.C.M. se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen. Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, se necesita saber qué tipo de elementos físicos existen en la empresa, y decidir cuáles son los que deben estar sujetos al proceso de revisión del RCM, en la mayoría de los casos, esto significa que se debe realizar un registro de equipos completo

El proceso sistemático del RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

- ¿Cuáles son las funciones?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Qué causa que falle?
- ¿Qué sucede cuando falla?
- ¿Qué ocurre si falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir el fallo?
- ¿Qué sucede si no puede prevenirse el fallo?

Para la resolución de estas preguntas el R.C.M. requiere de la formación de Grupos de Revisión. Estos grupos estarán integrados por representantes de las distintas ramas que trabajan con el sistema al que se va a someter a R.C.M., como puede ser personal de producción, personal operativo y por supuesto personal de mantenimiento.

Figura 2. 21: Siete preguntas claves del MCC



Fuente:(Jones, 1995).

### 2.5.8 El proceso de decisión de RCM

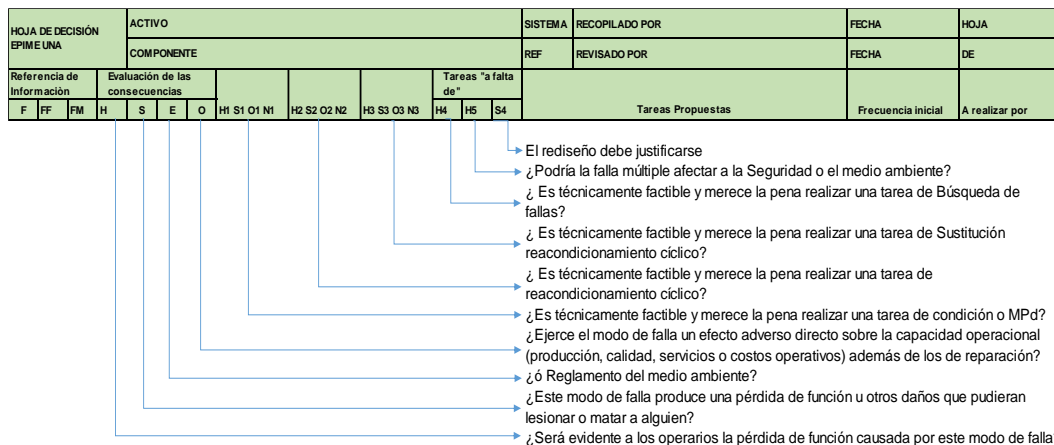
El modelo que integra todos los procesos de decisión en un marco de trabajo estratégico es basado según la Hoja de decisión, que es uno de los documentos utilizados en la aplicación del proceso RCM ya que con estas hojas se agruparan las probables fallas y como evitar las mismas con sus respectivas acciones a falta de.

“La Hoja de Decisión de RCM se observa en la Figura 22. Se muestra cómo la Hoja de Decisión permite registrar las respuestas a las preguntas formuladas en el Diagrama de Decisión:

Qué mantenimiento de rutina será realizado, con qué frecuencia será realizado

Qué fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño. Casos en los que se toma una decisión deliberada de dejar que ocurran las fallas.

Figura 2. 22: Hoja de decisión del RCM



Fuente: (Farinango, 2014).

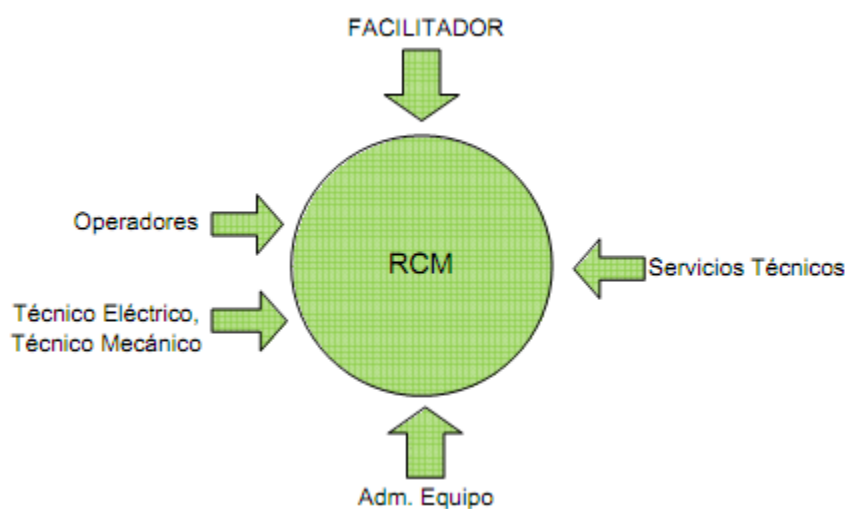
La hoja de decisión está dividida en dieciséis columnas. Las columnas tituladas F, FF y MF identifican el modo de falla que se analiza en esa línea.

Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hay), la frecuencia con la que debe hacerse y quién ha sido seleccionado para realizarla. La columna de "Tarea Propuesta" también se utiliza para registrar los casos en los que se requiere rediseño o si se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado. Cada una de estas cuatro secciones de la Hoja de Decisión es explicada en función de las preguntas que hace el Diagrama de Decisión. (Farinango, 2014)

### 2.5.9 Proceso de Implantación del MCC

A continuación, se presenta el esquema propuesto para implantar el MCC. El éxito del proceso de implantación del MCC, dependerá básicamente del desempeño del equipo natural de trabajo, el cual se encargará de responder las siete preguntas básicas del MCC, siguiendo el siguiente esquema:

Figura 2. 23: Equipo natural de trabajo del MCC



Fuente: (Farinango, 2014).

## 2.6 DISTRIBUCIÓN WEIBULL

La distribución de Weibull complementa a la distribución exponencial y a la normal, se usa cuando se sabe de antemano que una de ellas es la que mejor describe la distribución de fallos o cuando se han producido muchos fallos (al menos 10) y los tiempos correspondientes no se ajustan a una distribución más simple.

La distribución de Weibull nos permite estudiar cuál es la distribución de fallos de un componente clave de seguridad que pretendemos controlar y que a través de nuestro registro de fallos observamos que éstos varían a lo largo del tiempo y dentro de lo que se considera tiempo normal de uso.

La distribución de Weibull se representa normalmente por la función acumulativa de distribución de fallos  $F(t)$ :

$$F(t) = 1 - e^{-\left[\frac{(t-t_0)}{\eta}\right]^\beta} \quad \dots(2.1)$$

Siendo la función densidad de probabilidad:



$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t-t_0}{\eta} \right)^\beta} \quad \dots(2.1)$$

La tasa de fallos para esta distribución es:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad \dots(2.2)$$

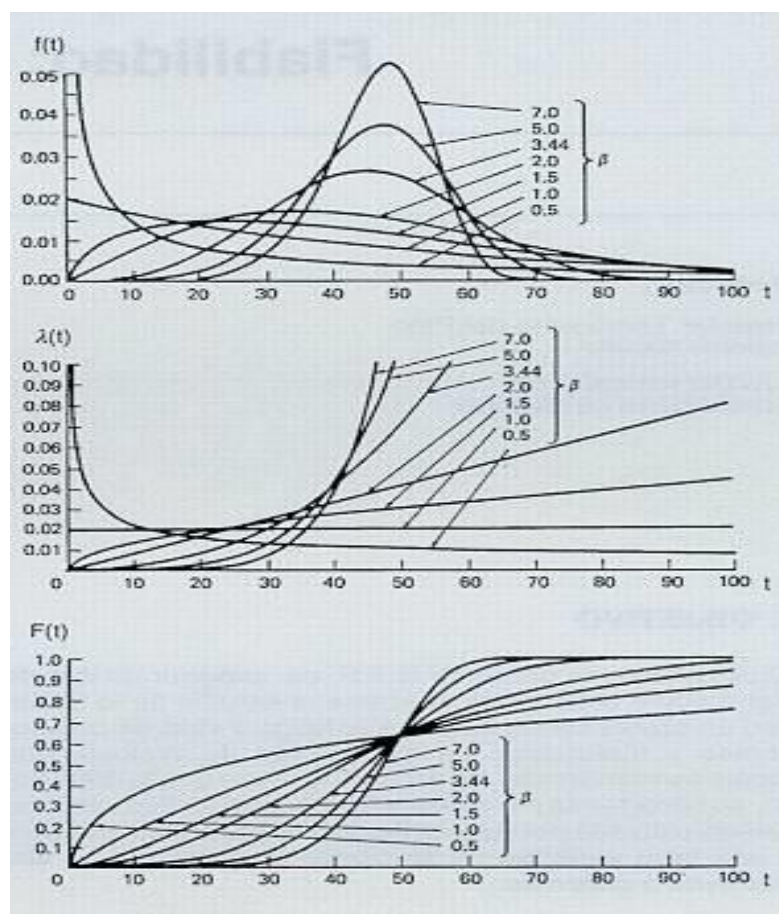
Las ecuaciones (2-1), (2-2) y (2-3) sólo se aplican para valores de  $(t - t_0) \geq 0$ . Para valores de  $(t - t_0) < 0$ , las funciones de densidad y la tasa de fallos valen 0. Las constantes que aparecen en las expresiones anteriores tienen una interpretación física:

$t_0$  es el parámetro de posición (unidad de tiempos) o vida mínima y define el punto de partida u origen de la distribución.

$\eta$  es el parámetro de escala, extensión de la distribución a lo largo, del eje de los tiempos. Cuando  $(t - t_0) = \eta$

$\beta$  es el parámetro de forma y representa la pendiente de la recta describiendo el grado de variación de la tasa de fallos.

Figura 2. 24: Tasas de Fallas, Confiabilidad, Parámetro Beta



Fuente: (Moubray, 2004).

### 2.6.1 Función de Confiabilidad

Es una función decreciente denominada también función de supervivencia es la probabilidad de sobrevivir hasta el tiempo  $t$ , se representa como:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \dots(2.4)$$

Para el caso de la función exponencial es:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \dots(2.5)$$

La función de riesgo que se define como:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad \dots(2.6)$$

Es el resultado del siguiente límite:

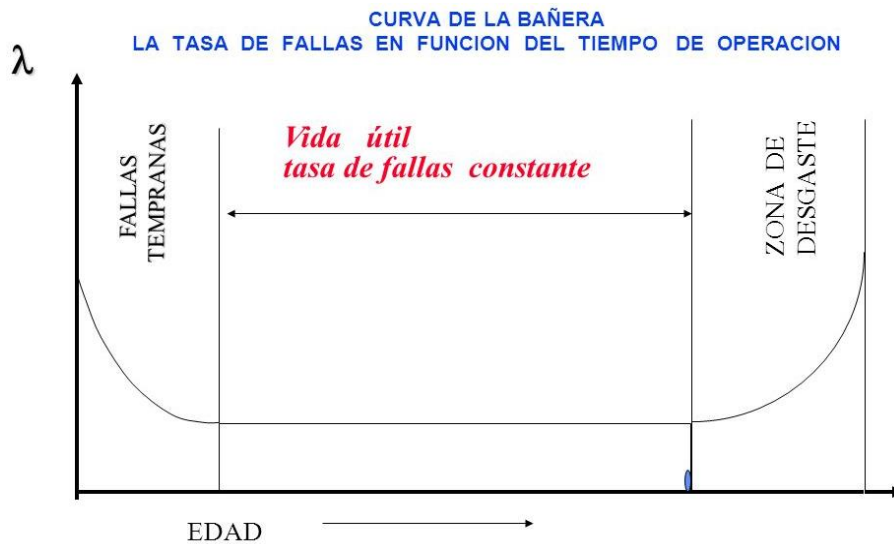
$$h(t) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{P(t < T < T + \Delta | T > t)}{\Delta} \dots(2.7)$$

Representa la probabilidad de falla instantánea en el tiempo  $t + \Delta t$  dado que la unidad ya sobrevivió hasta el tiempo  $t$ .

### 2.6.2 Vida Útil de un Producto

La vida útil de un producto se puede representar por una curva de la bañera, como sigue:

Figura 2. 25: Curva de la Bañera



Fuente: (Moubray, 2004).

La mortalidad infantil representa las fallas debidas a problemas de diseño o ensamble con tasa de falla decreciente respecto al tiempo.

La zona de fallas aleatorias representa una tasa de falla constante respecto al tiempo.

La zona de desgaste o envejecimiento representa la zona de tasa de falla creciente cuando el componente está llegando a su vida útil. (Aguilar, 2006)

### 2.6.3 Distribución Weibull de dos Parámetros

Es una distribución flexible donde su tasa de falla puede ser decreciente, constante o creciente dependiendo de sus parámetros. Normalmente se define con dos parámetros: el de forma  $\beta$  que tiene efecto sobre la forma de la distribución y el de escala  $\eta$  que afecta la escala del tiempo de vida.

La teoría de valores extremos demuestra que la distribución de Weibull se puede utilizar para modelar el mínimo de una gran cantidad de variables aleatorias positivas independientes de cierta distribución: tales como falla de un sistema con una gran cantidad de componentes en serie y con los mecanismos de falla aproximadamente independientes en cada componente.

Sus funciones básicas son:

Distribución de densidad:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta} \quad \dots(2.8)$$

Distribución acumulada:

$$F(t) = 1 - e^{-\left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta} \quad \dots(2.9)$$

Función de confiabilidad:

$$R(t) = e^{-\left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta} \quad \dots(2.10)$$

Función de riesgo:

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad \dots(2.11)$$

#### 2.6.4 Distribución Weibull de Tres Parámetros

En ocasiones las fallas no empiezan a observarse desde el tiempo cero sino hasta después de un periodo  $\gamma$ , es decir hasta después de este tiempo la probabilidad de falla es mayor a cero. Para esto se introduce en la distribución un parámetro de localización que recorre el inicio de la distribución a la derecha, quedando las funciones de densidad, de distribución, de confiabilidad y de riesgo para la distribución de Weibull  $(\beta, \eta, \gamma)$  como sigue:

Distribución de densidad:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad \dots(2.12)$$

Distribución acumulada:

$$F(t) = 1 - e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad \dots(2.13)$$

Función de confiabilidad:

$$R(t) = e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad \dots(2.14)$$

Función de riesgo:

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad \dots(2.15)$$

Donde  $t \geq \gamma$

## 2.7 HIPÓTESIS

### 2.7.1 Hipótesis General

Mediante el “Diseño de un plan de Mantenimiento Preventivo basado en la metodología RCM para la Maquinaria pesada para movimiento de tierra, de la Municipalidad Provincial de Canchis - Cuzco, se mejorará la confiabilidad de los equipos.

### 2.7.2 Hipótesis Específicas

- ✓ El diagnóstico de los sistemas, sub sistemas y componentes de la maquinaria permitirá determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla.
- ✓ Se identificarán los componentes más críticos mediante el análisis estadístico de las fallas y se determinara los parámetros característicos de la metodología RCM haciendo uso del historial de fallas.

### 2.7.3 Variables

- **Independientes:**
  - ✓ Gestión de Mantenimiento: Variable que expresa el uso y control de las actividades de mantenimiento
- **Dependientes:**
  - ✓ Fallas del sistema, Intervalos de mantenimiento

## 2.8 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.8.1 Tipo Metodológico

El método de investigación en cada objetivo específico es del tipo no experimental, transversal, descriptivo. La toma de datos es del tipo longitudinal, Correlacional, causal, propuesto por Hernández Sampieri en Metodología de la

Investigación. (SIAMPERI, 2014)

El presente estudio corresponde a una investigación de campo, dentro del área de las ciencias físicas y formales en el campo del mantenimiento. Se trata de una investigación del nivel explicativo, exploratoria descriptiva.

### **2.8.2 Metodología de la Investigación**

Aplicaremos la técnica de observación documental a través de documentos estadísticos como instrumentos.

### **2.8.3 Técnicas de Recolección de Datos**

Para éste trabajo de Investigación se describe las técnicas e instrumentos de recolección de datos en el siguiente detalle:

### **2.8.4 Técnicas**

#### **a) Análisis Documental**

Mediante el cual se recopilará datos e información necesaria para desarrollar y sustentar éste estudio. Básicamente como su nombre lo indica a través del análisis de documentos existentes.

Se utilizará como fuente los datos, libros, informes, separatas, páginas de internet, etc., referente a temas relacionados con la investigación.

#### **b) Encuesta**

Mediante esta técnica se logrará obtener información directamente desde la muestra. Es un proceso a través del cual conseguiremos datos de información primaria que nos permitan explicar el problema y lograr los objetivos de la investigación mediante preguntas al personal de mantenimiento.

**c) Observación**

La forma obvia de recopilar datos nuevos es observar el comportamiento, bien sea en un ambiente o escenario de acción donde se logre ver los desgastes de cada accesorio del equipo. La ventaja de observar directamente el comportamiento los desgastes es que podremos saber si la falla fue por una mala operación u otro tipo.

**d) Internet**

No existe duda sobre las posibilidades que hoy ofrece internet como una técnica de obtener información; es más, hoy se ha convertido en uno de los principales medios para captar información. Por ende, buscaremos temas relacionados con el mantenimiento y costos operacionales.



## CAPITULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1 Tipo de Investigación

La investigación realizada en el presente trabajo es de tipo descriptiva, ya que se obtienen generalizaciones significativas de situaciones y hechos que contribuyen al conocimiento, además se podrán describir, registrar, examinar, analizar e interpretar las actividades que se llevan a cabo en la Unidad de la División de Equipo Mecánico de la Municipalidad Provincial de Canchis, con la finalidad de llevar a cabo una gestión de mantenimiento optima, de acuerdo con la realidad actual.

El método de investigación en cada objetivo específico es del tipo no experimental, transversal, descriptivo. La toma de datos es del tipo longitudinal, Correlacional, causal, propuesto por Hernández Sampieri en Metodología de la Investigación.

En ese sentido el presente proyecto, es una investigación de campo de tipo descriptiva simple, debido a que se recopiló datos de los equipos para movimiento de tierra y por ser flexible permite sujetarse a esquemas de razonamiento lógico, es decir permite hacer análisis sistemático del problema, con el propósito de describir, explicar sus causas y efectos, entender su naturaleza y factores constituyentes o predecir su ocurrencia. Los datos de interés son recogidos en forma directa por el propio investigador.

La investigación objeto de estudio se clasificó como descriptiva, debido a que buscó especificar propiedades, características y rangos importantes del fenómeno analizado, en este caso, de la variable estudiada: gestión de mantenimiento. (Sampieri, 1991)

### **3.1.2 Técnicas de Recolección de Datos**

Los instrumentos de investigación y recolección de datos son los medios utilizados por el investigador, para medir el comportamiento o atributos de las variables. (Chavez, 2004)

La técnica que se utilizó en la presente investigación es documental y empírica.

La técnica documental se utiliza para la construcción del marco conceptual, del mismo modo nos ayudó a recolectar datos de archivos y documentos.

Para la recolección de información se utiliza las técnicas:

- ✓ Observaciones directas.
- ✓ Hojas de reporte e inspección.

En la técnica empírica se utilizará para recolectar datos del mismo objeto de estudio a través de la observación y medición. Todos ellos permiten extraer datos de la operación, empleando fichas de registro, reportes. (CRISTHIAN GUERRA HUAMALI, 2017)

### **3.1.3 Técnicas de Análisis de Datos**

Las técnicas que se aplicarán son de dos tipos, las de campo; debido a que se requiere acumular información primaria para después analizar y cuantificarla, y las bibliográficas; para obtener información de documentos y libros referentes al tema.

Además, se usará información proveniente del Internet para tener conocimiento de los últimos adelantos técnicos en este campo.

Es el presente trabajo de investigación, se tuvo en cuenta la población, muestra y el análisis de variables. El procedimiento consideró también los resultados de la investigación y se realizó el análisis estadístico de dichos resultados considerando los objetivos planteados.

#### **3.1.4 Método de la Investigación.**

La metodología utilizada para la investigación del Diseño de un sistema de mantenimiento preventivo aplicando la metodología RCM para los equipos de movimiento de tierra de la Municipalidad de Canchis, consta fundamentalmente de los siguientes pasos:

1. Diagnóstico de la situación actual de los equipos para movimientos de tierra
2. Detalle de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo.
3. Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos.
4. Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.
5. Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo.
6. Identificación de los elementos críticos.
7. Propuesta de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad de los subsistemas críticos.

#### **3.1.5 Unidades de Información**

La unidad de observación, es aquella por medio de la cual se obtiene la información; es decir, es la unidad informante. “la unidad de investigación es aquella

que contiene elementos que van a ser estudiados”. Para dar respuesta a la unidad de investigación y cumplir con los objetivos. (Parra, 1998)

Se contó con la participación de los, supervisores, jefes de unidad y personal técnico pertenecientes a la población objeto de estudio, cumpliendo los propósitos específicos de la investigación en la población, Cabe destacar que todo este personal es experto en lo que se refiere a mantenimiento de equipos para movimientos de tierra.

## 3.2 PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.2.1. Diagnóstico de la Situación Actual

Se han identificado los equipos para movimiento de tierra existentes operativos del área de mantenimiento de la Municipalidad Provincial de Canchis- Cuzco.

Para realizar el diagnóstico de la situación actual se realiza a través del análisis del factor de estado con lo cual podremos determinar el estado real de los equipos.

#### Factor de Estado

Se considera como primordial realizar un análisis de factor de estado para determinar la vida útil de los equipos y su nivel de uso en cuanto a horas de trabajo, el estado actual de los mismos y si se necesita o no realizar mantenimiento. Para ello se ha formulado la siguiente tabla de valoración de equipos:

*Tabla 3. 1: Factor de estado*

FACTOR DE ESTADO (F.E)				
CALIFICACIÓN	CONDICIÓN OPERATIVA	NIVEL DE USO	MANTENIMIENTO	ESTADO
1	operativo	Uso normal	No necesita	Vigente
1.5	operativo	Uso moderado	No necesita	Escasa Obsolescencia
2	operativo	Mucho uso	Necesita reparaciones normales o rutinarias	Moderada Obsolescencia
2.5	operativo	Mucho uso	Necesita reparaciones	Obsolescencia

*Fuente: (LLAMBA, 2014)*

### 3.2.2. Identificación de los Componentes más Críticos

Para la identificación de los componentes más críticos utilizaremos el análisis de modo y efectos de falla (AMEF), planteada por Moubray. La que está constituida por la hoja de información y la hoja de decisión, las que se detallan brevemente a continuación:

### 3.3 ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLAS

Constituye la herramienta principal del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para la optimización de la gestión de mantenimiento en una organización determinada. El análisis de los modos y efectos de fallas (AMEF) es un método sistemático que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y puedan afectar o impactar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado.

Por lo expresado anteriormente, se deduce que el objetivo básico del AMEF, es encontrar todas las formas o modos en los cuales puede fallar un activo dentro de un proceso, e identificar las posibles consecuencias o efectos de fallas en función de tres criterios básicos para el RCM: seguridad humana, ambiente y operaciones (producción). Para cumplir con este objetivo se debe realizar el AMEF siguiendo la siguiente secuencia:

- ✓ Explicar las funciones de los activos del área seleccionada y sus respectivos estándares de ejecución.
- ✓ Definir las fallas funcionales asociadas a cada función del activo.
- ✓ Definir los modos de fallas asociados a cada falla funcional.
- ✓ Establecer los efectos o las consecuencias asociadas a cada modo de falla.

### 3.3.1 Hoja de Información

Es la hoja donde es asentada la información recopilada en los primeros cuatro pasos del RCM, es decir las funciones, fallas funcionales, modos de fallas y los efectos de las fallas, el análisis sintetizado en esta hoja se denomina “Análisis de Modos y Efectos de Fallas” (AMEF), ésta se encuentra dividida en cuatro columnas y en la parte superior de la hoja aparece la identificación del elemento, componente, por quien fue realizada y revisada la hoja de información, igualmente aparece el número de la hoja. En el cuadro se muestra un ejemplo de una hoja de información.

Figura 3. 1: Hoja de información

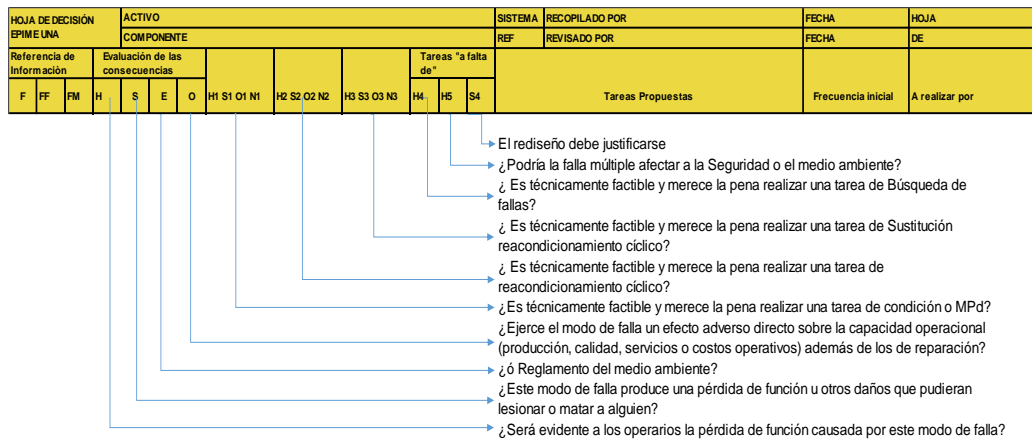
HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA/ACTIVO	Nº	RECOPILADO POR	FECHA	HOJA
	SUB-SISTEMA/COMPONENTE	REF.	REVISADO POR	FECHA	DE
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de función)	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTO DE LA FALLA (Que sucede cuando ocurre la falla)		

Fuente: Fuente: (Moubray, 2004).

### 3.3.2 Hoja de Decisión

Esta hoja se elabora a partir del Árbol Lógico de Decisiones, con la información procesada en los tres últimos pasos del RCM, de acuerdo a la referencia de la hoja de información. En ella se clasifican el tipo de consecuencia que tiene la falla (fallas ocultas, para la seguridad y el medio ambiente, operacionales y no operacionales); y el tipo de tarea preventiva que se va a realizar. En el cuadro se muestra una hoja de decisión.

Figura 3. 2: Hoja de decisión

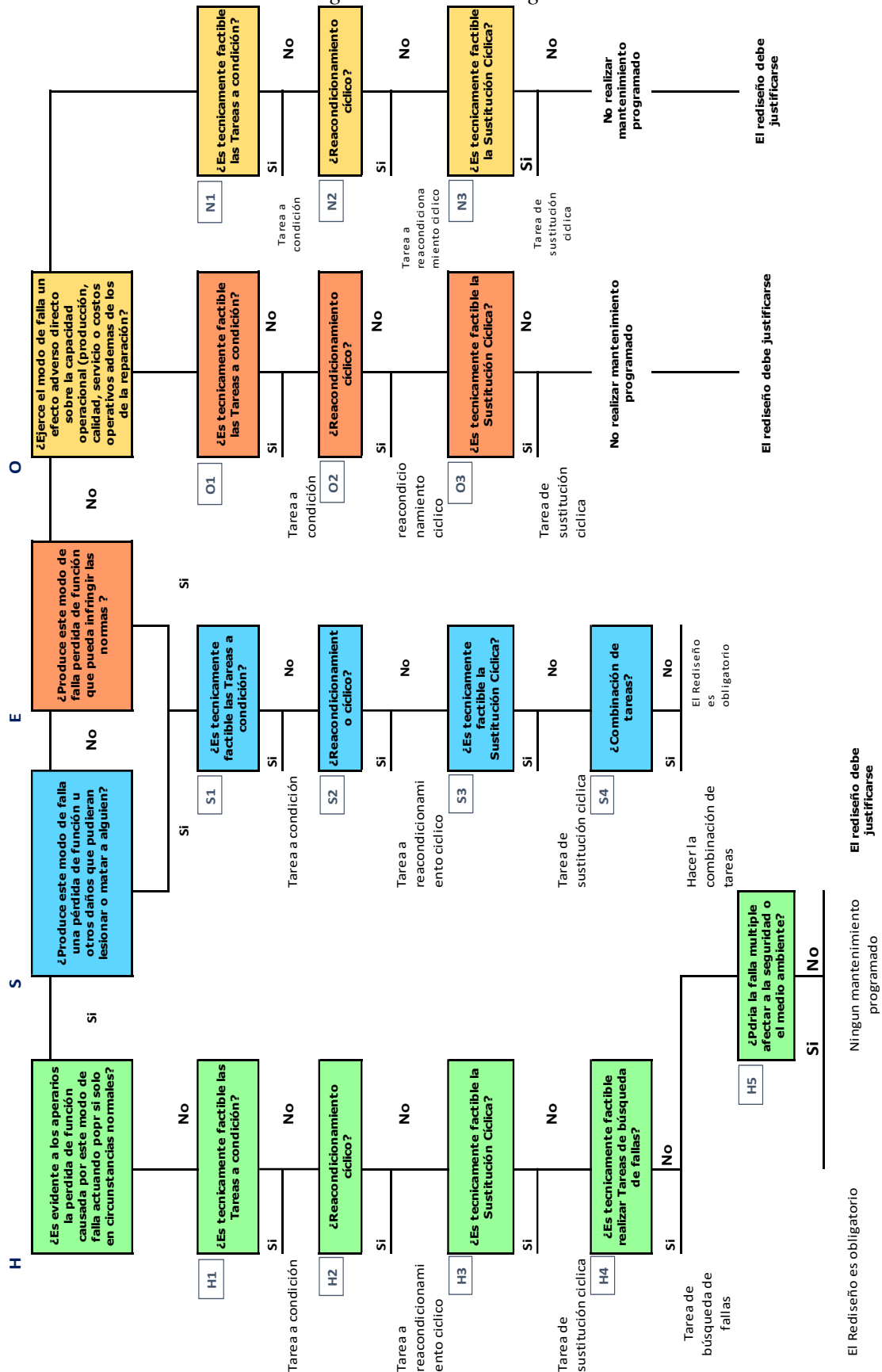


Fuente: Fuente: (Moubray, 2004).

### 3.3.3 Árbol Lógico

El árbol lógico de decisión, es una herramienta diseñada por el RCM, que permite seleccionar la tarea de mantenimiento más adecuada para evitar la ocurrencia de cada modo de falla o disminuir sus posibles efectos y consiste en un flujo grama de preguntas. Cabe destacar que el primer paso para seleccionar las tareas de mantenimiento, consiste en identificar las consecuencias que generan los modos de fallas, cuestión que consigue el grupo multidisciplinario de trabajo a partir del AMEF.

Figura 3. 3: Árbol Lógico



Fuente: (Moubray, 2004).



### 3.3.4 Análisis de Criticidad

El Análisis de Criticidad es la herramienta que permite establecer niveles jerárquicos en sistemas, equipos y componentes en función de impacto global que generan, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones. El análisis de criticidad establece un orden de prioridades de mantenimiento sobre una serie de instalaciones y equipos, otorgando un valor numérico o estatus, en función de una matriz que combina la condición actual del equipo, el nivel de producción de cada equipo o instalación, el impacto ambiental, de seguridad y la producción.

La metodología propuesta, es una herramienta de priorización bastante sencilla que genera resultados semicuantitativos, basados en la teoría del Riesgo.

Riesgo = Frecuencia x Consecuencia

Frecuencia = Numero de fallas en un tiempo determinado

Consecuencia = ((Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costos Mtto. + Impacto SAH)

Los factores ponderados de cada uno de los criterios a ser evaluados por la expresión del riesgo se presentan a continuación:

Figura 3. 4: Criterios a evaluar, Matriz de Criticidad

Criticidad total = Frecuencia de fallas x Consecuencia			
Consecuencia = ((Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costos Mto. + Impacto SHA)			
Frecuencia de Fallas		Costo de Mantenimiento	
mayor a 4 fallas/año	4	mayor a S/.1000.00	2
promedio 2 a 4 fallas/año	3	inferior a S/.1000.00	1
Buena 1 a 2 fallas/año	2	Impacto en SHA	
Excelente menores de 1 falla/año	1	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Impacto Operacional		Afecta el ambiente instalaciones	7
Parada inmediata	10	Afecta las instalaciones causando daños severos	5
Repercusión en costos operacionales	8	Provoca daños menores (ambiente seguridad)	3
Impacto en niveles de producción	4	No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1
No genera ningún efecto significativo sobre la operación y producción	1	No produce lesión	1
Flexibilidad Operacional			
No existe opción de repuesto	4		
Hay opción de repuesto compartido	2		
Función de repuesto disponible	1		

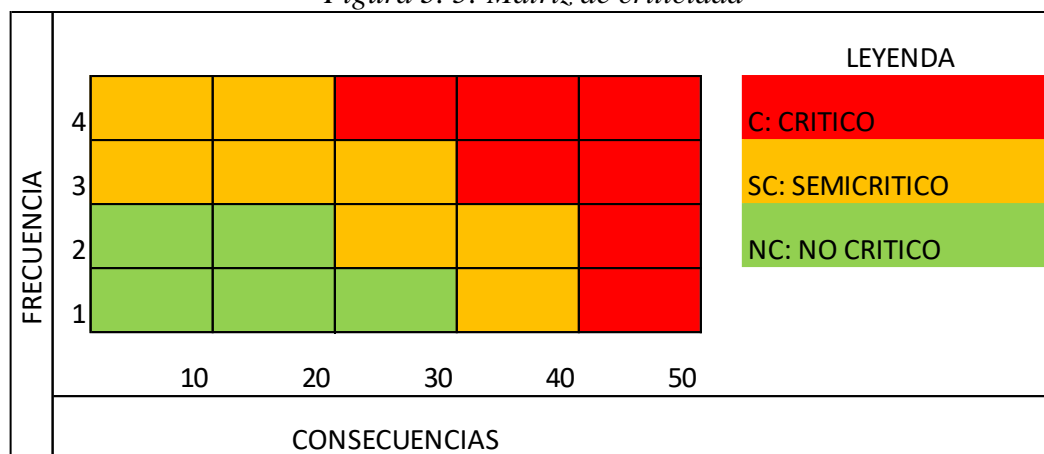
Fuente: (LLAMBA, 2014)

Una vez que se evaluaron en consenso cada uno de los factores presentados en la tabla anterior, se introducen en la fórmula de Criticidad Total y se obtiene el valor global de criticidad (máximo valor de criticidad que se puede obtener a partir de los factores ponderados evaluados = 200

La matriz de criticidad mostrada a continuación permite jerarquizar los sistemas en tres áreas:

- ✓ Área de sistemas No Críticos (NC)
- ✓ Área de sistemas de Media Criticidad (MC)
- ✓ Área de sistemas Críticos (C)

Figura 3. 5: Matriz de criticidad



Fuente: (LLAMBA, 2014)

### 3.4 DETERMINACIÓN DE LA CONFIABILIDAD

#### 3.4.1 Confiabilidad

Para lograr el presente objetivo de la estimación de la confiabilidad a los equipos críticos lo realizamos por medio del Análisis de Weibull. La distribución de Weibull viene dado por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \dots(3.1)$$

Los parámetros característicos que definen la distribución de Weibull son los siguientes:

$\gamma$  (gamma)

La función densidad de probabilidad es cero para  $t \leq \gamma$ .

La forma general de la distribución de Weibull es considerando  $\gamma = 0$ , en cuyo caso el análisis coincide con el inicio del funcionamiento del equipo o componente.

$\beta$  (beta)

También llamado parámetro de forma, este valor determina la forma de la distribución.

$\eta$  (eta)

La forma de la extensión de la distribución es proporcional a este valor.

La Función Distribución Acumulativa de la distribución de Weibull es de la siguiente forma:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \dots(3.2)$$

Cuando  $t - \gamma = \eta$ , el valor de  $F(t)$  es 63.2% y la función acumulativa no depende de los valores que pueda tomar  $\beta$ .

La función de Confiabilidad está definida por:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \dots(3.3)$$

Por lo tanto, la Función de Confiabilidad de la distribución de Weibull es:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \dots(3.4)$$

La función Tasa de Riesgo (Tasa instantánea de falla) quedará definida como:

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad \dots(3.5)$$

De acuerdo a los valores que tome el parámetro  $b$  la tasa de riesgo tendrá diferentes comportamientos (Curva de la Bañera).

$\beta < 1$              $h(t)$  decrece, período de Mortalidad Infantil

$\beta = 1$              $h(t)$  es constante, fallas aleatorias

$1.5 < \beta < 2.5$  fenómeno de fatiga

$3 < \beta < 4$         fenómeno de desgaste

Una característica en confiabilidad es el tiempo medio entre fallas (MTBF), el cual se aplica a unidades reparables.

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt = \sum_{1}^{n} R(t)(t_j - t_{j-1}) \quad \dots(3.6)$$

### 3.5 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN

La información necesaria para el trabajo de Investigación se recopilará en bibliotecas especializadas, Internet, consulta a ingenieros especialistas (Mecánicos- Electricistas, Mecánicos, Industriales) instituciones, principalmente de la Universidad Nacional del Altiplano de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica del área de mantenimiento; del que se considera el Plan Integral de Gestión de Mantenimiento, universidades y centros de investigación a nivel nacional e internacional que puedan contribuir al desarrollo óptimo del proyecto de Tesis.

### 3.6 PROCESAMIENTO DE DATOS

Teniendo en cuenta que se tendrán varios parámetros de diseño, su procesamiento implicará un análisis multivariado, que nos permitirá analizar las relaciones entre variables independientes y dependientes.

### 3.7 VARIABLES

**Independientes:**

Gestión de Mantenimiento.

**Dependientes:**

Fallas del sistema.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

El diagnóstico de la situación consistió en la recopilación y almacenamiento de toda la información necesaria referente a los equipos que constituyen el equipo de movimiento de tierra de la Municipalidad Provincial de Canchis Cuzco se tomarán en cuenta los equipos operativos que se detallan a continuación.

*Tabla 4. 1: Equipos Operativos para Movimiento de Tierra de la MPC.*

TIPO MAQUINARIA Y/O VEHICULO	MARCA	MODELO	CODIGO/SERIE	AÑO DE FABRICACIÓN
CARGADOR FRONTAL	CATERPILLAR	938G	CAT0938GC8RS00928	2007
EXCAVADORA HIDRAULICA	KOMATSU	PC350LC-8	A10674	2011
MOTONIVELADORA	NEW HOLLAND	RG200	*N8AF02138*	2005
TRACTOR ORUGA	CATERPILLAR	D7G	CATOC556HC5S00439	2008
MINICARGADOR	NEW HOLLAND	L223	GAFOL223EFM404338	2015

*Elaboración Propia*

#### 4.2 ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS

Los equipos o maquinarias que están operativas para el movimiento de tierra que es materia del presente estudio de acuerdo al factor de estado y al análisis y diagnóstico realizado en campo tenemos:

Para los equipos descritos en la tabla tendremos el siguiente factor de estado:

*Tabla 4. 2: Factor de Estado para los Equipos Operativos*

FACTOR DE ESTADO (F.E)				
CALIFICACIÓN	CONDICIÓN OPERATIVA	NIVEL DE USO	MANTENIMIENTO	ESTADO
2	operativo	Mucho uso	Necesita reparaciones normales o rutinarias	Moderada Obsolescencia

*Fuente: (LLAMBA, 2014)*

Para el Equipo MINICARGADOR NEW HOLLAND el factor de estado es:

Tabla 4. 3: factor de estado para el MINICARGADOR NEW HOLLAND.

FACTOR DE ESTADO (F.E)				
CALIFICACIÓN	CONDICIÓN OPERATIVA	NIVEL DE USO	MANTENIMIENTO	ESTADO
1.5	operativo	Uso moderado	No necesita	Escasa Obsolescencia

Fuente: (LLAMBA, 2014)

### 4.3 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)

Los diferentes equipos analizados en el presente estudio, están conformados por los diferentes sistemas y sub- sistemas que se mencionan en los cuadros siguientes, en la cual se detalla claramente el nombre de cada una de ellos y los componentes principales que actúan dentro en el sub-sistema.

En el cuadro se muestra los sistemas y subsistemas del Cargador Frontal CAT 938G.

Tabla 4. 4: Sub Sistemas del Cargador Fontal CAT 938G

EQUIPO	SISTEMAS	SUB SISTEMAS
Cargador Frontal CAT 938G	MOTOR	LUBRICACION COMBUSTIBLE FUERZA REFRIGERACION ADMISION Y ESCAPE DE AIRE
	HIDRAULICO	DIRECCION Y FRENOS LEVANTE ACCESORIOS
	TREN DE TRACCION	EMBRAGUE TRANSMISION DIFERENCIALES MANDOS FINALES Y RUEDAS
	ELECTRICO	ENCENDIDO CARGA TABLERO Y LUCES
	CARROCERIA, ACCESORIOS Y OTROS	CABINA DEL OPERADOR CARROCERIA Y CHASIS

Fuente: Fuente: (Moubray, 2004).

En el cuadro tenemos los sistemas y subsistemas de la Motoniveladora New Holland RG 200.

Tabla 4. 5: Sub Sistemas de la Motoniveladora New Holland RG 200

EQUIPO	SISTEMAS	SUB SISTEMAS
Motoniveladora NEW HOLLAND RG200	MOTOR	LUBRICACION COMBUSTIBLE FUERZA REFRIGERACION ADMISION Y ESCAPE DE AIRE
	HIDRAULICO	DIRECCION Y FRENOS LEVANTE ACCESORIOS
	TREN DE TRACCION	EMBRAGUE TRANSMISION DIFERENCIALES MANDOS FINALES Y RUEDAS
	ELECTRICO	ENCENDIDO CARGA TABLERO Y LUCES
	CARROCERIA, ACCESORIOS Y OTROS	CABINA DEL OPERADOR CARROCERIA Y CHASIS

Fuente: Fuente: (Moubray, 2004).

Podemos ver que la función principal de la **Motoniveladora** es una máquina utilizada para realizar trabajos de nivelación de terrenos, de mayor precisión que otras máquinas, lo cual analizaremos en las hojas AMEF.

En el cuadro se muestra los sistemas y subsistemas del Mini cargador NEW HOLLAND L223.

Tabla 4. 6: Sub Sistemas del Mini cargador NEW HOLLAND L223

EQUIPO	SISTEMAS	SUB SISTEMAS
Minicargador NEW HOLLAND L223	MOTOR	LUBRICACION COMBUSTIBLE FUERZA REFRIGERACION ADMISION Y ESCAPE DE AIRE
	HIDRAULICO	DIRECCION Y FRENOS LEVANTE ACCESORIOS
	TREN DE TRACCION	EMBRAGUE TRANSMISION DIFERENCIALES MANDOS FINALES Y RUEDAS
	ELECTRICO	ENCENDIDO CARGA TABLERO Y LUCES
	CARROCERIA, ACCESORIOS Y OTROS	CABINA DEL OPERADOR CARROCERIA Y CHASIS

Fuente: Fuente: Fuente: (Moubray, 2004).



Podemos ver que la función principal del mini cargador se asemeja a una pala cargadora, con una gran diferencia: su reducido tamaño. Esta máquina se utiliza principalmente en obras con una superficie de trabajo reducida donde no es rentable o viable utilizar máquinas de mayor tamaño o capacidad, por lo cual es común verlas en ciudades. Su función principal es la carga, transporte y descarga de volúmenes reducidos de material, lo cual analizaremos en las hojas AMEF.

En el cuadro se muestra los sistemas y subsistemas de la Excavadora Komatsu PC 350L-C8.

*Tabla 4. 7: Sub Sistemas de la Excavadora Komatsu PC 350L-C8.*

EQUIPO	SISTEMAS	SUB SISTEMAS
Excavadora Komatsu PC 350L C8	MOTOR	LUBRICACION COMBUSTIBLE FUERZA REFRIGERACION ADMISION Y ESCAPE DE AIRE
	HIDRAULICO	DIRECCION Y FRENOS LEVANTE ACCESORIOS
	TREN DE TRACCION	EMBRAGUE TRANSMISION DIFERENCIALES MANDOS FINALES Y ORUGAS
	ELECTRICO	ENCENDIDO CARGA TABLERO Y LUCES
	CARROCERIA, ACCESORIOS Y OTROS	CABINA DEL OPERADOR CARROCERIA Y CHASIS

*Fuente: Fuente: Fuente: (Moubray, 2004).*

La función principal se utiliza para el movimiento de tierras y para el acarreo de materiales en general. Esta máquina se utiliza principalmente en obras de movimiento de tierras. Su función principal es la carga, transporte y descarga de material, lo cual analizaremos en las hojas AMEF.

En el cuadro se muestra los sistemas y subsistemas del Tractor Orugas CAT D7G.

Tabla 4. 8: Sub Sistemas del Tractor Orugas CAT D7G.

EQUIPO	SISTEMAS	SUB SISTEMAS
Tractor Orugas CAT D7G	MOTOR	LUBRICACION COMBUSTIBLE FUERZA REFRIGERACION ADMISION Y ESCAPE DE AIRE
	HIDRAULICO	DIRECCION Y FRENOS LEVANTE ACCESORIOS
	TREN DE TRACCION	EMBRAGUE TRANSMISION DIFERENCIALES MANDOS FINALES Y ORUGAS
	ELECTRICO	ENCENDIDO CARGA TABLERO Y LUCES
	CARROCERIA, ACCESORIOS Y OTROS	CABINA DEL OPERADOR CARROCERIA Y CHASIS

Fuente: Fuente: Fuente: (Moubray, 2004).

La función principal del tractor a orugas es la excavación y el movimiento de tierras y para el acarreo de materiales en general. Esta máquina se utiliza principalmente en obras de movimiento de tierras, lo cual analizaremos en las hojas AMEF.

#### 4.3.1 Registro de fallas de los equipos

En los cuadros a continuación se presenta el registro de las fallas por equipo:

Tabla 4. 9: Fallas registradas del Cargador Frontal CAT 938G

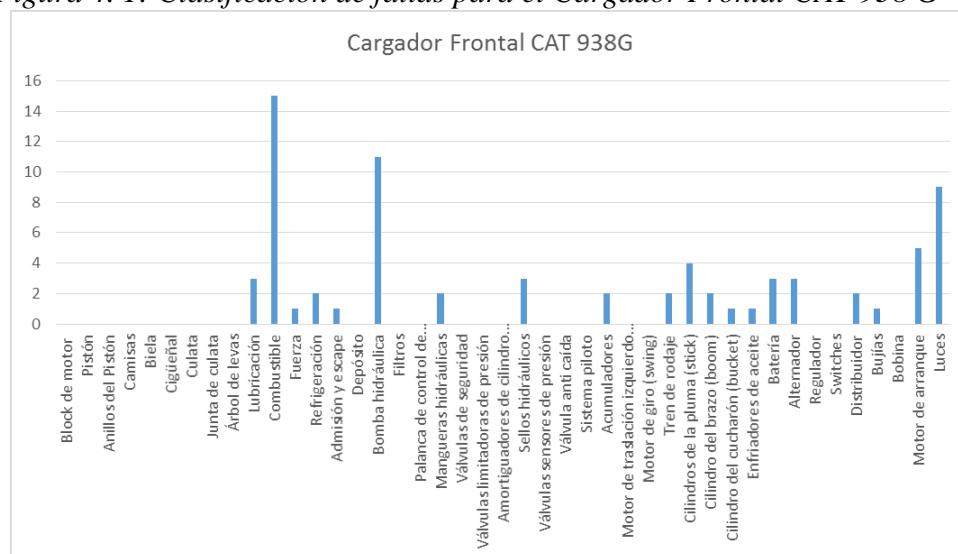
CARGADOR FRONTAL CAT 938G			
SISTEMA	SUB SISTEMA	CANT. DE COMPONENTES	CANT. DE FALLAS
MOTOR	Block de motor	1	0
	Pistón	1	0
	Anillos del Pistón	1	0
	Camisas	1	0
	Biela	1	0
	Cigüeñal	1	0
	Culata	1	0
	Junta de culata	1	0
	Árbol de levas	1	0
	Lubricación	1	3
	Combustible	1	15
	Fuerza	1	1
	Refrigeración	1	2
	Admisión y escape	1	1
HIDRÁULICO	Depósito	1	0
	Bomba hidráulica	1	11
	Filtros	1	0

	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	0
	Mangueras hidráulicas	1	2
	Válvulas de seguridad	1	0
	Válvulas limitadoras de presión	1	0
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0
	Sellos hidráulicos	1	3
	Válvulas sensores de presión	1	0
	Válvula anti caída	1	0
	Sistema piloto	1	0
	Acumuladores	1	2
	Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)	1	0
	Motor de giro (swing)	1	0
	Tren de rodaje	1	2
	Cilindros de la pluma (stick)	1	4
	Cilindro del brazo (boom)	1	2
	Cilindro del cucharón (bucket)	1	1
	Enfriadores de aceite	1	1
ELÉCTRICO	Batería	1	3
	Alternador	1	3
	Regulador	1	0
	Switches	1	0
	Distribuidor	1	2
	Bujías	1	1
	Bobina	1	0
	Motor de arranque	1	5
	Luces	1	9

*Elaboración propia*

En el gráfico de Pareto podemos visualizar el registro de fallas del Cargador frontal podemos notar que el subsistema de combustible y el subsistema hidráulico son los que presentan la mayor cantidad de fallas.

*Figura 4. 1: Clasificación de fallas para el Cargador Frontal CAT 938 G*



*Elaboración propia*

A continuación, se presenta el cuadro de fallas del tractor CAT D7G

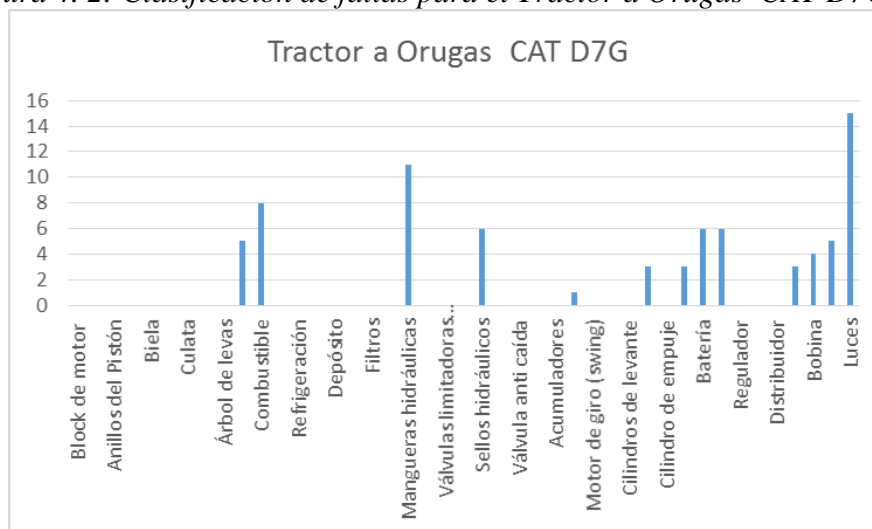
Tabla 4. 10: Fallas registradas del Tractor a orugas CAT D7G

TRACTOR A ORUGAS CAT D7G			
SISTEMA	SUB SISTEMA	CANT. DE COMPONENTES	CANT. DE FALLAS
MOTOR	Block de motor	1	0
	Pistón	1	0
	Anillos del Pistón	1	0
	Camisas	1	0
	Biela	1	0
	Cigüeñal	1	0
	Culata	1	0
	Junta de culata	1	0
	Árbol de levas	1	0
	Lubricación	1	9
	Combustible	1	8
	Fuerza	1	0
	Refrigeración	1	0
	Admisión y escape	1	0
HIDRÁULICO	Depósito	1	0
	Bomba hidráulica	1	0
	Filtros	1	0
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	0
	Mangueras hidráulicas	1	11
	Válvulas de seguridad	1	0
	Válvulas limitadoras de presión	1	0
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0
	Sellos hidráulicos	1	6
	Válvulas sensores de presión	1	0
	Válvula anti caída	1	0
	Sistema piloto	1	0
	Acumuladores	1	0
	Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)	1	1
	Motor de giro (swing)	1	0
	Tren de rodaje	1	0
	Cilindros de levante	1	0
	Cilindro del brazo (boom)	1	3
Cilindro de empuje	1	0	
Enfriadores de aceite	1	3	
ELÉCTRICO	Batería	1	6
	Alternador	1	6
	Regulador	1	0
	Switches	1	0
	Distribuidor	1	0
	Bujías	1	3
	Bobina	1	4
	Motor de arranque	1	5
Luces	1	15	

Elaboración propia

En el gráfico podemos visualizar el registro de fallas del Tractor a Orugas CAT D7G podemos notar que el subsistema de combustible, el subsistema hidráulico y eléctrico son los que presentan la mayor cantidad de fallas.

Figura 4. 2: Clasificación de fallas para el Tractor a Orugas CAT D7G



Elaboración propia

Mostramos en el cuadro a continuación las fallas registradas de la motoniveladora NEW HOLLAND RG200.

Tabla 4. 11: Fallas registradas de la Motoniveladora NEW HOLLAND RG200

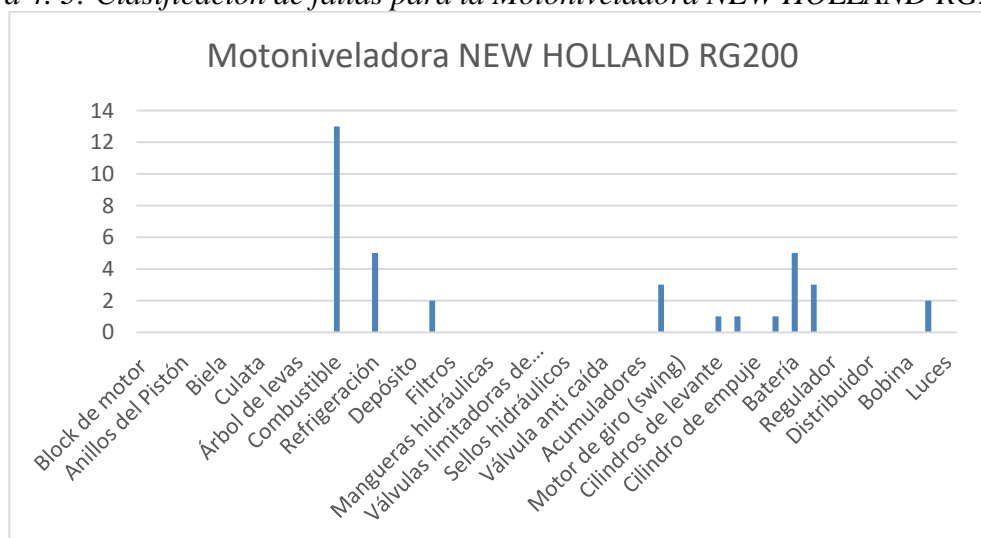
MOTONIVELADORA NEW HOLLAND RG200			
SISTEMA	SUB SISTEMA	CANT. DE COMPONENTES	CANT. DE FALLAS
MOTOR	Block de motor	1	0
	Pistón	1	0
	Anillos del Pistón	1	0
	Camisas	1	0
	Biela	1	0
	Cigüeñal	1	0
	Culata	1	0
	Junta de culata	1	0
	Árbol de levas	1	0
	Lubricación	1	0
	Combustible	1	13
	Fuerza	1	0
	Refrigeración	1	5
	Admisión y escape	1	0
HIDRÁULICO	Depósito	1	0
	Bomba hidráulica	1	2
	Filtros	1	0
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	0
	Mangueras hidráulicas	1	0

	Válvulas de seguridad	1	0
	Válvulas limitadoras de presión	1	0
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0
	Sellos hidráulicos	1	0
	Válvulas sensores de presión	1	0
	Válvula anti caída	1	0
	Sistema piloto	1	0
	Acumuladores	1	0
	Eje Tandem de tracción, Eje de dirección	1	3
	Motor de giro (swing)	1	0
	Tornamesa	1	0
	Cilindros de levante	1	1
	Cilindro del brazo (boom)	1	1
	Cilindro de empuje	1	0
	Enfriadores de aceite	1	1
ELÉCTRICO	Batería	1	5
	Alternador	1	3
	Regulador	1	0
	Switches	1	0
	Distribuidor	1	0
	Bujías	1	0
	Bobina	1	0
	Motor de arranque	1	2
	Luces	1	0

*Elaboración propia*

En el gráfico de Pareto podemos visualizar el registro de fallas de la Motoniveladora NEW HOLLAND RG200 podemos notar que el subsistema de combustible, el subsistema de refrigeración y eléctrico son los que presentan la mayor cantidad de fallas.

*Figura 4. 3: Clasificación de fallas para la Motoniveladora NEW HOLLAND RG200*



*Elaboración propia*

Mostramos en el cuadro a continuación las fallas registradas de la Excavadora Komatsu PC 350L C8.

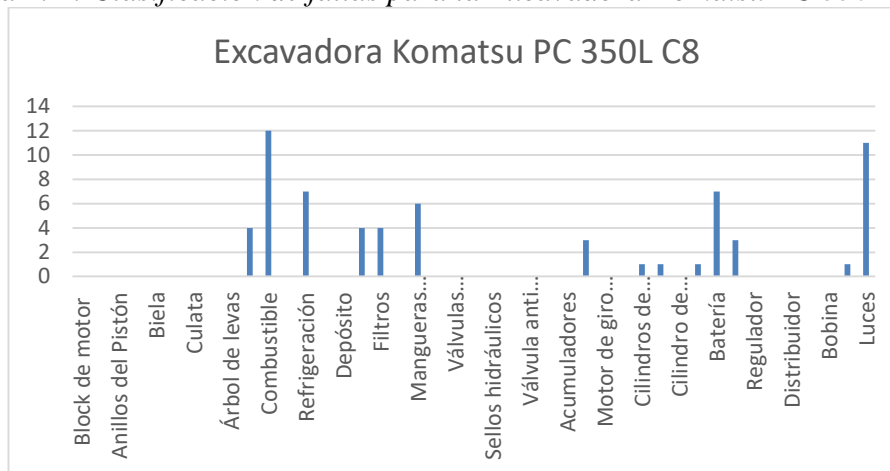
Tabla 4. 12: Fallas registradas de la Excavadora Komatsu PC 350L C8

EXCAVADORA KOMATSU PC 350L C8			
SISTEMA	SUB SISTEMA	CANT. DE COMPONENTES	CANT. DE FALLAS
MOTOR	Block de motor	1	0
	Pistón	1	0
	Anillos del Pistón	1	0
	Camisas	1	0
	Biela	1	0
	Cigüeñal	1	0
	Culata	1	0
	Junta de culata	1	0
	Árbol de levas	1	0
	Lubricación	1	4
	Combustible	1	12
	Fuerza	1	0
	Refrigeración	1	7
	Admisión y escape	1	0
HIDRÁULICO	Depósito	1	0
	Bomba hidráulica	1	4
	Filtros	1	4
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	0
	Mangueras hidráulicas	1	6
	Válvulas de seguridad	1	0
	Válvulas limitadoras de presión	1	0
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0
	Sellos hidráulicos	1	0
	Válvulas sensores de presión	1	0
	Válvula anti caída	1	0
	Sistema piloto	1	0
	Acumuladores	1	0
	Motor de traslación izquierdo, Motor de traslación derecho	1	3
	Motor de giro (swing)	1	0
	Tren de rodaje	1	0
	Cilindros de levante	1	1
	Cilindro del brazo (boom)	1	1
	Cilindro de empuje	1	0
Enfriadores de aceite	1	1	
ELÉCTRICO	Batería	1	7
	Alternador	1	3
	Regulador	1	0
	Switches	1	0
	Distribuidor	1	0
	Bujías	1	0
	Bobina	1	0
	Motor de arranque	1	1
Luces	1	11	

Elaboración propia

En el gráfico de Pareto podemos visualizar el registro de fallas de la Excavadora Komatsu PC 350L C8 podemos notar que el subsistema de combustible y eléctrico son los que presentan la mayor cantidad de fallas.

Figura 4. 4: Clasificación de fallas para la Excavadora Komatsu PC 350L-C8



Elaboración propia

Mostramos en el cuadro a continuación las fallas registradas del Mini cargador NEW HOLLAND L223.

Tabla 4. 13: Fallas registradas Mini cargador NEW HOLLAND L223.

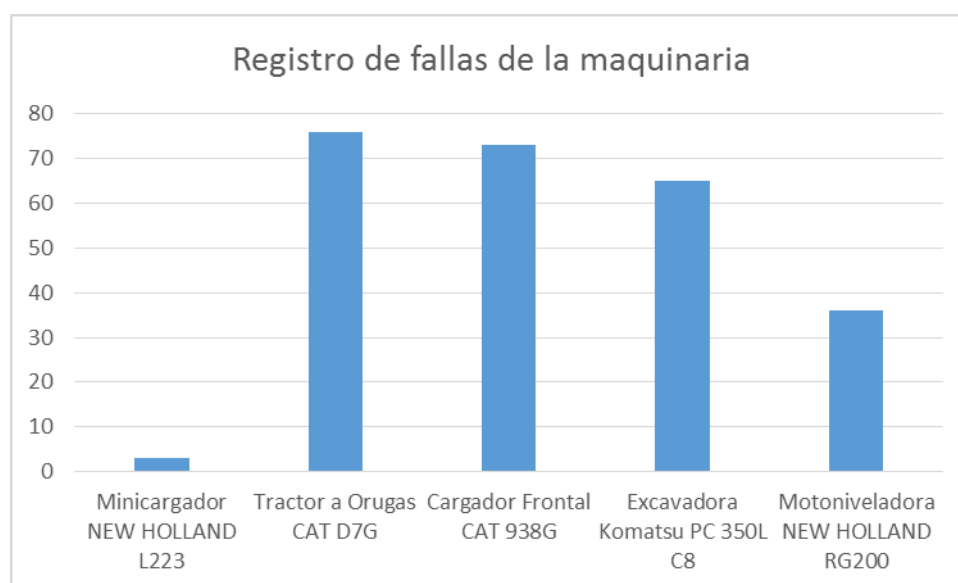
MINICARGADOR NEW HOLLAND L223			
SISTEMA	SUB SISTEMA	CANT. DE COMPONENTES	CANT. DE FALLAS
MOTOR	Block de motor	1	0
	Pistón	1	0
	Anillos del Pistón	1	0
	Camisas	1	0
	Biela	1	0
	Cigüeñal	1	0
	Culata	1	0
	Junta de culata	1	0
	Árbol de levas	1	0
	Lubricación	1	0
	Combustible	1	3
	Fuerza	1	0
	Refrigeración	1	0
	Admisión y escape	1	0

Elaboración propia

En el diagrama podemos visualizar los diferentes registros de fallas de la maquinaria en el periodo de fallas, tenemos que el Mini cargador es el que registro menos fallas



Figura 4. 5: Registro de fallas de los equipos



*Elaboración propia*

#### 4.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE ACTIVOS

Se realizó el análisis de criticidad a los diferentes sub sistemas que de acuerdo a las fallas registradas nos permitirá realizar el análisis de efecto y modos de fallas de los subsistemas que resulten críticos de acuerdo al método planteado en el capítulo III. A continuación, mostramos los resultados obtenidos aplicando el análisis de criticidad a la maquinaria.

Figura 4. 6: Criterios de Evaluación de Criticidad de Equipos

Criticidad total = Frecuencia de fallas x Consecuencia			
Consecuencia = ((Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costos Mtto. + Impacto SHA)			
Frecuencia de Fallas		Costo de Mantenimiento	
mayor a 4 fallas/año	4	mayor a S/.1000.00	2
promedio 2 a 4 fallas/año	3	inferior a S/.1000.00	1
Buena 1 a 2 fallas/año	2	Impacto en SHA	
Excelente menores de 1 falla/año	1	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Impacto Operacional		Afecta el ambiente instalaciones	7
Parada inmediata	10	Afecta las instalaciones causando daños severos	5
Repercusión en costos operacionales	8	Provoca daños menores (ambiente seguridad)	3
Impacto en niveles de producción	4	No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1
No genera ningún efecto significativo sobre la operación y producción	1	No produce lesión	1
Flexibilidad Operacional			
No existe opción de repuesto	4		
Hay opción de repuesto compartido	2		
Función de repuesto disponible	1		

Fuente: (LLAMBA, 2014)

Se muestra el cuadro de los sub sistemas que se analizó durante el periodo de estudio el periodo comprendió aproximadamente 02 años.

De acuerdo a la valoración tenemos la siguiente:

Tabla 4. 14: Evaluación de Criticidad del Cargador Frontal CAT 938G

Cargador Frontal CAT 938G									
SUB SISTEMAS DE LA RED PRIMARIA	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTENIMIENTO	IMPACTO DE SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	CONSECUENCIA	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
Combustible	4	10	2	2	2	1	25	100	CRITICO
Bomba hidráulica	4	10	2	2	2	1	25	100	CRITICO
Lubricación	3	10	2	2	2	1	25	75	SEMI CRITICO
Cilindros de la pluma (stick)	3	10	2	2	2	1	25	75	SEMI CRITICO
Sellos hidráulicos	3	8	2	1	2	1	20	60	SEMI CRITICO
Motor de arranque	4	10	1	2	2	1	15	60	SEMI CRITICO
Acumuladores	2	10	2	2	2	1	25	50	SEMI CRITICO
Tren de rodaje	2	10	2	2	2	1	25	50	SEMI CRITICO
Cilindro del brazo (boom)	2	10	2	2	2	1	25	50	SEMI CRITICO
Batería	3	10	1	1	2	1	14	42	SEMI CRITICO
Alternador	3	10	1	1	2	1	14	42	SEMI CRITICO
Mangueras hidráulicas	2	10	1	1	2	1	14	28	NC: NO CRITICO
Distribuidor	2	10	1	1	2	1	14	28	NC: NO CRITICO
Refrigeración	2	8	1	2	2	1	13	26	NC: NO CRITICO
Block de motor	1	10	2	2	2	1	25	25	NC: NO CRITICO

Elaboración Propia

Observamos que tenemos dos sub sistemas críticos en el cargador frontal CAT 938G, que es el subsistema de combustible y la bomba hidráulica.

Tabla 4. 15: Evaluación de Criticidad del Tractor a orugas CAT D7G

Tractor a Orugas CAT D7G									
Sub Sistemas del Cargador Frontal CAT 938G	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTOS DE MANTENIMIENTO	IMPACTO DE SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	CONSECUENCIA	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
Lubricación	4	10	2	2	2	1	25	100	CRITICO
Combustible	4	10	2	2	2	1	25	100	CRITICO
Mangueras hidráulicas	4	10	2	1	2	1	24	96	CRITICO
Sellos hidráulicos	4	8	2	1	2	1	20	80	SEMI CRITICO
Cilindro del brazo (boom)	3	10	2	2	2	1	25	75	SEMI CRITICO
Enfriadores de aceite	3	8	2	2	2	1	21	63	SEMI CRITICO
Motor de arranque	4	10	1	2	2	1	15	60	SEMI CRITICO
Batería	4	10	1	1	2	1	14	56	SEMI CRITICO
Alternador	4	10	1	1	2	1	14	56	SEMI CRITICO
Bobina	4	10	1	1	2	1	14	56	SEMI CRITICO
Bujías	3	10	1	1	2	1	14	42	SEMI CRITICO
Luces	4	1	1	1	2	1	5	20	SEMI CRITICO
Block de motor	1	10	2	2	2	1	25	25	NC: NO CRITICO
Pistón	1	10	2	2	2	1	25	25	NC: NO CRITICO
Anillos del Pistón	1	10	2	2	2	1	25	25	NC: NO CRITICO
Camisas	1	10	2	2	2	1	25	25	NC: NO CRITICO

Elaboración Propia

Observamos que tenemos tres sub sistemas críticos en el Tractor CAT D7G, que es el subsistema de lubricación, combustible y mangueras hidráulicas.

Tabla 4. 16: Evaluación de Criticidad de la Motoniveladora Newhollan RG 200

Motoniveladora NEW HOLLAND RG200									
Sub Sistemas del Cargador Frontal CAT 938G	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTOS DE MANTENIMIENTO	IMPACTO DE SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	CONSECUENCIA	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
Combustible	4	10	2	2	2	1	25	100	CRITICO
Eje Tandem de tracción Eje de direccion	3	10	2	2	2	1	25	75	SEMI CRITICO
Enfriadores de aceite	3	8	2	2	2	1	21	63	SEMI CRITICO
Batería	4	10	1	1	2	1	14	56	SEMI CRITICO
Refrigeración	4	8	1	2	2	1	13	52	SEMI CRITICO
Bomba hidráulica	2	10	2	2	2	1	25	50	SEMI CRITICO
Alternador	3	10	1	1	2	1	14	42	SEMI CRITICO
Motor de arranque	2	10	1	2	2	1	15	30	NC: NO CRITICO
Block de motor	1	10	2	2	2	1	25	25	NC: NO CRITICO
Pistón	1	10	2	2	2	1	25	25	NC: NO CRITICO

Elaboración Propia

Como podemos observar en el cuadro la Motoniveladora NEWHOLLAN RG 200 solo presenta un subsistema crítico.

Tabla 4. 17: Evaluación de Criticidad de la Excavadora Komatsu PC 350L

Excavadora Komatsu PC 350L C8

Sub Sistemas del Cargador Frontal CAT 938G	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTOS DE MANTENIMIENTO	IMPACTO DE SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	CONSECUENCIA	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
Lubricación	4	10	2	2	2	1	25	100	CRITICO
Combustible	3	10	2	2	2	1	25	75	SEMI CRITICO
Bomba hidráulica	3	10	2	2	2	1	25	75	SEMI CRITICO
Mangueras hidráulicas	3	10	2	1	2	1	24	72	SEMI CRITICO
Eje Tandem de tracción Eje de dirección	3	10	2	2	2	1	25	75	SEMI CRITICO
Filtros	4	10	1	1	2	1	14	56	SEMI CRITICO
Batería	4	10	1	1	2	1	14	56	SEMI CRITICO
Refrigeración	4	8	1	2	2	1	13	52	SEMI CRITICO
Alternador	3	10	1	1	2	1	14	42	SEMI CRITICO
Motor de arranque	2	10	1	2	2	1	15	30	NC: NO CRITICO
Block de motor	1	10	2	2	2	1	25	25	NC: NO CRITICO
Pistón	1	10	2	2	2	1	25	25	NC: NO CRITICO

Elaboración Propia

Observamos que tenemos cuatro sub sistemas críticos en el Excavadora Komatsu PC 350L, que es el subsistema de lubricación, combustible, la bomba hidráulica y la manguera hidráulica.

#### 4.5 DETERMINACIÓN DE LOS INTERVALOS DE INTERVENCIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El análisis de confiabilidad de los equipos críticos está basado en la distribución Weibull, se realiza a partir de los datos históricos de los componentes que registraron fallas (Sub sistemas críticos). Este historial corresponde al registro obtenido del sistema de administración de mantenimiento comprendido entre periodos establecidos para cada equipo.

La distribución de Weibull nos permite estudiar cuál es la distribución de fallos de un componente clave de seguridad que pretendemos controlar y que a través de nuestro registro de fallos observamos que éstos varían a lo largo del tiempo y dentro de lo que se considera tiempo normal de uso. Por lo tanto, tenemos los siguientes parámetros:

Distribución de densidad:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad \dots(4.1)$$

Distribución acumulada:

$$F(t) = 1 - e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad \dots(4.2)$$

Función de confiabilidad:

$$R(t) = e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad \dots(4.3)$$

Función de riesgo:

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad \dots(4.4)$$

Donde  $t \geq \gamma$

Las ecuaciones (4-2), (4-3) y (4-4) sólo se aplican para valores de  $(t - t_0) \geq 0$ . Para valores de  $(t - t_0) < 0$ , las funciones de densidad y la tasa de fallos valen 0. Las constantes que aparecen en las expresiones anteriores tienen una interpretación física:

$t_0$  es el parámetro de posición (unidad de tiempos) 0 vida mínima y define el punto de partida u origen de la distribución.

$\eta$  es el parámetro de escala, extensión de la distribución a lo largo, del eje de los tiempos. Cuando  $(t - t_0) = \eta$  la fiabilidad viene dada por:

$$R(t) = \exp(-t/\text{MTBF}) = \exp(-\lambda t) \quad R(t) = \exp(-t/\text{MTBF}) = \exp(-\lambda t)$$

Donde  $\lambda$  es la rata constante de falla y MTBF es el Tiempo Medio Entre Fallas, el MTBF mide el tiempo entre las fallas del sistema.

Para los modos de falla distribuidos exponencialmente, el MTBF es un índice básico de confiabilidad, la rata de falla,  $\lambda$ , es el recíproco del MTBF.

Se puede graficar en papel ordinario ( $\ln(t(i))$ ,  $\ln(-\ln(1-F(t)))$ ), o graficar en papel logarítmico de Weibull. Para nuestro caso graficaremos utilizando el libro Excel.

Para poder determinar el indicador de confiabilidad de los componentes críticos de los equipos es necesario seguir una serie de pasos, todo esto utilizando la información en los sistemas informáticos como en los respaldos impresos existentes en el departamento de mantenimiento.

## **4.6 DETERMINACIÓN DE LOS INTERVALOS DE MANTENIMIENTO DE LOS SUBSISTEMAS CRÍTICOS**

### **4.6.1 Intervalos para el Cargador Frontal CAT 938G**

Para el cargador frontal tenemos dos sub sistemas críticos en el cargador frontal CAT 938G, que es el subsistema de combustible y la bomba hidráulica mostramos a continuación el data para los subsistemas críticos.

En el cuadro mostramos el registro de fallas según el horometro del filtro de combustible.

Los datos necesarios para poder calcular la confiabilidad del equipo respecto al conjunto o componente crítico del sistema de combustible, son los que se muestran en el cuadro 19.

Tabla 4. 18: Registro de fallas filtro de combustible del Cargador Frontal

Evento	Horometro	Filtro combustible
F1	8934	1
F2	9176	1
F3	9220	1
F4	9401	1
F5	9559	1
F6	9803	1
F7	9967	1
F8	10201	1
F9	10400	1
F10	10587	1
F11	10765	1
F12	11001	1
F13	11187	1
F14	11250	1
F15	11465	1
F16	11589	1
F17	11735	1
F18	11881	1
F19	12026	1

*Elaboración Propia*

En primer lugar, se deben ordenar las horas de operación desde el menor número hasta el mayor de estos, que se realizó en la hoja Excel.

Se calcula el rango medio, con esto se determina los parámetros  $\beta$ ,  $\eta$  y  $\gamma$ ,

Para poder construir el gráfico de Weibull es necesario comenzar con el cálculo del Rango medio o de mediana según el tamaño de la muestra como indica la fórmula de Bernard.

$$r_i = \frac{j_i - 0.3}{N + 0.4} \quad \dots(4.5)$$

Para graficar estos rangos medios los valores del eje X se obtienen aplicando logaritmo natural al tiempo entre fallas (T) y los valores del eje Y aplicando doble logaritmo al rango medio F(t), como se muestra en el cuadro 20.

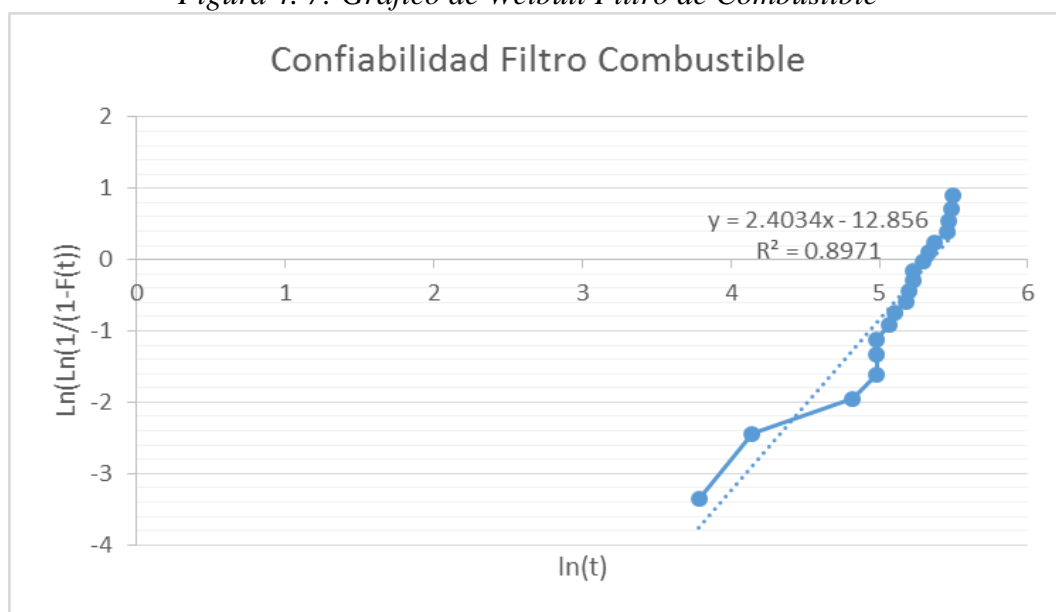
Tabla 4. 19: Valores Obtenidos Weibull Filtro combustible

$F(i) = \left[ \frac{i}{(n+1)} \right]$	T (hrs)	$F(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$	ln(t)	Ln(Ln(1/(1-F(t))))	R (t)
			X	Y	
1.00	44	3.43%	3.78418963	-3.354802509	96.57%
2.00	63	8.33%	4.14313473	-2.441716399	91.67%
3.00	124	13.24%	4.82028157	-1.952137671	86.76%
4.00	145.5	18.14%	4.98017609	-1.608807204	81.86%
5.00	145.5	23.04%	4.98017609	-1.339891087	76.96%
6.00	146	27.94%	4.98360662	-1.115695152	72.06%
7.00	158	32.84%	5.06259503	-0.920953918	67.16%
8.00	164	37.75%	5.09986643	-0.746689513	62.25%
9.00	178	42.65%	5.18178355	-0.587084006	57.35%
10.00	181	47.55%	5.19849703	-0.438053654	52.45%
11.00	186	52.45%	5.22574667	-0.296508894	47.55%
12.00	187	57.35%	5.23110862	-0.159920103	42.65%
13.00	199	62.25%	5.29330482	-0.026021058	37.75%
14.00	207	67.16%	5.33271879	0.107442983	32.84%
15.00	215	72.06%	5.37063803	0.24300008	27.94%
16.00	234	76.96%	5.45532112	0.383882124	23.04%
17.00	236	81.86%	5.46383181	0.534855821	18.14%
18.00	242	86.76%	5.48893773	0.704227134	13.24%
19.00	244	91.67%	5.49716823	0.910235093	8.33%

Elaboración Propia

La aplicación de la regresión lineal permite validar el grado de linealización de los datos. De la ecuación resultante de la correlación, se obtiene como parámetro  $\beta$  el valor que acompaña a la variable independiente.

Figura 4. 7: Gráfico de Weibull Filtro de Combustible



Elaboración Propia



Tenemos los parámetros entregados por el gráfico de ajuste de Weibull, los resultados se muestran a continuación.

*Tabla 4. 20: Valores de los Parámetros para el Filtro de Combustible del Cargador Frontal CAT 938G*

PARAMETRO	VALOR
$\beta$	2.403
$\gamma$	0
$\eta$	210
$R^2$	0.8971
b	-12.856
R	0.9472

*Elaboración Propia*

Los parámetros generados por el gráfico X, Y, nos muestra el valor de  $\beta$  es mucho mayor que 1, indica que se encuentra en una etapa de tasa de fallas creciente en etapa de fatiga, terminando su vida útil.

El coeficiente de correlación ( $R^2$ ) está cercano a uno, por lo tanto, hay dependencia lineal de los datos.

En el cuadro se muestran los resultados del ajuste de la distribución Weibull para el filtro de combustible, el cual nos indica que el mantenimiento preventivo se de realizar cada 135 Horas de operación, con una confiabilidad del 70.87%. Tenemos un tiempo medio entre fallas de 250.4 horas.

Con los valores de  $\beta$  y  $\eta$ , que se determinó en al análisis anterior, se obtiene la confiabilidad  $R(t)$ , que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t. utilizando la fórmula 4-3 obtenemos los resultados para un tiempo (t) de 135 horas

Tabla 4. 21: Confiabilidad y MTTF para un tiempo (t) de 135 horas del filtro de combustible del cargador frontal CAT 938G

t	135
R(t)	<b>70.87%</b>
MTTF	250.4

Elaboración Propia

Seguimos el mismo procedimiento para la estimación del intervalo de mantenimiento de la bomba hidráulica.

En el cuadro mostramos el registro de fallas según el horómetro de la bomba hidráulica.

Tabla 4. 22: Registro de fallas bomba hidráulica del Cargador Frontal

Evento	Horometro	Bomba Hidraulica
F1	9185	<b>1</b>
F2	9381	<b>1</b>
F3	9718	<b>1</b>
F4	10016	<b>1</b>
F5	10266	<b>1</b>
F6	10576	<b>1</b>
F7	10883	<b>1</b>
F8	11294	<b>1</b>
F9	11627	<b>1</b>
F10	11994	<b>1</b>
F11	12307	<b>1</b>

Elaboración Propia

Tabla 4. 23: Valores Obtenidos Weibull Bomba Hidráulica

$F(i) = \left[ \frac{i}{(n+1)} \right]$	T (hrs)	$F(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$	ln(t)	Ln(Ln(1/(1-F(t))))	R(t)
			X	Y	
1.00	196	5.65%	5.27811466	-2.845458285	94.35%
2.00	250	13.71%	5.52146092	-1.914247621	86.29%
3.00	251	21.77%	5.52545294	-1.404170849	78.23%
4.00	298	29.84%	5.69709349	-1.037403987	70.16%
5.00	307	37.90%	5.72684775	-0.741337623	62.10%
6.00	310	45.97%	5.7365723	-0.485175833	54.03%
7.00	313	54.03%	5.74620319	-0.252018579	45.97%
8.00	333	62.10%	5.80814249	-0.03032111	37.90%
9.00	337	70.16%	5.82008293	0.190094315	29.84%
10.00	367	78.23%	5.90536185	0.421630212	21.77%
11.00	411	86.29%	6.01859321	0.686660297	13.71%

Elaboración Propia

Tenemos los parámetros entregados por el gráfico de ajuste de Weibull, los resultados se muestran a continuación.

*Tabla 4. 24: Valores de los Parámetros para la Bomba Hidráulica del Cargador Frontal CAT 938G*

PARAMETRO	VALOR
$\beta$	5.131
$\gamma$	0
$\eta$	343
$R^2$	0.959
b	-29.958
R	0.980

*Elaboración Propia*

Los parámetros generados por el gráfico X, Y, nos muestra el valor de  $\beta$  es mucho mayor que 1, indica que se encuentra en una etapa de tasa de fallas creciente en etapa de fatiga, terminando su vida útil.

El coeficiente de correlación ( $R^2$ ) está cercano a uno, por lo tanto hay dependencia lineal de los datos.

En el cuadro se muestran los resultados del ajuste de la distribución Weibull para bomba hidráulica, el cual nos indica que el mantenimiento preventivo se de realizar cada 135 Horas de operación, con una confiabilidad del 70.87%. Tenemos un tiempo medio entre fallas de 250.4 horas.

Con los valores de  $\beta$  y  $\eta$ , que se determinó en el análisis anterior, se obtiene la confiabilidad  $R(t)$ , que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t. utilizando la fórmula 4-3 obtenemos los resultados para un tiempo (t) de 135 horas.

Tabla 4. 25: Confiabilidad y MTTF para un tiempo (t) de 135 horas de la Bomba

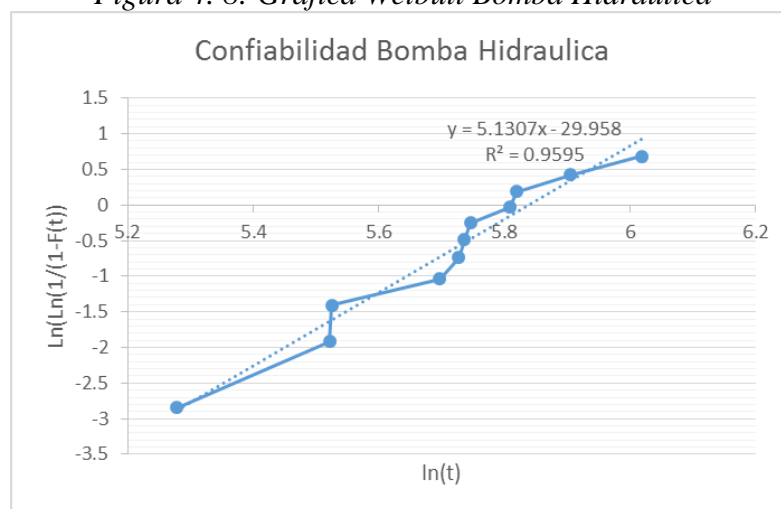
Hidráulica del cargador frontal CAT 938G

t	135
R(t)	<b>70.87%</b>
MTTF	250.4

Elaboración Propia

MTTF : Es el tiempo medio entre fallas.

Figura 4. 8: Grafica Weibull Bomba Hidráulica



Elaboración Propia

#### 4.6.2 Intervalos para el Tractor a orugas CAT D7G

De acuerdo al análisis de criticidad del Tractor a Orugas CAT D7G podemos notar que el subsistema de combustible, el subsistema hidráulico y lubricación son los sistemas críticos.

En el cuadro mostramos el registro de fallas según el horómetro del filtro de combustible.

Tabla 4. 26: Registro de fallas filtro combustible Tractor D7G

Evento	Horometro	Bomba Hidraulica
F1	12007	1
F2	12188	1
F3	12346	1
F4	12590	1
F5	12754	1
F6	12988	1
F7	13187	1
F8	13374	1
F9	13552	1
F10	13788	1
F11	13974	1

Elaboración Propia

Tabla 4. 27: Valores Obtenidos Weibull Combustible Tractor D7G

$F(i) = \frac{i}{(n+1)}$	T (hrs)	$F(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$	ln(t)	Ln(Ln(1/(1-F(t))))	R(t)
			X	Y	
1.00	158	6.14%	5.06259503	-2.758770808	93.86%
2.00	164	14.91%	5.09986643	-1.823327725	85.09%
3.00	178	23.68%	5.18178355	-1.308258602	76.32%
4.00	181	32.46%	5.19849703	-0.935491323	67.54%
5.00	186	41.23%	5.22574667	-0.632041114	58.77%
6.00	187	50.00%	5.23110862	-0.366512921	50.00%
7.00	199	58.77%	5.29330482	-0.120980941	41.23%
8.00	234	67.54%	5.45532112	0.11803237	32.46%
9.00	236	76.32%	5.46383181	0.364894181	23.68%
10.00	244	85.09%	5.49716823	0.643423761	14.91%

Elaboración Propia

Tenemos los parámetros entregados por el gráfico de ajuste de Weibull, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 4. 28: Valores de los Parámetros para el Combustible del Tractor D7G

PARAMETRO	VALOR
$\beta$	6.352
$\gamma$	0
$\eta$	217
$R^2$	0.859
b	-34.165
R	0.927

Elaboración Propia

Los parámetros generados por el gráfico X, Y, nos muestra el valor de  $\beta$  es mucho mayor que 1, indica que se encuentra en una etapa de tasa de fallas creciente en etapa de fatiga, terminando su vida útil.

El coeficiente de correlación ( $R^2$ ) está cercano a uno, por lo tanto, hay dependencia lineal de los datos.

En el cuadro se muestran los resultados del ajuste de la distribución Weibull para el filtro de combustible, el cual nos indica que el mantenimiento preventivo se de realizar cada 280 Horas de operación, con una confiabilidad del 70.41%. Tenemos un tiempo medio entre fallas de 375.4 horas.

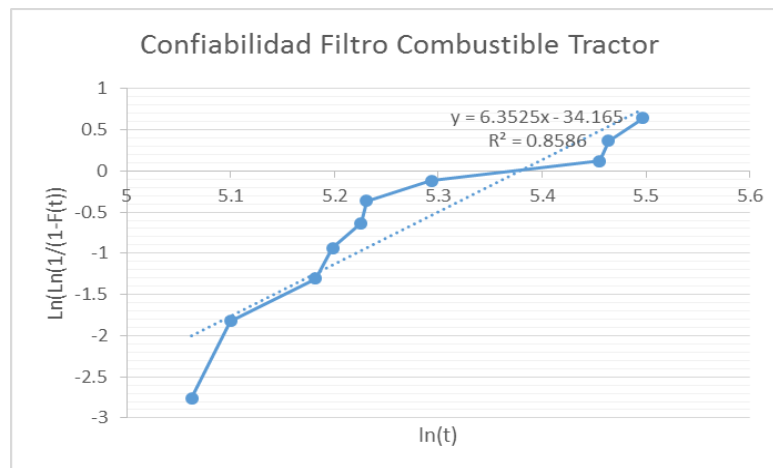
Con los valores de  $\beta$  y  $\eta$ , que se determinó en al análisis anterior, se obtiene la la confiabilidad  $R(t)$ , que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t. utilizando la fórmula 4-3 obtenemos los resultados para un tiempo (t) de 280 horas

Tabla 4. 29: Confiabilidad y MTTF para un tiempo (t) de 280 horas del filtro de combustible del Tractor D7G

PARAMETRO	VALOR
t	280
R(t)	<b>70.41%</b>
MTTF	375.4

Elaboración Propia

Figura 4. 9: Grafica Weibull Combustible Tractor D7G



Elaboración Propia

En el cuadro mostramos el registro de fallas según el horómetro de manguera hidráulica del cilindro de levante derecho de la hoja topadora del tractor.

Tabla 4. 30: Registro de fallas Manguera Hidráulica Tractor D7G

Evento	Horometro	Manguera Hidráulica
F1	11879	1
F2	12051	1
F3	12215	1
F4	12380	1
F5	12558	1
F6	12777	1
F7	13079	1
F8	13380	1
F9	13709	1
F10	13788	1
F11	14052	1

Elaboración Propia

Tabla 4. 31: Valores Obtenidos Weibull Manguera Tractor D7G

$F(i) = \left[ \frac{i}{(n+1)} \right]$	T (hrs)	$F(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$	ln(t) X	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y	R(t)
1.00	78.90769	6.14%	4.36827872	-2.758770808	93.86%
2.00	164.4629	14.91%	5.10268524	-1.823327725	85.09%
3.00	164.4629	23.68%	5.10268524	-1.308258602	76.32%
4.00	171.7577	32.46%	5.14608472	-0.935491323	67.54%
5.00	178.1682	41.23%	5.18272795	-0.632041114	58.77%
6.00	219.2839	50.00%	5.39036731	-0.366512921	50.00%
7.00	263.7234	58.77%	5.57490093	-0.120980941	41.23%
8.00	301.5154	67.54%	5.70882104	0.11803237	32.46%
9.00	301.5154	76.32%	5.70882104	0.364894181	23.68%
10.00	328.9259	85.09%	5.79583242	0.643423761	14.91%

Elaboración Propia

Tenemos los parámetros entregados por el gráfico de ajuste de Weibull, los resultados se muestran a continuación.

*Tabla 4. 32: Valores de los Parámetros para Manguera Hidráulica del Tractor D7G*

PARAMETRO	VALOR
$\beta$	2.376
$\gamma$	0
$\eta$	269
$R^2$	0.931
b	-13.292
R	0.965
R	1
Difere.	0.0351

*Elaboración Propia*

Los parámetros generados por el gráfico X, Y, nos muestra el valor de  $\beta$  es mucho mayor que 1, indica que se encuentra en una etapa de tasa de fallas creciente en etapa de fatiga, terminando su vida útil.

El coeficiente de correlación ( $R^2$ ) está cercano a uno, por lo tanto hay dependencia lineal de los datos.

En el cuadro se muestran los resultados del ajuste de la distribución Weibull para la manguera hidráulica, lo cual nos indica que el mantenimiento preventivo se debe realizar cada 175 Horas de operación, con una confiabilidad del 70%. Tenemos un tiempo medio entre fallas de 320.8 horas.

Con los valores de  $\beta$  y  $\eta$ , que se determinó en el análisis anterior, se obtiene la confiabilidad R (t), que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t. utilizando la fórmula 4-3 obtenemos los resultados para un tiempo (t) de 175 horas

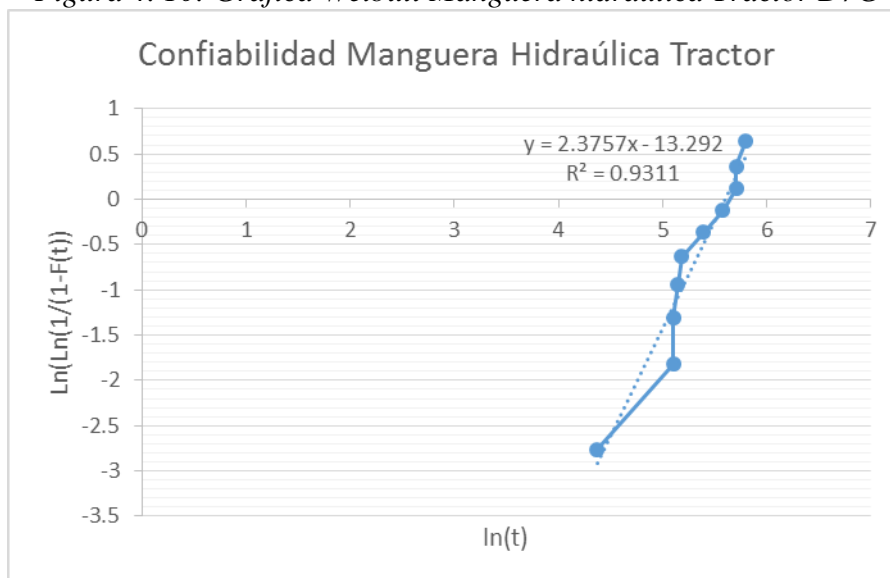
*Tabla 4. 33: Confiabilidad y MTTF para un tiempo (t) de 175 horas para la manguera hidráulica del Tractor D7G*

PARAMETRO	VALOR
t	175
R(t)	<b>70%</b>
MTTF	320.8

*Elaboración Propia*



Figura 4. 10: Grafica Weibull Manguera hidráulica Tractor D7G



Elaboración Propia

En el cuadro mostramos el registro de fallas según el horómetro del sistema de lubricación.

Tabla 4. 34: Registro del sistema lubricación Tractor D7G

Evento	Horometro	Lubricación
F1	11800	1
F2	12115	1
F3	12429	1
F4	12751	1
F5	13079	1
F6	13448	1
F7	13862	1
F8	14313	1
F9	14765	1

Elaboración Propia

Tabla 4. 35: Valores Obtenidos Weibull Lubricación Tractor D7G

$F(i) = \left[ \frac{i}{(n+1)} \right]$	T (hrs)	$F(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$	ln(t)	Ln(Ln(1/(1-F(t))))	R(t)
			X	Y	
1.00	314.4629	7.45%	5.75086622	-2.558940818	92.55%
2.00	314.4629	18.09%	5.75086622	-1.611994375	81.91%
3.00	321.7577	28.72%	5.77379875	-1.082929422	71.28%
4.00	328.1682	39.36%	5.79352623	-0.69266027	60.64%
5.00	369.2839	50.00%	5.91156577	-0.366512921	50.00%
6.00	413.7234	60.64%	6.0251977	-0.070018179	39.36%
7.00	451.5154	71.28%	6.11260945	0.221107814	28.72%
8.00	451.5154	81.91%	6.11260945	0.536540994	18.09%

Elaboración Propia

Tenemos los parámetros entregados por el gráfico de ajuste de Weibull, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 4. 36: Valores de los Parámetros para la lubricacion del Tractor D7G

PARAMETRO	VALOR
$\beta$	5.636
$\gamma$	0
$\eta$	415
$R^2$	0.772
b	-33.979
R	0.879
R	1
Difere.	0.1215

Elaboración Propia

Los parámetros generados por el gráfico X, Y, nos muestra el valor de  $\beta$  es mucho mayor que 1, indica que se encuentra en una etapa de tasa de fallas creciente en etapa de fatiga, terminando su vida útil.

El coeficiente de correlación ( $R^2$ ) está cercano a uno, por lo tanto hay dependencia lineal de los datos.

En el cuadro se muestran los resultados del ajuste de la distribución Weibull para la lubricación, lo cual nos indica que el mantenimiento preventivo se debe realizar cada 345 Horas de operación, con una confiabilidad del 70.31%, Tenemos un tiempo medio entre fallas de 450.5 horas.

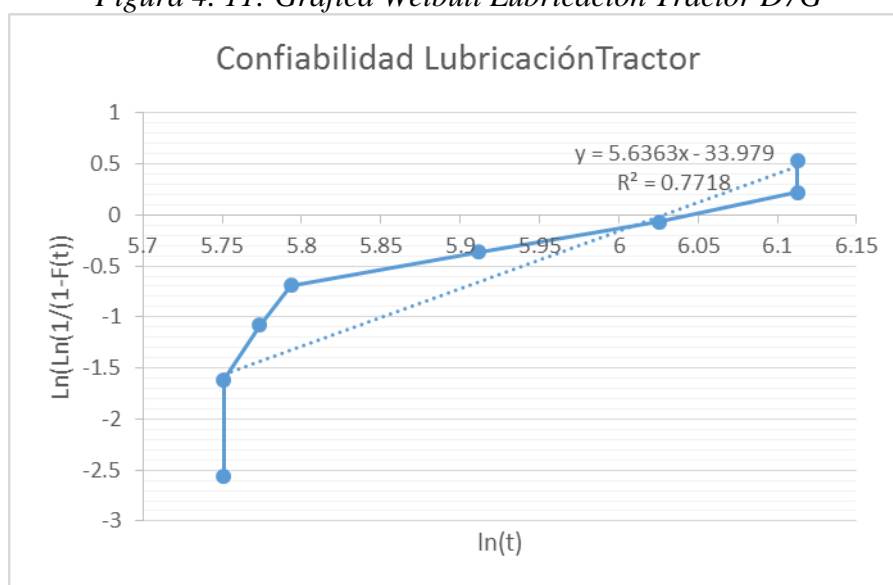
Con los valores de  $\beta$  y  $\eta$ , que se determinó en el análisis anterior, se obtiene la confiabilidad  $R(t)$ , que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante  $t$ . utilizando la fórmula 4-3 obtenemos los resultados para un tiempo ( $t$ ) de 345 horas.

Tabla 4. 37: Confiabilidad y MTTF para un tiempo ( $t$ ) de 345 horas para la lubricación del Tractor D7G

PARAMETRO	VALOR
t	345
R(t)	<b>70.31%</b>
MTTF	450.5

Elaboración Propia

Figura 4. 11: Grafica Weibull Lubricación Tractor D7G



Elaboración Propia

#### 4.6.3 Intervalos para la Motoniveladora NEWHOLLAN RG 200

De acuerdo al análisis de criticidad del Motoniveladora NEWHOLLAN RG 200 podemos notar que el subsistema de combustible, es el sistema crítico.

En el cuadro mostramos el registro de fallas según el horómetro del filtro de combustible.

Tabla 4. 38: Registro fallas Motoniveladora NEWHOLLAN RG 200

Evento	Horometro	Filtro combustible
F1	11456	1
F2	11677	1
F3	11866	1
F4	12042	1
F5	12228	1
F6	12384	1
F7	12562	1
F8	12796	1
F9	12994	1
F10	13230	1
F11	13462	1
F12	13651	1
F13	13805	1

Elaboración Propia

Tabla 4. 39: Valores Obtenidos Weibull Filtro de combustible Motoniveladora NEW HOLLAN RG 200

$F(i) = \left[ \frac{i}{(n+1)} \right]$	T (hrs)	$F(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$	ln(t)	Ln(Ln(1/(1-F(t))))	R(t)
			X	Y	
1.00	154	5.22%	5.0369526	-2.925223234	94.78%
2.00	156	12.69%	5.04985601	-1.99756029	87.31%
3.00	176	20.15%	5.170484	-1.491606142	79.85%
4.00	178	27.61%	5.18178355	-1.129704207	72.39%
5.00	186	35.07%	5.22574667	-0.839487848	64.93%
6.00	189	42.54%	5.24174702	-0.59052854	57.46%
7.00	189	50.00%	5.24174702	-0.366512921	50.00%
8.00	198	57.46%	5.28826703	-0.156901171	42.54%
9.00	221	64.93%	5.3981627	0.046589839	35.07%
10.00	232	72.39%	5.44673737	0.252253233	27.61%
11.00	234	79.85%	5.45532112	0.47125468	20.15%
12.00	236	87.31%	5.46383181	0.724949317	12.69%

Elaboración Propia

Tenemos los parámetros entregados por el gráfico de ajuste de Weibull, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 4. 40: Valores de los Parámetros para el filtro de combustible de la motoniveladora NEW HOLLAN RG 200

PARAMETRO	VALOR
$\beta$	6.903
$\gamma$	0
$\eta$	213
b	-37.026
$R^2$	0.9122
R	0.9551

*Elaboración Propia*

Los parámetros generados por el gráfico X, Y, nos muestra el valor de  $\beta$  es mucho mayor que 1, indica que se encuentra en una etapa de tasa de fallas creciente en etapa de fatiga, terminando su vida útil.

El coeficiente de correlación ( $R^2$ ) está cercano a uno, por lo tanto hay dependencia lineal de los datos.

En el cuadro se muestran los resultados del ajuste de la distribución Weibull para el sistema de combustible, lo que nos indica que el mantenimiento preventivo se debe realizar cada 183 Horas de operación, con una confiabilidad del 70.77%. Tenemos un tiempo medio entre fallas de 228.4 horas.

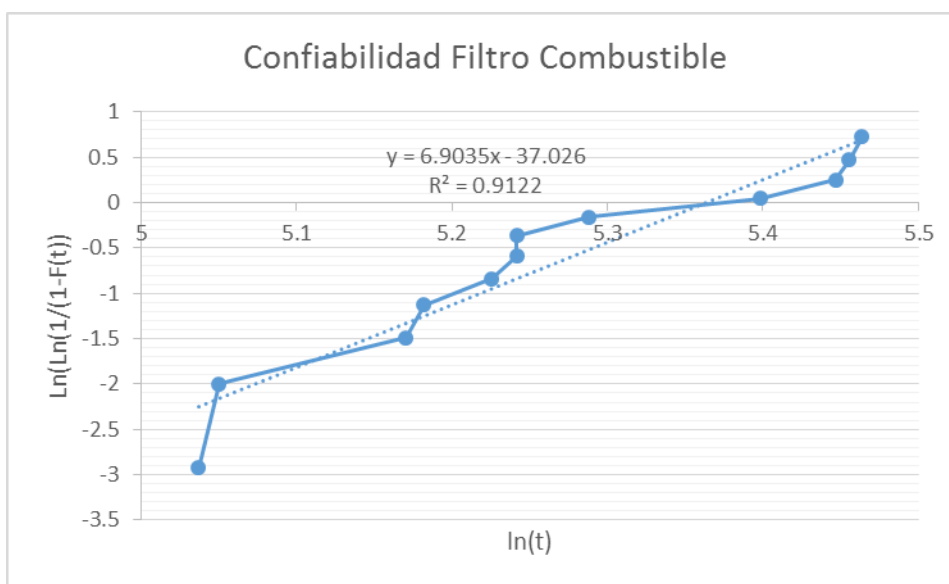
Con los valores de  $\beta$  y  $\eta$ , que se determinó en el análisis anterior, se obtiene la confiabilidad R (t), que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t. utilizando la fórmula 4-3 obtenemos los resultados para un tiempo (t) de 183 horas.

Tabla 4. 41: Confiabilidad y MTTF para un tiempo (t) de 183 horas para el filtro de combustible de la motoniveladora NEW HOLLAN RG 200

PARAMETRO	VALOR
t	183
R(t)	<b>70.77%</b>
MTTF	228.4

*Elaboración Propia*

Figura 4. 12: Grafica Weibull Filtro de combustible RG 200



Elaboración Propia

#### 4.6.4 Intervalos para la Excavadora Komatsu PC 350LC 8

De acuerdo al análisis de criticidad de la Excavadora Komatsu PC 350LC 8 podemos notar que el subsistema de combustible, es el sistema crítico.

En el cuadro mostramos el registro de fallas según el horometro del filtro de combustible.

Tabla 4. 42: Registro fallas Excavadora Komatsu PC 350LC 8

Evento	Horometro	Filtro combustible
F1	6731	1
F2	6974	1
F3	7186	1
F4	7375	1
F5	7561	1
F6	7759	1
F7	7948	1
F8	8146	1
F9	8367	1
F10	8599	1
F11	8833	1
F12	9069	1

Elaboración Propia

Tabla 4. 43: Valores Obtenidos Weibull Filtro de combustible Excavadora Komatsu PC 350LC 8

$F(i) = \left[ \frac{i}{(n+1)} \right]$	T (hrs)	$F(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$	ln(t)	Ln(Ln(1/(1-F(t))))	R(t)
			X	Y	
1.00	186	5.65%	5.22574667	-2.845458285	94.35%
2.00	189	13.71%	5.24174702	-1.914247621	86.29%
3.00	189	21.77%	5.24174702	-1.404170849	78.23%
4.00	198	29.84%	5.28826703	-1.037403987	70.16%
5.00	198	37.90%	5.28826703	-0.741337623	62.10%
6.00	212	45.97%	5.35658627	-0.485175833	54.03%
7.00	221	54.03%	5.3981627	-0.252018579	45.97%
8.00	232	62.10%	5.44673737	-0.03032111	37.90%
9.00	234	70.16%	5.45532112	0.190094315	29.84%
10.00	236	78.23%	5.46383181	0.421630212	21.77%
11.00	243	86.29%	5.49306144	0.686660297	13.71%

Elaboración Propia

Tenemos los parámetros entregados por el gráfico de ajuste de Weibull, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 4. 44: Valores de los Parámetros para el filtro de combustible de la Excavadora Komatsu PC 350LC 8

PARAMETRO	VALOR
$\beta$	9.793
$\gamma$	0
$\eta$	227
b	-53.110
$R^2$	0.8662
R	0.9307

Elaboración Propia

Los parámetros generados por el gráfico X, Y, nos muestra el valor de  $\beta$  es mucho mayor que 1, indica que se encuentra en una etapa de tasa de fallas creciente en etapa de fatiga, terminando su vida útil.

El coeficiente de correlación ( $R^2$ ) está cercano a uno, por lo tanto hay dependencia lineal de los datos.

En el cuadro se muestran los resultados del ajuste de la distribución Weibull para el sistema de combustible, lo que nos indica que el mantenimiento preventivo se debe

realizar cada 204 Horas de operación, con una confiabilidad del 70 %. Tenemos un tiempo medio entre fallas de 237.9 horas.

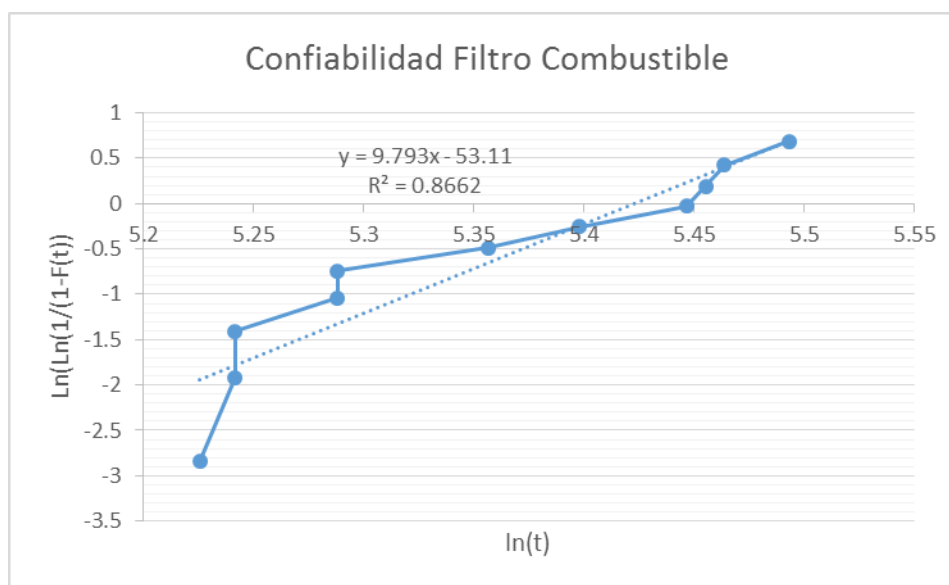
Con los valores de  $\beta$  y  $\eta$ , que se determinó en el análisis anterior, se obtiene la confiabilidad  $R(t)$ , que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante  $t$ . utilizando la fórmula 4-3 obtenemos los resultados para un tiempo ( $t$ ) de 180 horas.

Tabla 4. 45: Confiabilidad y MTTF para un tiempo ( $t$ ) de 180 horas para el filtro de combustible de la Excavadora Komatsu PC 350LC 8

PARAMETRO	VALOR
t	204
R(t)	70.0%
MTTF	237.9

Elaboración Propia

Figura 4. 13: Grafica Weibull Filtro de combustible Excavadora Komatsu PC 350LC 8



Elaboración Propia

Del análisis de la distribución de Weibull y de las gráficas obtenidas se concluye que un mantenimiento óptimo para este equipo es el **mantenimiento preventivo**.

Se realizará el mantenimiento preventivo de cada subsistema crítico de acuerdo a los periodos obtenidos para la confiabilidad determinada.



## CONCLUSIONES

- Se ha realizado el Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad para los subsistemas críticos de la maquinaria para movimiento de tierras de la Municipalidad Provincial de Canchis, logrando identificar y realizar las frecuencias de mantenimiento preventivo lo que mejorara así su disponibilidad y confiabilidad
- Se ha realizado el diagnóstico de la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de la maquinaria para movimiento de tierra mediante el análisis del factor de estado con lo cual ha sido posible determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla, lo que a la vez me permitió realizar el análisis de criticidad de los diferentes elementos operacionales componentes de la maquinaria para movimiento de tierra de la Municipalidad de Canchis.
- Se Identificó los componentes más críticos, para determinar la criticidad de los equipos la herramienta que se utilizó fue la aplicación de la matriz de criticidad, la cual por medio de un análisis que comienza por la identificación de los elementos y su frecuencia de, un alto grado de impacto operacional, poca flexibilidad operacional, altos costos de mantenimiento y un alto impacto en la seguridad ambiental y humana, este análisis me dio como resultado que tenemos dos sub sistemas críticos en el cargador frontal CAT 938G, que es el subsistema de combustible y la bomba hidráulica tenemos tres sub sistemas críticos en el Tractor CAT D7G, que es el subsistema de lubricación, combustible y mangueras hidráulicas, la Motoniveladora NEWHOLLAN RG 200 solo presenta un subsistema crítico que es el sistema de combustible. tenemos cuatro sub sistemas críticos en el Excavadora Komatsu PC 350L, que es el subsistema de lubricación,

combustible, la bomba hidráulica y la manguera hidráulica. Se pudo Determinar la confiabilidad mediante los parámetros característicos de la distribución Weibull haciendo uso del historial de fallas, este historial es de aproximadamente 02 años, me dio como resultado que el mantenimiento a aplicar es el mantenimiento preventivo el cual se debe realizar a los diferentes sub sistemas críticos. Para el cargador frontal CAT 938G del ajuste de la distribución Weibull para el filtro de combustible, el cual nos indica que el mantenimiento preventivo se de realizar cada 135 Horas de operación, con una confiabilidad del 70.87%. Tenemos un tiempo medio entre fallas de 250.4 horas; para bomba hidráulica, el cual nos indica que el mantenimiento preventivo se de realizar cada 135 Horas de operación, con una confiabilidad del 70 %. Tenemos un tiempo medio entre fallas de 375.4 horas; En el Tractor CAT D7G para el filtro de combustible, el cual nos indica que el mantenimiento preventivo se de realizar cada 280 Horas de operación, con una confiabilidad del 70.41%. Tenemos un tiempo medio entre fallas de 375.4 horas, para la lubricación, indica que el mantenimiento preventivo se debe realizar cada 345 Horas de operación, con una confiabilidad del 70.31%. Tenemos un tiempo medio entre fallas de 450.5 horas. En la Motoniveladora NEWHOLLAN RG 200 tenemos que, para el sistema de combustible, el mantenimiento preventivo se debe realizar cada 183 Horas de operación, con una confiabilidad del 70.77%. Tenemos un tiempo medio entre fallas de 228.4 horas. En la Excavadora Komatsu PC 350L para el sistema de combustible, el mantenimiento preventivo se debe realizar cada 204 Horas de operación, con una confiabilidad del 70 %. Tenemos un tiempo medio entre fallas de 237.9 horas

## RECOMENDACIONES

- Aplicar el plan de mantenimiento propuesto en el desarrollo del presente trabajo de investigación, aplicar periódicamente indicadores de gestión del mantenimiento como disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad, y el cumplimiento del programa de mantenimiento, para evaluar la gestión de mantenimiento.
- Continuar con la línea de investigación referente al mantenimiento, e integrar el análisis de costos de mantenimiento.
- Se debe considerar el entrenamiento al personal técnico actual, especialmente a los técnicos de la municipalidad de Canchis, para que de esta manera puedan especializarse y puedan efectuar los mantenimientos programados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, P. R. (2006). *Curso de Confinabilidad*. Mexico.
- ALCOSER, L. J. (2007). *MANUAL DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS DE FUNCIONAMIENTO EN MAQUINARIA PESADA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL*. QUITO, ECUADOR: UPN.
- ÁLVARES, G. (2004). *Programa de Mantenimiento Preventivo Para la Empresa Metalmecànica Industrias AVM S.A*. Bucaramanga : UIS.
- Àlvares, G. A. (2004). *Programa de Mantenimiento Preventivo Para la Empresa Metalmecànica Industrias AVM S.A*. Bucaramanga: UIS.
- AMADOR, L. (2005). *DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LA FLOTA DE EQUIPOS PESADOS DE LA GERENCIA DE PMH DE LA EMPRESA C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A*. PUERTO ORDAZ: UNEP.
- Castaño, S. R. (2014). *Análisis de Datos de Falla*. Manizales Colombia: UNC.
- Chinchay, A. P. (2010). *Texto de tecnicas de Mantenimiento Predictivo*. Callao-Peru: UNC.
- CRISTHIAN GUERRA HUAMALI. (2017). *ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA EN LOS SCOOPTRAMS DE LA EMPRESA MINERA ATACOCHA*. Huancayo: UCP.
- Garrido, S. G. (2009). *Mantenimiento Correctivo Organizaciôn y Gestión de la Reparaciôn de Averías*. Madrid España : RENOVETEC.
- Gutierrez, A. M. (2005). *Mantenimiento Estrategico para empresas de Servicios y/o Industriales* . Mexico : AMG.
- Knezevic, J. (1996). *Mantenibilidad* (Edicion 4 ed.). Madrid España: Isdefe.
- Lizarazo, E. M. (2010). *La recolección de datos*. México: McGRAW-HILL.

- LUZ JANNETH MALES ALCOSER, D. D. (2007). *MANUAL DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS DE FUNCIONAMIENTO EN MAQUINARIA PESADA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL*. Caracas : UPN.
- LLAMDA, F. S. (2014). *ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) DE LA CENTRAL HIDRÁULICA ILLUCHI N° 2. LATUNGA: UFA*
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reability centred Maintenance)*. Buenos Aires- Argentina: Aladon LLC.
- Nachlas, J. A. (1995). *Fiabilidad*. Madrid España: Isdefe.
- Palmer, R. D. (2010). *Maintenanace Planing and Scheduling Handbook* (Segunda Edición ed.). New York: McGraw-Hill.
- Parra, C. (1998). *Course of Reliability Centered Maintenance*. Mérida Venezuela: UA.
- Ramírez, S. (2014). *Ánalysis de Datos de Falla*. Manizales Colombia: UNC.
- Reyes, I. (2005). *Método de Recolección de Datos*. Carabao Venezuela: UC.
- SIAMPERI, R. (2014). *Metodologia de la Investigacion* . Mexico, D.F.: McGRAW-HILL.

## ANEXOS

*Figura A. 1: Cargador Frontal CAT 938G en movimiento de tierra*



*Fuente: Municipalidad Provincial de Canchis*

*Figura A. 2: Tractor sobre Oruga CAT D7G*



*Fuente: Municipalidad Provincial de Canchis*

*Figura A. 3: Motoniveladora NEW HOLLAND RG220*



*Fuente: Municipalidad Provincial de Canchis*

*Figura A. 4: Excavadora Hidráulica sobre Orugas KOMATSU PC350 LC – 8*



*Fuente: Municipalidad Provincial de Canchis*

*Figura A. 5: Mini Cargador NEW HOLLAND L223 en movimiento de tierra*



*Fuente: Municipalidad Provincial de Canchis*