

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**



**ANÁLISIS EN FUNCIÓN DE LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS
DE LA PLANTA DE CENTRO DE INSPECCIÓN TÉCNICA
VEHICULAR AZPER PERÚ SAC. JULIACA Y ELABORACIÓN DE
UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
CONFIABILIDAD**

TESIS

PRESENTADA POR:

WILSTHON GUIDO CHINO ANAHUA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**ANÁLISIS EN FUNCIÓN DE LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA
PLANTA DE CENTRO DE INSPECCIÓN TÉCNICA VEHICULAR AZPER
PERÚ SAC. JULIACA Y ELABORACIÓN DE UN PLAN DE
MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD**

TESIS PRESENTADA POR:

WILSTHON GUIDO CHINO ANAHUA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Fecha de Sustentación: 30-10-2018

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

: 

M.Sc. MARIO MAMANI PAMPA

PRIMER MIEMBRO

: 

M.Sc. MARCOS JOSE VILLANUEVA CORNEJO

SEGUNDO MIEMBRO

: 

M.Sc. JOSÉ ANTONIO VARGAS MARÓN

DIRECTOR / ASESOR

: 

M.Sc: ARMANDO TITO CRUZ CABRERA

Área : Mecánica

Tema : Mantenimiento.

DEDICATORIA

A mi padre

Juan Chino Cabrera

Por su apoyo y dedicación que nunca me olvidaré seguramente desde el cielo me está guiando mis pasos.

A mi madre

Francisca Anahua Lupaca

Quien siempre está a mi lado brindándome con su apoyo y sus consejos, que me ha dado por tener la fortaleza de salir adelante sin importar los obstáculos de verme algún día en este lugar de terminar mi tesis.

A hermana(o)

Sonia y Roger por su apoyo incondicional siempre lo tendré presente.

A mis amigos

Franklin, Henry, Herbert compañeros de la universidad que me alentaron para desarrollar mi tesis.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer a Dios quien me dio la vida y salud para desarrollar mi tesis.

A mis docentes de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por su esfuerzo y dedicación en mi formación profesional.

Al Ing. Plinio E. Aro Chino, Supervisor de la Planta de Revisiones Técnicas Vehiculares AZPER PERU SAC – Juliaca.

ÍNDICE

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO I.....	13
1.1 INTRODUCCIÓN	13
1.2 HIPÓTESIS GENERAL	15
1.2.1 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	15
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4 VARIABLES.....	16
CAPÍTULO II.....	17
REVISIÓN DE LITERATURA	17
2.1 LA FUNCIÓN MANTENIMIENTO	17
2.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	19
2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	21
2.3.1 Mantenimiento correctivo	21
2.3.2 Mantenimiento correctivo: programado y no programado.....	22
2.3.3 El mantenimiento Preventivo	23
2.3.4 Mantenimiento predictivo.....	25
2.4 CONCEPTO DE FALLA	26
2.4.1 Consecuencias de falla	27
2.4.2 Funciones ocultas y evidentes.....	28
2.4.3 Categorías de fallas evidentes	29
2.4.3.1 Consecuencias ambientales y para la seguridad	30
2.4.3.2 La seguridad, ante todo	30
2.4.3.3 La cuestión del riesgo	31
2.4.4 Seguridad y mantenimiento proactivo.....	37
2.4.5 RCM y legislación de seguridad	37
2.4.6 Consecuencias operacionales.....	38
2.4.7 Consecuencias no operacionales.....	40

2.5 PLANTA DE REVISIONES TÉCNICAS	42
2.5.1 Regloscopio con Luxómetro	43
2.5.2 Reflectómetro	45
2.5.3 Medidor de alineación de ruedas al paso	46
2.5.4 Frenómetro de rodillos.....	48
2.5.5 Detector de holguras	50
2.5.6 Banco de pruebas de suspensiones.....	50
2.5.7 Analizador de gases	51
2.5.8 Opacímetro	53
2.6 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	54
2.6.1 TIPO METODOLÓGICO	54
2.6.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	55
2.6.3 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	55
CAPÍTULO III.....	57
MATERIALES Y MÉTODOS.....	57
3.1 MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	57
3.1.1 Tipo de investigación.....	57
3.1.2 Técnicas de recolección de datos.....	59
3.1.3 Técnicas de análisis de datos.....	60
3.1.4 Método de la investigación.	61
3.2 PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	61
3.2.1 Diagnóstico de la situación actual.....	61
3.2.2 Componentes críticos.....	62
3.2.2.1 Análisis de Modo y Efectos de Fallas (AMEF).....	63
3.2.2.2 Hoja de información	63
3.2.2.3 Análisis de modos y efectos de falla (AMEF).	64
3.2.2.4 Número de Prioridad de Riesgo (NPR).	64
3.2.2.5 Hoja de decisión de RCM.	66
3.2.2.6 Árbol Lógico.....	67
3.2.2.7 Hoja de decisión	69
3.2.2.8 Análisis de Criticidad.....	70
3.2.3 Determinación de los intervalos de mantenimiento preventivo	73
3.2.3.1 Construcción del grafico Weibull para la confiabilidad.....	73

CAPÍTULO IV	77
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	77
4.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.	77
4.2 ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS.....	77
4.3 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)	79
4.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	82
4.5 DETERMINACIÓN DE LOS INTERVALOS DE MANTENIMIENTO DE LOS SUBSISTEMAS CRÍTICOS	85
4.5.1 Intervalo de mantenimiento para el banco de suspensión	85
4.5.2 Intervalos para Frenómetro	90
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXOS	101
FOTOGRAFÍAS ADICIONALES	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Evolución histórica	21
Figura N° 2.2 Aceptabilidad de riesgo fatal	34
Figura N° 2.3 Regloscopio con Luxómetro	45
Figura N° 2.4 Reflectómetro HI TEC GM-026	46
Figura N° 2.5 Medidor de alineación de ruedas al paso BEISSBARTH MSS 8400	48
Figura N° 2.6 Frenómetro de rodillos BEISSBARTH MB 8100	49
Figura N° 2.7 Detector de holguras BEISSBARTH GST 8508	50
Figura N° 2.8 Banco de pruebas de suspensiones BEISSBARTH SA 640	51
Figura N° 2.9 Analizador de gases PIERBURG INSTRUMENTS	52
Figura N° 2.10 Opacímetro AVL DITEST	53
Figura N° 3.1 Árbol Lógico	68
Figura N° 3.2 Matriz de criticidad	72
Figura N° 4.1 Gráfico de Weibull Banco de Suspensión	87
Figura N° 4.2 Gráfico de Confiabilidad Banco de Suspensión	89
Figura N° 4.3 Gráfico de Infiabilidad Banco de Suspensión	90
Figura N° 4.4 Gráfico de Weibull Frenómetro	92
Figura N° 4.5 Gráfico de Confiabilidad Frenómetro	94
Figura N° 4.6 Gráfico de Infiabilidad Frenómetro	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 3.1 Factor de estado	62
Tabla N° 3.2 Hoja de información	64
Tabla N° 3.3 Puntaje del AMEF	65
Tabla N° 3.4 Estructura de la Hoja de decisiones de RCM.....	67
Tabla N° 3.5 Hoja de decisión.....	69
Tabla N° 3.6 Criterios a evaluar, Matriz de Criticidad.....	71
Tabla N° 4.1 Equipos de la planta de revisiones técnicas.....	77
Tabla N° 4.2 Factor de estado	78
Tabla N° 4.3 AMEF Reflectómetro	79
Tabla N° 4.4 AMEF Analizador de gases y Opacímetro	80
Tabla N° 4.5 AMEF Alineamiento al paso	81
Tabla N° 4.6 AMEF Banco de Suspensión, Frenómetro	81
Tabla N° 4.7 AMEF Detector de Holguras.	82
Tabla N° 4.8 Criterios de Evaluación de Criticidad.....	83
Tabla N° 4.9 Evaluación de Criticidad de la PIV	84
Tabla N° 4.10 Resumen de equipos críticos	84
Tabla N° 4.11 Registro de fallas Banco de suspensión	85
Tabla N° 4.12 Valores Obtenidos Weibull	87
Tabla N° 4.13 Parámetros obtenidos Weibull	88
Tabla N° 4.14 Valor Obtenido de Confiabilidad.....	88
Tabla N° 4.15 Registro de fallas Frenómetro	90
Tabla N° 4.16 Valores Obtenidos Weibull Frenómetro.....	92
Tabla N° 4.17 Parámetros obtenidos Weibull	93
Tabla N° 4.18 Valor Obtenido de Confiabilidad.....	93

ACRÓNIMOS

RCM	Mantenimiento basado en la confiabilidad
R (t).	Confiabilidad
F (t).	Infiabilidad
MTTB	Tiempo Promedio entre fallas
Pieza	Elemento físico no divisible de un mecanismo.
Equipo	Conjunto de componentes interconectados de una instalación.
Hr.	Horas

RESUMEN

El presente proyecto de tesis tiene como objetivo principal Diseñar un plan de mantenimiento preventivo en base al análisis de criticidad de los diferentes componentes que constituyen la planta de Inspecciones técnicas vehiculares para de esta manera mejorar su disponibilidad y confiabilidad; como objetivos específicos se realizara el Diagnostico la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de la planta de Inspecciones técnicas vehiculares del conjunto de elementos, para determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla. Y así Identificar los componentes más críticos, así como la frecuencia de mantenimiento. El proyecto de investigación se organizara de la siguiente manera: en primer lugar se realizara una investigación exhaustiva de la bibliografía relacionada con el mantenimiento industrial y las plantas de Inspecciones técnicas vehiculares, se realizara el diagnóstico de la situación actual para poder identificar los componentes críticos y de esta manera poder elaborar el plan de mantenimiento preventivo que se podrá aplicar en la planta de Inspecciones técnicas vehiculares mejorando de esta manera su disponibilidad y confiabilidad. La planta de Inspecciones técnicas vehiculares, está ubicada en el Distrito de Juliaca, Provincia de San Román en el departamento de Puno, a una altura de 3,825 metros sobre el nivel del mar.

Palabras clave: Criticidad, confiabilidad, disponibilidad, fallas funcionales, mantenimiento.

ABSTRACT

The present thesis project has as main objective a preventive maintenance plan based on analysis of criticality of the different components that make up the vehicle technical inspection plant design to thus improve their availability and reliability; specific objectives are to produce the diagnosis the current status of systems, sub systems and components of the floor of the vehicle of the set of elements technical inspections, to determine its functions, functional failures and failure modes. And identify the most critical components as well as the frequency of maintenance. The research project will be organized in the following way: in the first place will be a thorough investigation of the literature pertaining to the industrial maintenance and vehicle roadworthiness plants, will conduct the diagnosis of the current situation to be able to identify the critical components and thus to the plan of preventive maintenance that can be applied on the ground of technical inspection vehicle thus improving their availability and reliability. Vehicle technical inspection plant, is located in the District of Juliaca, Puno, San Román province 3,825 m above sea level.

Key words: criticality, reliability, availability, functional failures, maintenance.

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

El mantenimiento actual de la planta de revisiones técnicas vehiculares está caracterizado por la búsqueda continua de tareas que permitan eliminar o disminuir la ocurrencia de fallas imprevistas y/o reparaciones (paradas forzosas), es decir se encuentra en una etapa muy preliminar de mantenimientos preventivos o predictivos en su gran mayoría, los trabajos que se ejecutan, son sólo reparaciones menores o locativas tendientes a recuperar la operatividad de los equipos, dado que no existe un cronograma o un plan programado de los mantenimientos preventivos necesarios para los diversos equipos; razón por la cual el estado de los equipos se ve afectado en su mayoría. Al mismo tiempo estas fallas tienen consecuencias de seguridad y medioambientales. Para reducir y/o eliminar estas fallas, es imprescindible diseñar un plan de mantenimiento para mejorar la producción de la planta. El estudio planteado, se justifica en cuanto la falta de mantenimiento preventivo planificado en la planta de Inspecciones técnicas vehiculares ocasiona constantes paradas ocasionando pérdidas importantes y sobretodo afectando la calidad de servicio de la planta.

Aplicando una filosofía de mantenimiento adecuada combinada con controles estadísticos nos proporcionan información para obtener variables de comportamiento de los equipos que permiten diseñar estrategias de mantenimiento preventivo incrementando la disponibilidad de los equipos de la planta de Inspecciones técnicas vehiculares. La aplicación de un sistema

organizado de mantenimiento nos permitirá reducir sino es eliminar las paradas no programadas de la planta siendo esto un importante aporte.

Las frecuencias de mantenimiento que se realizara serán de acuerdo al plan producto del análisis de las fallas funcionales que posteriormente se analizara.

CAPÍTULO I: En el presente capítulo del proyecto de tesis se da a conocer hipótesis, objetivos y variables.

CAPÍTULO II: En el presente capítulo se desarrolla los conceptos fundamentales de la función de mantenimiento relacionados con los objetivos referentes a la elaboración de los planes de mantenimiento y de la investigación bibliográfica realizada para poder elaborar el presente estudio de investigación, se ha tenido en cuenta investigaciones anteriores a la presente lo que me ha permitido tener un panorama mucho mejor de los conceptos referentes al mantenimiento centrado en la confiabilidad, que parte en base al estudio del factor de estado y del análisis de criticidad complementado con el análisis del modo y efecto de la falla descrita ampliamente en el presente capítulo.

CAPÍTULO III: En el presente capítulo se describe los materiales y métodos que es una exposición de la metodología que permitió ordenar el trabajo relacionado con los objetivos perseguidos en el presente trabajo de tesis. incluye, el lugar, los materiales, los equipos o maquinaria que fueron necesarios, así como también los mecanismos, métodos o técnicas utilizadas en el desarrollo del proyecto, así como

también la descripción de cada etapa del proyecto concordante con cada objetivo específico.

CAPÍTULO IV: En el presente capítulo se presenta los resultados del presente proyecto de investigación que están relacionados con los materiales y métodos que es una exposición de la metodología que permitió ordenar el trabajo relacionado con los objetivos perseguidos en el presente trabajo de tesis. Se logró determinar los elementos o equipos críticos de la planta de inspecciones técnicas vehiculares planteadas en los objetivos, permitiendo elaborar los planes de mantenimiento para cada caso en estudio los mismos que se describen ampliamente en el desarrollo del presente capítulo.

1.2 HIPÓTESIS GENERAL

Mediante el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) aplicado a los Equipos de la planta de centro de Inspecciones técnicas vehiculares AZPER PERU SAC Juliaca se mejorará su confiabilidad.

1.2.1 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El diagnóstico de los sistemas, sub sistemas y componentes de la planta permitirá determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla.
- La identificación de los componentes críticos permite aplicar el plan de mantenimiento preventivo.

- Se determinará los intervalos de mantenimiento, haciendo uso del historial estadístico de las fallas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento en base al análisis del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para los Equipos de la planta de centro Inspecciones técnicas vehiculares AZPER PERÚ SAC Juliaca.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de la planta.
- Identificar los componentes más críticos.
- Determinar los intervalos de mantenimiento preventivo.

1.4 VARIABLES

Independiente:

- Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad: Variable que expresa el uso y control de las actividades de mantenimiento.

Dependiente:

- Intervalos de mantenimiento.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 LA FUNCIÓN MANTENIMIENTO

Según lo descrito por Santiago García Garrido **Organización y gestión integral de mantenimiento** Definimos habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento.

A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, la función mantenimiento ha pasado diferentes etapas. En los inicios de la revolución industrial, los propios operarios se encargaban de las reparaciones de los equipos. Cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferenciada de los operarios de producción. Las tareas en estas dos épocas eran básicamente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las fallas que se producían en los equipos.

A partir de la Primera Guerra Mundial, y sobre todo, de la Segunda, aparece el concepto de fiabilidad, y los departamentos de mantenimiento buscan no sólo solucionar las fallas que se producen en los equipos, sino, sobre todo, prevenirlas, actuar para que no se produzcan. Esto supone crear una nueva figura en los departamentos de mantenimiento: personal cuya función es estudiar qué tareas de

mantenimiento deben realizarse para evitar las fallas. El personal indirecto, que no está involucrado en directamente en la realización de las tareas, aumenta, y con él los costes de mantenimiento. Pero se busca aumentar y fiabilizar la producción, evitar las pérdidas por averías y sus costes asociados. Aparece el Mantenimiento Preventivo, el Mantenimiento Predictivo, el Mantenimiento Proactivo, la Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador, y el Mantenimiento Basado en Fiabilidad (RCM). El RCM como estilo de gestión de mantenimiento, se basa en el estudio de los equipos, en el análisis de los modos de fallo y en la aplicación de técnicas estadísticas y tecnología de detección. Podríamos decir que RCM es una filosofía de mantenimiento básicamente tecnológica.

Paralelamente, sobre todo a partir de los años 80, comienza a introducirse la idea de que puede ser rentable volver de nuevo al modelo inicial: que los operarios de producción se ocupen del mantenimiento de los equipos. Se desarrolla el TPM, o Mantenimiento Productivo Total, en el que algunas de las tareas normalmente realizadas por el personal de mantenimiento son ahora realizadas por operarios de producción. Esas tareas «transferidas» son trabajos de limpieza, lubricación, ajustes, reaprietes de tornillos y pequeñas reparaciones. Se pretende conseguir con ello que el operario de producción se implique más en el cuidado de la máquina, siendo el objetivo último de TPM conseguir *cero averías*. Colmo filosofía de mantenimiento, TPM se basa en la formación, motivación e implicación del equipo humano, en lugar de la tecnología.

TPM y RCM no son formas opuestas de dirigir el mantenimiento, sino que ambas conviven en la actualidad en muchas empresas. En algunas de ellas, RCM impulsa el mantenimiento, y con esta técnica se determinan las tareas a efectuar en los equipos; después, algunas de las tareas son transferidas a producción, en el marco de una política de implantación de TPM. En otras plantas, en cambio, es la filosofía TPM la que se impone, siendo RCM una herramienta más para la determinación de tareas y frecuencias en determinados equipos.

Por desgracia, en otras muchas empresas ninguna de las dos filosofías triunfa. El porcentaje de empresas que dedican todos sus esfuerzos a mantenimiento correctivo y que no se plantean si esa es la forma en la que se obtiene un máximo beneficio (objetivo último de la actividad empresarial) es muy alto. Son muchos los responsables de mantenimiento, tanto de empresas grandes como pequeñas, que creen que estas técnicas están muy bien en el campo teórico, pero que en su planta no son aplicables: parten de la idea de que la urgencia de las reparaciones es la que marca y marcará siempre las pautas a seguir en el departamento de mantenimiento.

2.2 Evolución del mantenimiento.

La principal función de mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo, bajo esta premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento a través de las distintas épocas acorde a las necesidades de sus clientes; que son todas aquellas dependencias y/o activos, para producirlos.

La historia del mantenimiento como parte estructural de las empresas, data desde la aparición de las máquinas para la producción de bienes y servicios, inclusive desde cuando el hombre formaba parte de la energía de dichos equipos.

Se reconoce la aparición de los primeros sistemas organizacionales de mantenimiento para sostener las máquinas desde principios del siglo XX en los Estados Unidos donde todas las soluciones a fallas y paradas imprevistas de equipos se solucionan vía mantenimiento correctivo (Newbrough y otros,1982)6, reconoce el autor Junior Ruddell la similitud de conceptos, pero se remonta al siglo XVIII con las teorías de producción de David Ricardo como el origen claro de los sistemas de mantenimiento (Ruddell,1967) (Ricardo,1817).

El progreso de mantenimiento permite distinguir varias generaciones evolutivas, en relación a los diferentes objetivos que se observan en las áreas productivas o de manufactura a través del tiempo; el análisis se lleva a cabo en cada una de estas etapas, que muestran las empresas en función de sus metas de producción para ese momento, la clasificación generacional relaciona las áreas de mantenimiento y producción en términos de evolución. (Gutierrez, 2005)

Figura N° 2.1 Evolución histórica

Etapa	sucede aproximadamente	Producción - Manufactura		Mantenimiento e Ingeniería de Fábricas	
		Orientación hacia ...	Necesidad específica	Orientación hacia ...	Objetivo que pretende
I	antes de 1950	el producto	generar el producto.	hacer acciones correctivas.	reparar fallos imprevistos.
II	entre 1950 y 1959	la producción	estructurar un sistema productivo.	aplicar acciones planeadas.	prevenir, predecir y reparar fallos.
III	entre 1960 y 1980	la productividad	optimizar la producción.	establecer tácticas de mantenimiento.	gestar y operar bajo un sistema organizado.
IV	entre 1981 y 1995	la competitividad	mejorar índices mundiales.	implementar una estrategia.	medir costos, CMD, compararse, predecir índices, etc.
V	entre 1996 y 2003	la innovación tecnológica	hacer la producción ajustada a la demanda.	desarrollar habilidades y competencias.	aplicar ciencia y tecnología de punta.
VI	desde 2004	Gestión y operación integral de activos en forma coordinada entre ambas dependencias. Gestión de activos.			

Fuente: (Gutiérrez, 2005)

2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO

2.3.1 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 maquina 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)

2.3.2 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)

2.3.3 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 acabo 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.

2.3.4 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)

2.4 CONCEPTO DE FALLA

En la concepción del mantenimiento de equipos falla podemos definir como una condición no deseada que hace que el elemento estructural no desempeñe una función para la cual existe. Es decir, la falla producirá que el equipo se detenga en su función primaria y deje de producir.

2.4.1 Consecuencias de falla

De acuerdo a lo descrito en el libro RCM II de John Moubray (Moubray J. , 2004) explica que el proceso RCM implica la formulación de 7 preguntas acerca del activo seleccionado:

1. ¿cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacer para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacer si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

(Moubray J. , 2004) Explica que la naturaleza y la gravedad de las fallas definen las consecuencias de la falla. En otras palabras, define la manera en la que los dueños y los usuarios de los activos creerán que cada falla es importante.

Si las consecuencias son serias, entonces se harán esfuerzos considerables para evitar, eliminar o minimizar sus consecuencias; sobre todo, si la falla puede herir o matar a una persona, o si tiene efectos serios sobre el medio ambiente. Esto también es válido si las fallas interfieren con la producción o las operaciones, o si pueden causar daños secundarios significativos.

Por otro lado, si la falla sólo tiene consecuencias menores, es posible que no se tome ninguna acción proactiva, y que la falla simplemente sea reparada una vez que ocurra.

Este enfoque sobre las consecuencias hace que RCM comienza el proceso de selección de tareas asignado los efectos de cada modo de. El próximo paso es encontrar una tarea proactiva que sea físicamente posible de realizar y si podemos encontrar dicha tarea, se dice que es técnicamente factible. Si la respuesta es sí, diremos que una tarea merece la pena; y si no es posible encontrar una tarea positiva adecuada, la naturaleza de las consecuencias de fallas también indican que acción " a falta de " debería ser tomada.

Una tarea proactiva merece la pena así reducir las consecuencias del modo de falla asociado a un grado tal que justifique los costos directos e indirectos de hacerla.

2.4.2 Funciones ocultas y evidentes

(Moubray J. , 2004), define lo que son funciones ocultas y evidentes de los activos y categoriza las fallas evidentes las cuales se tratan en éste libro.

Por ejemplo, algunas fallas activan luces de advertencia, alarma Sonoras o ambas. Otras hacen que se paren las máquinas y que se interrumpa alguna otra parte del proceso. Otras dan lugar a problemas de calidad del producto, incremento en el consumo de energía, y otras van acompañadas de efectos físicos obvios tales como ruidos fuertes, escasez de vapor, colores extraños o manchas de líquido en el suelo.

En resumen (Moubray J. , 2004) puede decir que:

Una función evidente es aquella cuya falla eventualmente e inevitablemente se hará evidente por sí sola a los operadores en circunstancias normales.

Y también que:

Una función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí sola.

El primer paso en el proceso de RCM es separar las funciones ocultas de las evidentes porque las ocultas necesitan de un manejo especial.

2.4.3 Categorías de fallas evidentes

Las fallas evidentes se clasifican en tres categorías de importancia decreciente:

- **Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.** Una falla tiene consecuencias para la seguridad si puede lesionar o matar a alguien. Tiene consecuencias para el medio ambiente si puede infringir alguna normativa relativa al medio ambiente de carácter corporativo, regional o nacional.
- **Consecuencias operacionales.** Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta a la producción o a las operaciones (volumen de producción, calidad del producto, servicio al cliente con costo operacional, además del costo directo de la reparación)

- **Consecuencias no operacionales.** Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, de modo que sólo involucra el costo directo de la operación.

2.4.3.1 Consecuencias ambientales y para la seguridad

2.4.3.2 La seguridad, ante todo

(Moubray J. , 2004) Explica que el proceso RCM considera primero las implicancias de cada modo de falla evidente, sobre la seguridad y del medio ambiente.

En cierto sentido, la seguridad se refiere a la seguridad de los individuos en su lugar de trabajo. Concretamente, RCM pregunta si alguien podría resultar lesionado o muerto, como resultado directo del modo de falla en sí o bien como resultado de otro daño que pudiera ser ocasionado por la falla.

Un modo de falla tiene consecuencias para la seguridad si causa una pérdida de función y otro daño que pudiera lesionar o matar a alguien.

En el capítulo 2 se explicó como las expectativas de la sociedad se expresan en la forma de normativas ambientales municipales, regionales y nacionales. Algunas organizaciones tienen, además, sus propios reglamentos corporativos aún más rigurosos. Se dice que un modo de falla tiene consecuencias ambientales si pudiera Conducir a la infracción de cualquiera de estas normas.

Un modo de falla tiene consecuencias ambientales que causan una pérdida de función u otro daño que pudiera Conducir a la infracción de cualquier normativa o reglamento ambiental conocido.

2.4.3.3 La cuestión del riesgo

La valoración del riesgo consta de tres elementos. El primero se pregunta Qué pudiera pasado si ocurriera el evento en cuestión. El segundo se pregunta cuán probable es que ocurra el evento. La combinación de estos dos elementos nos provee de una medida del grado de riesgo. El tercero, y con frecuencia el elemento más discutido, se pregunta si el riesgo es tolerable.

¿Qué podría pasar si ocurre la falla?

Lo que sucede Realmente si ocurre cualquier modo de falla debe ser registrado en la hoja de trabajo de información de RCM cómo efecto de falla.

El hecho de que estos efectos podrían Matar o herir a alguien no significa necesariamente que lo hará cada vez que ocurra. Algunos hasta podrían ocurrir con frecuencia y sin embargo no matar a nadie. Sin embargo, el tema no es si dichas consecuencias son inevitables, sino si son posibles.

Por ejemplo, si fallece el gancho de un puente grúa utilizado para cargar bobinas de acero, la carga que cae podría Matar o herir a cualquier persona que se encontraste parada cerca o debajo de ella en ese momento. Si nadie estuviera cerca, entonces no tendría Eric. Sin embargo, la posibilidad de que alguien pudiera resultar herido significa que este modo de falla Debería ser tratado como un riesgo para la seguridad y analizado de manera acordé.

Surge una situación más compleja cuando tratamos riesgos para la seguridad que ya están cubiertos por alguna clase de protección inherente. Como vimos, uno de los objetivos principales del proceso RCM es el de establecer la manera más

efectiva de manejar cada falla en el contexto de sus consecuencias. Esto solamente puede hacerse Si antes se evalúan las consecuencias como si no se hiciera nada para manejar la falla.

Los dispositivos de protección que se diseñan para tratar con la falla o con el estado de falla (alarmas, sistemas de desconexión o de alivio) no son más que sistemas de manejo de falla con protección inherente. Por lo tanto, para asegurarse que el análisis se lleve a cabo desde una base cero adecuada, las consecuencias de la falla de las funciones protegidas deben evaluarse como si este tipo de dispositivos de protección no existiese.

Por ejemplo, una falla que puede provocar un incendio siempre se la considera como un riesgo para la seguridad, ya que no necesariamente la presencia de un sistema de extinción de fuego garantiza que el fuego vaya a ser controlado y extinguido.

Entonces el proceso RCM puede usarse para validar (o revalidar) la conveniencia del dispositivo de protección visto desde Tres puntos de vista diferentes:

- *Su amplitud para proveer la protección requerida.* Esto se hace definiendo la función del mecanismo de protección.
- Si el dispositivo de protección Responde lo suficientemente Rápido como para evitar las consecuencias.

- Qué debe hacerse para asegurar que el dispositivo de protección continúa funcionando cuando se lo requiere.

¿Qué probabilidad hay que ocurra la falla?

En la parte 4 del capítulo 4 se menciona que sólo debería incluirse en la hoja de información de RCM los modos de falla que tienen posibilidades razonables de ocurrir en el contexto en cuestión. En consecuencia, si la hoja de trabajo de información ha sido preparada sobre una base realista, el mero hecho de que el modo de falla haya sido registrado sugiere que hay alguna posibilidad de que pudiera ocurrir, y por lo tanto que debería ser sometido a un análisis posterior (a veces puede ser más prudente listar ciertos modos de falla, aunque sean improbables y luego descartarlos sólo como para indicar que fueron considerados en el análisis. En estos casos, podría ponerse en la columna de efectos de la falla un comentario como "este modo de falla se considera muy improbable como para realizar un análisis más detallado")

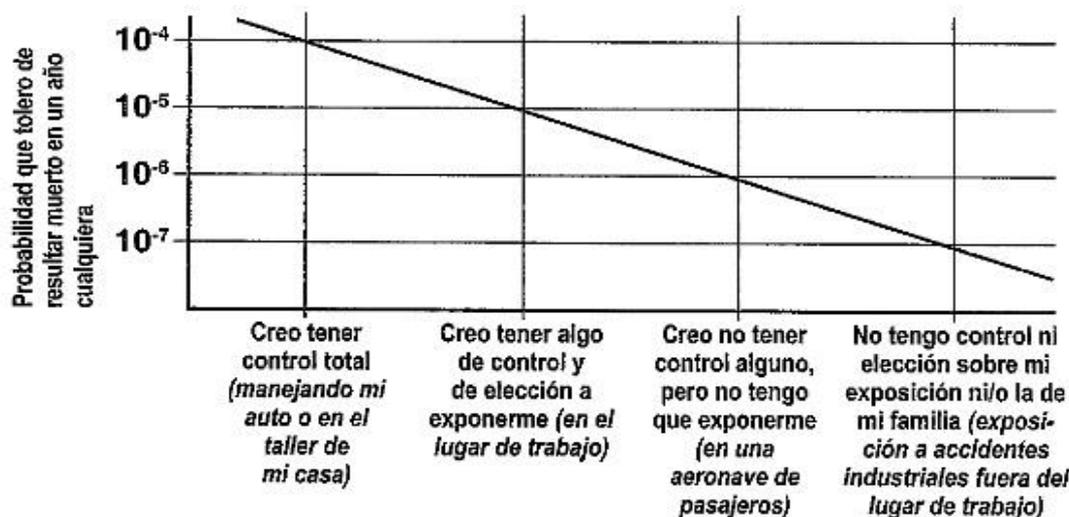
¿Es tolerable el riesgo?

Uno de los aspectos más difíciles de la administración de seguridad es la medida en que varían las expectativas de qué es tolerable, de individuo a individuo y de grupo a grupo. Muchos factores influyen sobre esas creencias, pero el más dominante es el grado de control que un individuo cree tener sobre la situación. Las personas casi siempre toleran un mayor nivel de riesgo cuando creen que tienen control personal sobre la situación que cuando creen que la situación está fuera de control.

Por ejemplo, la gente tolera niveles de riesgo mucho más altos cuando manejan sus autos que cuando viajan en el avión. (el grado en el cual la creencia de control personal sobre la situación rige de la percepción del riesgo, está dada por las asombrosas estadísticas, qué dicen que podrían morir una persona de cada 11 000 000 que viaja en avión en EEUU de Nueva York a Los Ángeles, mientras que podría morir una persona de 14000 qué hacen viaje manejando. ¡A pesar de esto todavía hay gente que hace el viaje manejando porque cree que es más seguro!)

Este ejemplo muestra la relación que existe entre la probabilidad de morir que cualquier persona está preparada a tolerar y la sensación de creer que controla la situación. (Moubray J. , 2004)

Figura N° 2.2 Aceptabilidad de riesgo fatal



Fuente: (Moubray J. , 2004)

En otras palabras, si acepto una probabilidad de 1 en 100000(10⁵) de morir en el trabajo en un año y tengo 1000 compañeros de trabajo que comparten la misma opinión, entonces todos aceptamos que como promedio 1 persona morirá y nuestro lugar de trabajo Cada 100 años y que esa persona podría ser yo y podría suceder este año.

Aunque la percepción del grado de control generalmente domina las decisiones acerca de la tolerabilidad del riesgo, de ningún modo es el único tema. Otros factores que nos ayudan a decidir lo que es tolerable son:

- Valores individuales: El análisis en profundidad de este tema está más allá del alcance de este libro. Basta contrastar los puntos de vista de riesgo tolerable que acepta un alpinista con el de las personas que sufren de vértigo o bien comparar el riesgo que toleran las personas que trabajan en una mina bajo tierra con el de las personas que sufren de claustrofobia.
- Valores de Industria: Si bien hoy en día toda industria reconoce la necesidad de operar con la máxima seguridad posible, no podemos eludir la realidad de que algunas son intrínsecamente más peligrosas que otras. Algunas compensan niveles de riesgo más altos con niveles salariales más altos. Cada individuo que trabaja en esa industria debe evaluar si vale la pena correr el riesgo implícito; en otras palabras, si el beneficio justifica el riesgo.
- El efecto sol generaciones futuras: La seguridad de los niños especialmente de los que aún no han nacido tiene un efecto especialmente poderoso en las opiniones de la gente acerca de lo que es

tolerable. Generalmente los adultos muestran un desprecio sorprendente y hasta alarmante por su propia seguridad. Pero su actitud cambia completamente cuando se trata de sus hijos.

- Conocimiento: Las percepciones de riesgo son muy influenciadas por el conocimiento del activo físico que tienen las personas, el proceso del que forma parte, y los mecanismos de falla asociados con cada modo de falla. Cuanto más conoce, mejor es un juicio.

¿Quién debería evaluar los riesgos?

La diversidad de los factores tratados anteriormente significa que es simplemente imposible para cualquier persona asignar riesgos de manera tal que sean universalmente tolerables. Si quién evalúa el riesgo es demasiado conservador puede que la gente lo ignore o ridiculice la evaluación. Si es demasiado relajado, puede terminar acusado de jugar con la vida de las personas.

Esto sugiere que una evaluación de riesgo satisfactoria sólo puede ser realizada por un grupo. En la medida de lo posible, el grupo debe representar a las personas que probablemente tenga un claro entendimiento del mecanismo de falla, los efectos de la falla, la probabilidad de que las fallas ocurran, y de las posibles medidas que pueden ser tomadas para anticipar la o prevenir la. El grupo también debe incluir a las personas que tengan un punto de vista legítimo sobre la tolerabilidad de los riesgos. Esto significa representantes de las probables víctimas la gerencia.

2.4.4 Seguridad y mantenimiento proactivo

Si una falla pudiese afectar la seguridad o el medio ambiente, el proceso de RCM estipula que debemos intentar prevenirla. La discusión anterior sugiere que: Para modos de falla que tienen consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, sólo merece la pena realizar una tarea proactiva si reduce la probabilidad de la falla a un nivel tolerablemente bajo.

Si no pudiese hallarse una tarea proactiva que logre este objetivo satisfaciendo al grupo que está haciendo el análisis, estaríamos tratando con un riesgo ambiental o para la seguridad que no puede ser adecuadamente anticipado o prevenido. Esto significa que algo debe ser cambiado para hacer que el sistema sea seguro. Este algo podría ser el activo físico mismo, un proceso, o un procedimiento operativo. Los cambios de este tipo a realizarse por única vez se clasifican como rediseños, y por lo general se realizan para alcanzar algunos de los objetivos siguientes:

- Reducir a un nivel tolerable la probabilidad que ocurra una falla.
- Cambiar las cosas para que la falla no tenga consecuencias para el medio ambiente o para la seguridad. (Moubrey J. , 2004)

2.4.5 RCM y legislación de seguridad

Frecuentemente surgió la pregunta sobre la relación entre RCM y las leyes de seguridad. Hoy en día, la mayoría de las leyes que rigen sobre la seguridad simplemente demandan que los usuarios sean capaces de demostrar que están haciendo todo lo que es prudente para asegurar que sus activos físicos sean seguros. Esto ha llevado a un gran incremento del énfasis dado al concepto de traza

de auditoría, que básicamente requiere que los usuarios de los activos físicos sean capaces de mostrar evidencia documentada de que hay una base racional y defendible para sus programas de mantenimiento. Prácticamente en todos los casos, RCM satisface completamente este tipo de requerimientos.

Sin embargo, algunos reglamentos demandan que deben realizarse tareas específicas en ciertos tipos de equipos a intervalos especificados. Si el proceso de RCM sugiere una tarea diferente y/o un intervalo diferente, es aconsejable continuar haciendo la tarea especificada por el reglamento y discutir el cambio sugerido con la autoridad reguladora apropiada. (Moubray J. , 2004)

2.4.6 Consecuencias operacionales.

La función primaria de la mayoría de los equipos en la industria está vinculada de algún modo con la necesidad de producir ingresos o de apoyar alguna actividad económica.

Las fallas que afectan las funciones primarias de estos activos físicos afectan la capacidad de generación de ingresos de la compañía. La magnitud de estos efectos depende de la carga de máquina y de la disponibilidad de alternativas. Sin embargo, en la mayoría de los casos los efectos son mayores frecuentemente mucho mayores que el costo de reparar las fallas. Esto también se aplica a los equipos de las industrias de servicio, tales como entretenimiento, comercio y hasta la industria bancaria.

En general las fallas afectan las operaciones de 4 maneras:

- Afectan al volumen de producción total. Ocurre esto cuando el equipo deja de funcionar o cuando trabaja demasiado lento. Esto resulta en el incremento de Los costos de producción en el caso en que la planta tenga que trabajar horas extras para cumplir con la producción, o en la pérdida de ventas si la planta Está trabajando a su máxima capacidad.
- Afectan la calidad del producto. Y una máquina no puede mantener las tolerancias de un producto o si una falla hace que el material se deteriore, dará como resultado scrap o trabajos costos. En el sentido más general, la calidad también abarca conceptos como la precisión de sistemas de navegación, la puntería de sistemas de balística, etc.
- Afectan el servicio al cliente. Las fallas afectan a los clientes de muchas maneras, comenzando por las demoras en la entrega de los pedidos hasta los retrasos en los vuelos comerciales. Cuando los retrasos son importantes o frecuentes pueden traer aparejados importantes penalidades, aunque en la mayoría de los casos no redunda en una pérdida de ganancia y media. De cualquier modo, los problemas de servicios crónicos tarde o temprano hacen que los clientes pierdan confianza y busquen otros proveedores.
- Incremento del costo operacional sumado al costo directo de la reparación. Por ejemplo, la falla puede hacer que aumente el consumo de energía o que debe usarse un proceso más costoso para realizar la producción.

La severidad de este tipo de consecuencia lleva a que, si una falla evidente no representa una amenaza a la seguridad o el medio ambiente, el proceso RCM se enfoque a las consecuencias operacionales de la falla.

Una falla tiene consecuencias operacionales si tiene un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional.

El efecto económico global De cualquier modo de falla que tiene consecuencias operacionales depende de dos factores:

- Cuando ocurre la falla cada vez que ocurre, en términos de su efecto sobre la capacidad operacional, más el costo de reparación.
- Con qué frecuencia ocurre.

Si las consecuencias de las fallas son económicas, el costo total es afectado por la frecuencia con la que se producen dichas consecuencias. Es decir, para evaluar la trascendencia económica de estas fallas, debemos evaluar cuánto pueden costar a lo largo de un periodo de tiempo.

Para modos de falla con consecuencias operacionales, merece la pena realizar una tarea proactiva sí a lo largo de un periodo de tiempo, cuesta menos que el costo de las consecuencias operacionales más el costo de reparar la falla que pretende evitar. (Moubrey J. , 2004)

2.4.7 Consecuencias no operacionales

Las consecuencias de una falla evidente que no ejerce un efecto adverso directo para la seguridad, o la capacidad operacional, son clasificadas como no

operacionales. Las únicas consecuencias asociadas con estas fallas son los costos directos de reparación, con lo que estas consecuencias también son económicas. Para modos de falla con consecuencias no operacionales, merece la pena realizar tareas proactivas si, en un periodo de tiempo, cuesta menos que el costo de reparar las fallas que pretenden prevenir.

Es necesario considerar otros puntos cuando se realizan fallas con consecuencias no operacionales:

- Daños secundarios: Ciertos modos de falla pueden causar si no se los evita o previene, un daño secundario considerable, lo que se suma a sus costos de reparación. Una tarea proactiva puede llevar a prevenir o anticipar la falla y evitar ese riesgo.
- Funciones protegidas: Sólo podríamos decir que una falla no tiene consecuencias operacionales porque dispone de un dispositivo redundante o de reserva, si es razonable asumir que el dispositivo de protección será funcional cuando la falla ocurra. Esto significa, por supuesto, que un programa de mantenimiento apropiado debe ser aplicado al dispositivo de protección. (Moubray J. , 2004)

2.5 PLANTA DE REVISIONES TÉCNICAS

De acuerdo a lo establecido en el Reglamento Nacional de Inspecciones Técnicas Vehiculares DECRETO SUPREMO N° 025-2008-MTC Artículo 34°.- Equipamiento de los Centros de Inspección Técnica Vehicular- CITV Cada Línea de Inspección Técnica Vehicular que acredite el Centro de Inspección Técnica Vehicular - CITV deberá estar preparada para la inspección de los vehículos menores, livianos y pesados, según corresponda. Asimismo, deberá contar con el siguiente equipamiento nuevo y en perfecto estado de funcionamiento:

- a) Un (01) Regloscopio con Luxómetro. El equipo debe permitir el ajuste de la altura y corrección de profundidad de la luz, así como el desplazamiento transversal de un faro a otro.
- b) Un (01) Reflectómetro, para verificar el grado reflectividad de las láminas reflectivas y de la Placa Única Nacional de Rodaje.
- c) Un (01) medidor de alineación de ruedas al paso para la verificación de convergencia o divergencia de cada una de las ruedas.
- d) Un (01) frenómetro de rodillos para medir la eficiencia de frenado de las ruedas en conjunto o en forma individual.
- e) Un (01) detector de holguras. El equipo debe permitir detectar el desgaste de terminales, rótulas y elementos articulados del vehículo y debe operar en ambas ruedas de un mismo eje.
- f) Un (01) banco de pruebas de suspensiones que permita medir el estado de la suspensión de los vehículos livianos inspeccionados. Este equipo

únicamente es exigible para las Líneas de Inspección Técnica Vehicular tipo liviano.

- g) Un (01) analizador de gases homologado en el país de acuerdo a la reglamentación vigente.
- h) Un (01) Opacímetro homologado en el país de acuerdo a la reglamentación vigente.
- i) Un (01) sonómetro, para verificar los límites máximos de emisiones sonoras de los vehículos.
- j) Una (01) torre de inflado de llantas.
- k) Un (01) detector de profundidad de las ranuras de los neumáticos.
- l) Una (01) cámara fotográfica digital con fechador incorporado.
- m) Un (01) equipo para realizar mediciones de calibración y medidas generales de los vehículos.
- n) Fosa o zanja para la inspección visual del vehículo desde la parte inferior del mismo o, alternativamente para las líneas de inspección técnica tipo liviano, un elevador con una capacidad mínima de levante de 3,500 kilogramos y una altura de elevación mínima de 1600 mm. Excepcionalmente, para el caso de los Centros de Inspección Técnica Vehicular Móvil, la DGTT deberá determinar el sistema o mecanismo similar.

2.5.1 Regloscopio con Luxómetro

En los centros de ITV se utiliza el Regloscopio con luxómetro para poder verificar y corregir el reglaje de los faros de un automóvil, y de esta manera

conseguir un funcionamiento óptimo y eficaz de los mismos. El regloscopio concentra a través de una lente condensadora el haz de luz sobre una pantalla situada en plano focal de la lente, en la cual se proyecta el haz. De este modo el regloscopio es capaz de reproducir el haz de luz que el faro proyecta sobre la carretera, para poder observar con facilidad si el reglaje es el correcto o por el contrario produce deslumbramiento.

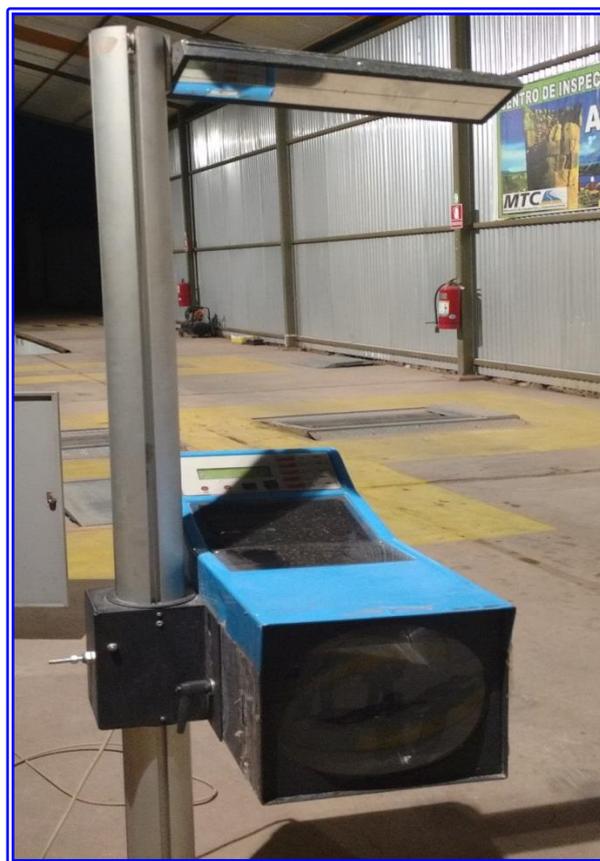
El regloscopio consta de un regulador de grados en la parte trasera, con el cual se debe ajustar la inclinación de los faros. Estos datos de inclinación vienen marcados por el fabricante en la parte posterior de la carcasa de los mismos.

Una vez ajustada la inclinación de los faros, se procede al movimiento vertical del regloscopio para ajustar la altura del tubo óptico a la de los faros del vehículo. El interior del tubo óptico es una cámara oscura con una pantalla al fondo. Esta pantalla es girada entre 1 y 2 grados según la inclinación de los faros. En el extremo delantero hay instalada una lente, cuya misión es condensar la imagen, muy reducida, producida por el foco del vehículo, de tal forma que esta imagen pueda verse reflejada en la pantalla que se encuentra en el fondo del tubo.

En la pantalla se muestra una marca que indica la situación del centro de la lente y las líneas de referencia para el ajuste de los faros. De este modo el operario que realiza el reglaje puede observar en cada momento y simplemente mirando la pantalla a través de una ventana dispuesta para tal efecto, si el haz de luz está centrado. La medida de la intensidad luminosa se realiza por medio de un luxómetro incorporado en el equipo.

En la parte superior del regloscopio se encuentra un espejo en el que, al igual que en la pantalla interior, hay dibujadas una serie de líneas de referencia, que en este caso son utilizadas para comprobar la linealidad de ambos faros. (Ortiz, 2013)

Figura N° 2.3 Regloscopio con Luxómetro



Elaboración: Propia

2.5.2 Reflectómetro

El reflectómetro, se utiliza para verificar el grado de reflectividad de las láminas reflectivas y la placa única nacional de rodaje

Un reflectómetro, también referido como un espectrofotómetro, es un instrumento óptico utilizado para medir la intensidad de la luz a través de una solución o un objeto como una función de la longitud de onda de la luz. Por lo general se utilizan para medir el grado de reflectividad.

Figura N° 2.4 Reflectómetro HI TEC GM-026



Elaboración: Propia

2.5.3 Medidor de alineación de ruedas al paso

En la actualidad para comprobar la alineación de las ruedas en la inspección técnica vehicular se utiliza una placa alineadora al paso

El proceso que se sigue en la inspección técnica vehicular para medir la alineación del vehículo es de la siguiente forma: el operario a través de una

inspección visual da indicaciones al conductor para que la rueda pase por el centro de la placa mecánica o placa de convergencia. En teoría se debe pasar a una velocidad recomendada por los fabricantes comprendida entre los 3 – 6 km/h (lo que equivale a una persona caminando). Desde el momento en que la rueda tiene contacto con la placa, esta se desplazará de forma perpendicular a la dirección de la marcha. Una vez que se inicia el desplazamiento el sensor de convergencia de la placa, comienza a funcionar midiendo en milímetros la convergencia. Con sólo hacer pasar una rueda supuestamente se mide la convergencia del eje perteneciente a dicha rueda.

Esta máquina puede medir tanto convergencias positivas como negativas. En el caso de convergencia positiva la placa se desplazará a la izquierda según el sentido de la marcha. En caso de tratarse de un vehículo con divergencia (convergencia negativa), la placa se desplazará a la derecha

También hay que mencionar que en estas máquinas se puede medir tanto la convergencia del eje delantero como del trasero. (Barros, 2011).

Figura N° 2.5 Medidor de alineación de ruedas al paso BEISSBARTH MSS 8400



Elaboración: Propia

2.5.4 Frenómetro de rodillos

El frenómetro es un equipo mecatrónico que tiene la finalidad de realizar una rápida y eficaz verificación del sistema de frenos para obtener la eficiencia del frenado, son utilizados en las inspecciones técnicas de vehículos (ITV).

El Frenómetro de rodillos requiere de menos espacio para su montaje por lo que es más firme, permite realizar mediciones repetitivas y a la vez se despreja la resistencia aerodinámica por lo que es más preciso para adquirir los datos de fuerza de frenada, el equipo está conformado por dos rodillos recubiertos de material con propiedades elastómeras, ubicado sobre un chasis al que se le adapta un motorreductor y demás componentes para obtener la eficiencia de frenado.

Mediante la rotación recibida del motorreductor, los rodillos son los encargados de hacer rotar las ruedas de la motocicleta y al momento de aplicar los frenos se adquiere un porcentaje de deslizamiento rueda – rodillo, durante el ensayo, la velocidad tangencial de los rodillos debe ser constante en un rango de 2 a 6 km/h. Los rodillos son conformados por tubos de petróleo y por el centro de los tubos un eje pasante y los tubos tienen un recubrimiento para que la llanta de la motocicleta pueda adherirse al rodillo al momento de realizar el frenado. (CAMPOVERDE, 2017).

Figura N° 2.6 Frenómetro de rodillos BEISSBARTH MB 8100



Elaboración: Propia

2.5.5 Detector de holguras

Este equipamiento permite la determinación rápida de defectos y desgaste en piezas de dirección, apoyos de rueda, amortiguación y suspensiones. Es un equipo que maneja un solo operario, permite la comprobación del juego del apoyo de rueda sin elevar el vehículo, y está compuesto de dos placas de prueba montadas a ras de suelo en los cimientos que permiten transmitir al vehículo una serie de movimientos vigorosos uniformes con accionamiento hidráulico, que permiten detectar holguras en manguetas (movimientos horizontales) y descubren posibles desajustes en las ballestas y en la barra estabilizadora (movimientos verticales).

Figura N° 2.7 Detector de holguras BEISSBARTH GST 8508



Elaboración: Propia

2.5.6 Banco de pruebas de suspensiones

El banco de pruebas de suspensión es un equipo para la medición de la amortiguación de eje, al medir la amortiguación del eje se trata de valorar la eficacia

en función, por una parte, de la amortiguación y la masa del vehículo y, por otra, la constante del muelle. Si se mira el vehículo con un esquema simple, tenemos una figura formada por la estructura del vehículo, los muelles del vehículo, los amortiguadores, los apoyos, así como los ejes y las ruedas. Esto también explica porque los componentes como el amortiguador no se pueden comprobar como elementos individuales estando montados.

Figura N° 2.8 Banco de pruebas de suspensiones BEISSBARTH SA 640



Elaboración: Propia

2.5.7 Analizador de gases

Es un equipo para medir y analizar los gases de escape producto de la combustión de los combustibles producidos en el interior de los motores de combustión interna.

Cuando el vehículo se encuentra en funcionamiento se genera el proceso de combustión interna y producto de esto se obtienen gases como el CO (monóxido de carbono), el CO₂ (dióxido de carbono), el O₂ (oxígeno), hidrocarburos no quemados (HC), nitrógeno, agua y bajo ciertas condiciones NO_x (óxidos de nitrógeno).

El análisis de los gases de escape de los motores de combustión puede ayudar a evaluar el rendimiento del motor y diagnosticar problemas. Es una maquina analizadora de gases de escape portátil la cual puede medir el oxígeno (O₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂), e hidrocarburos (HC 's). (ALVA, 2015).

Figura N° 2.9 Analizador de gases PIERBURG INSTRUMENTS



Elaboración: Propia

2.5.8 Opacímetro

Opacímetros son analizadores de humos de cámara cerrada que funcionan bajo el procedimiento de muestreo de descargas parciales utilizados en los Programas de Verificación Vehicular y de acuerdo a lo indicado en la norma técnica vigente. Tienen dos escalas de medición: Una de ellas en unidades de absorción de luz expresada de 0 % a 100 % de opacidad, ambas escalas de medición se extienden desde cero con el flujo total de luz hasta el valor máximo de la escala con obscurecimiento total. (ALVA, 2015)

Figura N° 2.10 Opacímetro AVL DITEST



Elaboración: Propia

Los demás instrumentos como el sonómetro, detector de profundidad, etc. Son instrumentos portátiles.

2.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.6.1 TIPO METODOLÓGICO

Para el presente proyecto de tesis el método de investigación en cada objetivo específico es del tipo no experimental, transversal, descriptivo, que abarca los siguientes niveles:

De Campo, la información de campo es primaria, teniendo como consecuencia conocimientos más reales sobre el problema, porque permite el contacto directo con la realidad, en el estudio de la presente investigación, las técnicas a utilizarse son la encuesta y la observación de campo, ya que en su desarrollo presentan mayor complejidad y por ende los resultados que se obtienen son de fácil interpretación y análisis.

Documental, el propósito de la revisión documental bibliográfica en la presente investigación tiene como finalidad ampliar y profundizar las teorías y enfoques acerca del tema de investigación basándose en los documentos y publicaciones referentes al presente proyecto, las que permiten hacer un vínculo entre los antecedentes históricos y lo actual.

2.6.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos para la presente Investigación se obtendrá mediante los siguientes instrumentos de recolección de datos:

2.6.3 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

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 observación científica es aquella observación que se realiza como parte de un proyecto de investigación científica. Se caracteriza porque tiene objetivos definidos y concretos, y porque deliberadamente procura ser objetiva. En este ítem se examinan cuestiones relativas al registro de la observación, los tipos de observación, las precauciones en el empleo de esta técnica de recolección de datos y algunas de sus ventajas y limitaciones. (Cazau, 2006)

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 consiguiente, buscaremos temas relacionados con el mantenimiento preventivo.

Una vez obtenida la información esta se analizará e interpretará los relacionándolos con las diferentes partes de la investigación, en especial con los objetivos y la hipótesis.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo de investigación

Para la presente investigación se aplicó la técnica de observación documental a través de documentos estadísticos como instrumentos. Se trata de una investigación exploratoria, descriptiva correlacional.

Para Pablo Cazau 2006, Según su alcance, las investigaciones pueden ser exploratorias, descriptivas, correlacionales o explicativas. Estos tipos de investigación suelen ser las etapas cronológicas de todo estudio científico, y cada una tiene una finalidad diferente: primero se 'explora' un tema para conocerlo mejor, luego se 'describen' las variables involucradas, después se 'correlacionan' las variables entre sí para obtener predicciones rudimentarias, y finalmente se intenta 'explicar' la influencia de unas variables sobre otras en términos de causalidad. Hyman clasifica las encuestas en tres grandes tipos (Hyman, 1955:100-101): descriptivas, explicativas y predictivas, aunque se ocupará en detalle solamente de las dos primeras.

Autores como Hyman (1955) se limitan a clasificar las investigaciones como descriptivas y explicativas, denominándolas metonímicamente como 'encuestas descriptivas y explicativas' por cuanto la herramienta principal de recolección de

datos es la encuesta. Este autor establecerá una diferencia entre las encuestas descriptivas y las explicativas, aunque señala que tal distinción, si bien real, no es siempre factible, pues "muchas encuestas reúnen características combinadas de descripción y explicación" (Hyman, 1955:24). Su intención, al explicar separadamente los principios de cada una, ha sido más bien didáctica. (Cazau, 2006)

Investigación Exploratoria

La investigación exploratoria, también llamada formulativa (Selltitz), permite conocer y ampliar el conocimiento sobre un fenómeno para precisar mejor el problema a investigar. Puede o no partir de hipótesis previas, pero al científico aquí le exigimos flexibilidad, es decir, no ser tendencioso en la selección de la información. En la investigación exploratoria se estudian qué variables o factores podrían estar relacionados con el fenómeno en cuestión, y termina cuando uno ya tiene una idea de las variables que juzga relevantes, es decir, cuando ya conoce bien el tema.

Hernández Sampieri y otros (1996:71) indican que los estudios exploratorios tienen por objeto esencial familiarizarnos con un tópico desconocido o poco estudiado o novedoso. Esta clase de investigaciones sirven para desarrollar métodos a utilizar en estudios más profundos. De hecho, una misma investigación puede abarcar fines exploratorios, en su inicio, y terminar siendo descriptiva, correlacional y hasta explicativa: todo según los objetivos del investigador. (Cazau, 2006).

Investigación descriptiva

En un estudio descriptivo se seleccionan una serie de cuestiones, conceptos o variables y se mide cada una de ellas independientemente de las otras, con el fin, precisamente, de describirlas. Estos estudios buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno.

Los estudios descriptivos (Hernández Sampieri y otros, 1996:71) sirven para analizar como es y se manifiesta un fenómeno y sus componentes. (Cazau, 2006).

Investigación correlacional

Tiene como finalidad medir el grado de relación que eventualmente pueda existir entre dos o más conceptos o variables, en los mismos sujetos. Más concretamente, buscan establecer si hay o no una correlación, de qué tipo es y cuál es su grado o intensidad (cuán correlacionadas están).

En otros términos, los estudios correlacionales pretenden ver cómo se relacionan o vinculan diversos fenómenos entre sí (o si no se relacionan) (Hernández Sampieri y otros, 1996:71). (Cazau, 2006).

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.

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

Conforme lo planteado anteriormente 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 Análisis en función de la Criticidad de los Equipos de la planta de centro Inspección técnica vehicular AZPER PERÚ SAC Juliaca y Elaboración de un Plan de Mantenimiento basado en la confiabilidad, para cumplir con los objetivos planteados consta fundamentalmente de los siguientes pasos:

- Diagnosticar la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de la planta para determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla.
- Identificar los componentes más críticos.
- Determinar los intervalos de mantenimiento preventivo.

3.2 Procedimiento de la investigación

3.2.1 Diagnóstico de la situación actual

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

Mediante el siguiente análisis aplicándolo en los equipos de la planta de inspecciones técnicas vehicular de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla N° 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 Componentes críticos

Es parte de la metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto en las funciones de los activos

Cuando existen varios sistemas y subsistemas, es necesario establecer una metodología que permita saber a qué sistemas y subsistemas se deben dirigir todos los esfuerzos y metodologías del RCM, para atender los subsistemas más críticos. Para la identificación de los componentes más críticos utilizaremos el análisis de modo y efectos de falla (AMEF), planteada por John Moubray. La que está constituida por la hoja de información y la hoja de decisión, las que se detallan brevemente a continuación:

3.2.2.1 Análisis de Modo y Efectos de Fallas (AMEF)

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. 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.

3.2.2.2 Hoja de información

Se registrará la información recopilada en los primeros cuatro pasos del RCM, como son:

- Las funciones
- Fallas funcionales
- Modos de fallas
- Los efectos de las fallas.

Tabla N° 3.2 Hoja de información

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

Fuente: (Moubray J. , 2004)

3.2.2.3 Análisis de modos y efectos de falla (AMEF).

Para el análisis de los modos y efectos de falla tomaremos en consideración lo siguiente: A cada modo de fallo hay que asignar un Número de Prioridad de Riesgo (NPR).

Es la típica valoración de un AMEF, tanto de proceso como de diseño, aunque en el caso de RCM está orientado hacia el control de fallos y/o sus consecuencias.

3.2.2.4 Número de Prioridad de Riesgo (NPR).

Se multiplican los valores de Gravedad x Ocurrencia x Detección y se obtiene el NPR para cada modo de fallo.

$$NPR = G * D * O$$

Tabla N° 3.3 Puntaje del AMEF

GRAVEDAD	
Ínfima, imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10
OCURRENCIA	
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10
DETECCIÓN	
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Fuente: Mora G.A. 2010

Se tiene en cuenta para el análisis del Número de Prioridad de Riesgo, la siguiente puntuación:

- $NPR > 200$ Inaceptable (I).
- $200 > NPR > 120$ Reducción deseable (R).
- $120 > NPR$ Aceptable (A).

3.2.2.5 Hoja de decisión de RCM.

La Hoja de Decisión de RCM está dividida en dieciséis columnas, Las columnas tituladas F, FF y MF identifican el modo de falla que se analiza en esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias entre las Hojas de Información y las Hojas de Decisión.

Las columnas de la octava a la décima, permiten registrar las tareas a realizar de la siguiente forma:

H1/S1/O1/N1: es usada para registrar si se pudo encontrar una tarea a condición apropiada.

H2/S2/O2/N2: es usada para registrar si se pudo encontrar una tarea de reacondicionamiento cíclico.

H3/S3/O3/N3: es usada para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica. En cada caso, una tarea sólo es apropiada si merece la pena realizarla y si es técnicamente factible.

Las columnas.

H4, H5 y S4: son utilizadas para registrar las respuestas a las tres preguntas “a falta de” en este punto se selecciona si debe hacerse una tarea de búsqueda de fallas, una combinación de tareas, un rediseño, o ningún mantenimiento programado.

La última columna en la hoja de decisión se utiliza para anotar quién debe hacer cada tarea; nótese que el proceso de RCM considera este tema para un modo de falla a la vez. (IRRARAZABAL, 2017).

Tabla N° 3.4 Estructura de la Hoja de decisiones de RCM

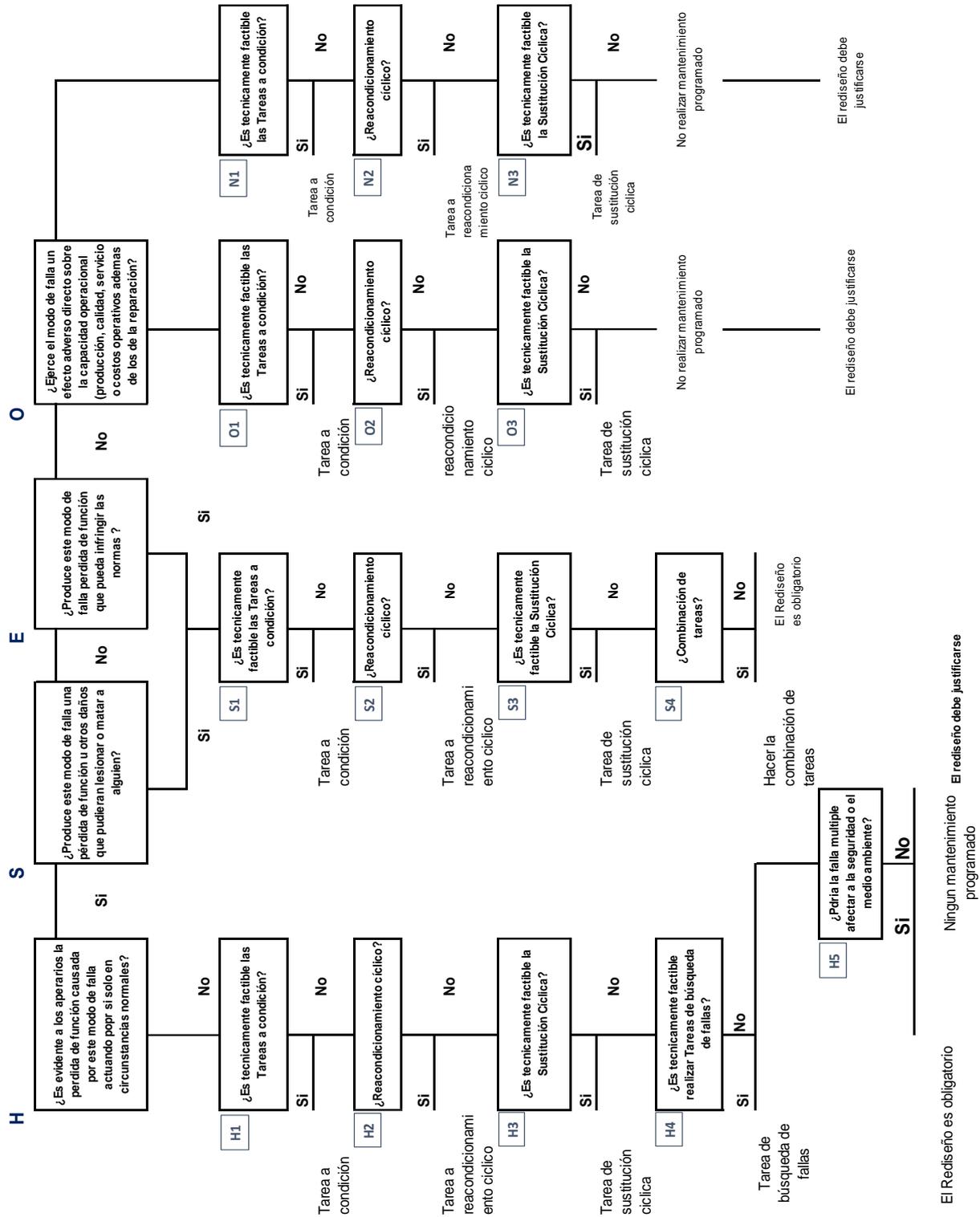
HOJA DE DECISIÓN EPIME UNA		SISTEMA/ACTIVO						SISTEMA N°			RECOPILADO POR			FECHA		HOJA
		SUB SISTEMA/COMPONENTE						REF								DE
Referencia de Información		Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas			Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4							

Fuente: (Moubray J. , 2004)

3.2.2.6 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 N° 3.1 Árbol Lógico



Fuente: (Moubray J. , 2004)

3.2.2.7 Hoja de decisión

De acuerdo al procedimiento establecido por John Moubray 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 la tabla se muestra una hoja de decisión.

Tabla N° 3.5 Hoja de decisión

HOJA DE DECISIÓN EPIME UNA		ACTIVO						SISTEMA	RECOPIADO POR	FECHA	HOJA				
Referencia de Información		Evaluación de las consecuencias						Tareas "a falta de"	Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por				
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4			
													<ul style="list-style-type: none"> → El rediseño debe justificarse → ¿Podría la falla múltiple afectar a la Seguridad o el medio ambiente? → ¿ Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de Búsqueda de fallas? → ¿ Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de Sustitución reacondicionamiento cíclico? → ¿ Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de reacondicionamiento cíclico? → ¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de condición o MPd? → ¿Ejerce el modo de falla un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicios o costos operativos) además de los de reparación? → ¿ó Reglamento del medio ambiente? → ¿Este modo de falla produce una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien? → ¿Será evidente a los operarios la pérdida de función causada por este modo de falla? 		

Fuente: (Moubray J. , 2004)

3.2.2.8 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.

Los criterios y parámetros que se utilizaron son los siguientes:

- **Frecuencia de Fallas.** Es la cantidad de veces que falla cualquier componente del sistema o subsistema que produce la pérdida de su función, es decir, que implique una parada, en un periodo de un año.
- **Tiempo Promedio para Reparar.** Es el tiempo promedio para reparar la falla, se considera desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible.
- **Costo de Mantenimiento.** Se refiere al costo promedio por falla requerido para restituir el equipo a condiciones óptimas de funcionamiento.
- **Impacto en la Seguridad Personal.** Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones y en los cuales alguna persona pueda o no resultar lesionada.
- **Impacto Ambiental.** Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones produciendo la violación de cualquier regulación ambiental, además de ocasionar daños a otras instalaciones.

Tabla N° 3.6 Criterios a evaluar, Matriz de Criticidad

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

Fuente: (Jones, 1995)

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

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

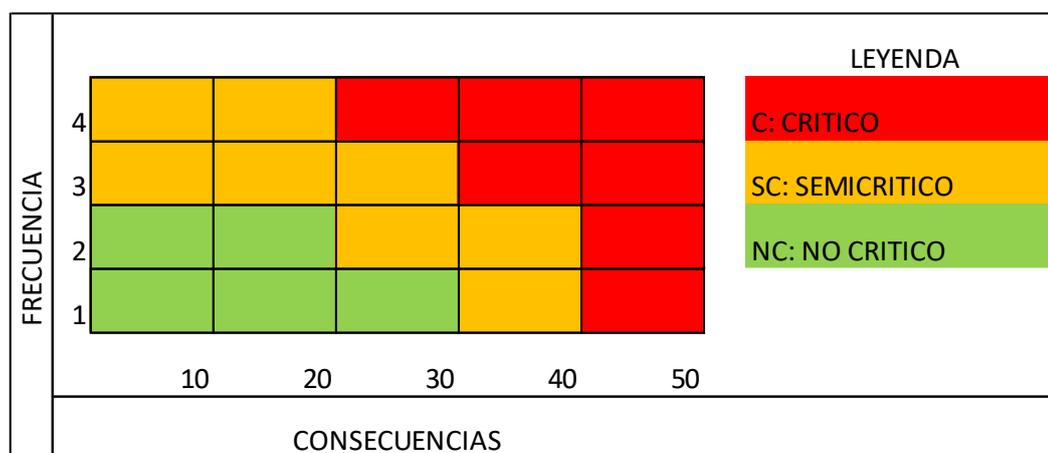
$$\text{Críticidad total} = \text{Frecuencia de fallas} \times \text{Consecuencia}$$

$$\text{Consecuencia} = ((\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costos Mtto.} + \text{Impacto SAH})$$

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 N° 3.2 Matriz de criticidad



Fuente: (Moubray, 2004)

3.2.3 Determinación de los intervalos de mantenimiento preventivo

Para determinar los intervalos de mantenimiento preventivo usaremos la metodología del análisis de Weibull para lo cual seguiremos el siguiente procedimiento:

3.2.3.1 Construcción del gráfico Weibull para la confiabilidad

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

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

Tenemos la ecuación de rango medio, para muestras mayores a catorce datos.

$$F(i) = \left\lfloor \frac{i}{(n+1)} \right\rfloor \quad (3.1)$$

En donde:

n: tamaño de la muestra

i: Numero de la muestra

Para la muestra menor a 14, se utiliza la ecuación de la mediana, que es la siguiente:

$$F(i) = \left\lfloor \frac{(i-0.3)}{(i+0.4)} \right\rfloor \quad (3.2)$$

En donde:

i: Numero de la muestra

Es necesario linealizar de forma doble los parámetros de rango medio, tanto en X e Y. De manera de graficar esta linealización en un gráfico de dos variables, y al mismo tiempo incorporarle una línea de tendencia para asegurarse que la correlación de los datos es por lo menos fuerte en la muestra.

Seguidamente se calculó la tasa de fallas, utilizando la siguiente formula:

$$\lambda = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (3.3)$$

Dónde:

β : Es el parámetro de forma que determina la forma de la distribución.

t: El tiempo de operación.

D: Es un parámetro de escala expresado en horas.

Calculamos la función de Weibull mediante la siguiente expresión:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.4)$$

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

γ (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.

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

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

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

La función de Confiabilidad está definida por:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.6)$$

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

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.7)$$

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

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (3.8)$$

De acuerdo a los valores que tome el parámetro β 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.

$$MTBF = e^{\frac{-1}{\eta}^{\beta}} \quad (3.9)$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se obtiene los resultados correspondientes a los objetivos planteados en la presente investigación de acuerdo a la metodología planteada en el capítulo anterior.

4.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

Para el diagnóstico de la situación actual presentamos en la siguiente tabla la relación de los equipos con los que cuenta la planta de inspección técnica vehicular AZPER PERÚ SAC.

Tabla N° 4.1 Equipos de la planta de revisiones técnicas

N°	DESCRIPCION	MARCA	MODELO	SERIE
1	REFLECTOMETRO	HENAN HI TECH	GM-026	N579540
2	ANALIZADOR DE GASES	PIERBURG INSTRUMENTS	HGA 400 4 GR	892
3	OPACIMETRO	AVL DITEST	DISMOKE 4000	1679-11152
4	SONOMETRO DIGITAL	CEM	DT-8852	10101342
5	ALINEAMIENTO AL PASO	BEISSBARTH	MSS 8400	000515
6	BANCO DE SUSPENSION	BEISSBARTH	SA 640	0001908
7	DETECTOR DE HOLGURAS	BEISSBARTH	GST 8508	0000722
8	FRENOMETRO	BEISSBARTH	MB 8100	0001582 R-0001582 L
9	PROFUNDIMETRO	ADDTECH	ADD6231	-
10	ALINEADOR DE LUCES	BEISSBARTH	MLD 9 (EU)	0534
11	COMPRESORA NEUMATICA	LECO	HVC 50L	-
12	TERMÓMETRO	CEM	DT-8855	-

Elaboración: Propia.

4.2 Análisis de los equipos

Para el diagnostico de los equipos que detallamos a continuación realizamos mediante el análisis del factor de estado teniendo en consideración la situación

actual de los equipos antigüedad y principalmente el nivel de uso, en la siguiente tabla detallamos los diferentes factores de estado:

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

Tabla N° 4.2 Factor de estado

FACTOR DE ESTADO (F.E)				
1	REFLECTOMETRO	HENAN HI TECH	GM-026	N579540
CALIFICACIÓN	CONDICIÓN OPERATIVA	NIVEL DE USO	MANTENIMIENTO	ESTADO
1	operativo	Uso normal	No necesita	Vigente
FACTOR DE ESTADO (F.E)				
2	ANALIZADOR DE GAS	PIERBURG INSTRUMENTS	HGA 400 4 GR	892
CALIFICACIÓN	CONDICIÓN OPERATIVA	NIVEL DE USO	MANTENIMIENTO	ESTADO
2	operativo	Mucho uso	Necesita reparaciones normales o rutinarias	Moderada Obsolescencia
FACTOR DE ESTADO (F.E)				
3	OPACIMETRO	AVL DITEST	DISMOKE 4000	1679-11152
4	SONOMETRO DIGITAL	CEM	DT-8852	10101342
5	ALINEAMIENTO AL PA	BEISSBARTH	MSS 8400	000515
CALIFICACIÓN	CONDICIÓN OPERATIVA	NIVEL DE USO	MANTENIMIENTO	ESTADO
2	operativo	Mucho uso	Necesita reparaciones normales o rutinarias	Moderada Obsolescencia
FACTOR DE ESTADO (F.E)				
6	BANCO DE SUSPENSION	BEISSBARTH	SA 640	0001908
7	DETECTOR DE HOLGURAS	BEISSBARTH	GST 8508	0000722
8	FRENOMETRO	BEISSBARTH	MB 8100	0001582 R-0001582 L
CALIFICACIÓN	CONDICIÓN OPERATIVA	NIVEL DE USO	MANTENIMIENTO	ESTADO
2	operativo	Mucho uso	Necesita reparaciones normales o rutinarias	Moderada Obsolescencia
FACTOR DE ESTADO (F.E)				
8	FRENOMETRO	BEISSBARTH	MB 8100	0001582 R-0001582 L
9	PROFUNDIMETRO	ADDETECH	ADD6231	-
10	ALINEADOR DE LUCES	BEISSBARTH	MLD 9 (EU)	0534
CALIFICACIÓN	CONDICIÓN OPERATIVA	NIVEL DE USO	MANTENIMIENTO	ESTADO
2	operativo	Mucho uso	Necesita reparaciones normales o rutinarias	Moderada Obsolescencia

Elaboración: propia

4.3 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

De acuerdo a lo planteado en el capítulo anterior realizamos el análisis de efectos y modo de fallas (AMEF), que de acuerdo a la metodología planteada por Moubray nos da los siguientes análisis:

En la tabla se muestra el análisis de efectos y modo de fallas (AMEF), para el reflectómetro de la planta de inspección técnica vehicular.

Tabla N° 4.3 AMEF Reflectómetro

HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA/ACTIVO:	PLANTA DE INSPECCIÓN	RECOPIADO POR:	FECHA:	HOJA
INFORMACIÓN RCM	SUB-SISTEMA/COMPONENTE	REFLECTOMETRO	CHINO ANAHUA	2018	1
FUNCIÓN	FALLA DE LA FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA		
	(Pérdida de función)	(Causa de la Falla)	(Que sucede cuando ocurre la falla)		
1. Verificar el grado de reflectividad de las láminas reflectivas y la placa única nacional de rodaje	A. No Verifica el grado de reflectividad de las láminas reflectivas y la placa única nacional de rodaje	1.A.1 La batería no recibe la carga correspondiente.	El equipo no enciende por falta de energía.		
		1.A.2. Sistema electrónico dañado	El equipo no mide el grado de reflectividad		
		1.A.3. Software alterado	El equipo no mide el grado de reflectividad		
		1.A.4. Pantalla con daño físico	No se puede leer el grado de reflectividad		
		1.A.5. Falla por mal mantenimiento o mala operación	Procedimientos de mantenimiento y operación inadecuados por el personal de mantenimiento y operación		

Elaboración: propia

En la tabla se muestra el análisis de efectos y modo de fallas (AMEF), para el analizador de gases y el opacímetro de la planta de inspección técnica vehicular.

Tabla N° 4.4 AMEF Analizador de gases y Opacímetro

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	SISTEMA/ACTIVO:	PLANTA DE INSPECCIÓN	RECOPILADO POR:	FECHA:	HOJA
	SUB-SISTEMA/COMPONE	ANALIZADOR DE GASES, OPACIMETRO	CHINO ANAHUA	2018	2
FUNCIÓN	FALLA DE LA FUNCIÓN (Pérdida de	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTO DE LA FALLA (Que sucede cuando ocurre la falla)		
2.medir y analizar los gases de escape producto de la combustión de los combustibles producidos en el interior de los motores de combustión interna.	A. Incapaz de medir y analizar los gases de escape producto de la combustión de los combustibles producidos en el interior de los motores de combustión interna	2.A.1 Desgaste del conector de termopar para la temperatura del gas de muestra	No registra la información		
		2.A.2. Desgaste del termopar principal de aire ambiente	No registra la información		
		2.A.3. Daño del conector de cable USB	No registra la información		
		2.A.4. Desgaste del conector de gas de muestra	No registra la información		
		2.A.5. Daño del conector de corriente	No enciende por falta de energía		
		2.A.6. Daño del conector de presión diferencial	No registra la información		
		2.A.7. obstrucción del colector de agua y filtro	Operación errática		
		2.A.8. Manija de la sonda defectuosa	Operación errática		
		2.A.9. Tubo de la sonda defectuosa	Operación errática		
		2.A.10. Tope de la sonda defectuosa	Operación errática		

Elaboración: propia

En las siguientes tablas se muestran el análisis de efectos y modo de fallas (AMEF), para el alineamiento al paso y (el banco de suspensión y frenómetro) de la planta de revisiones técnica vehicular.

Tabla N° 4.5 AMEF Alineamiento al paso

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	SISTEMA/ACTIVO:	PLANTA DE INSPECCIÓN	RECOPILADO POR:	FECHA:	HOJA
	SUB-SISTEMA/COMPONE	ALINEAMIENTO AL PASO	CHINO ANAHUA	2018	3
FUNCIÓN	FALLA DE LA FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA		
	(Pérdida de	(Causa de la Falla)	(Que sucede cuando ocurre la falla)		
3. comprobar la alineación de las ruedas en la inspección técnica vehicular	A. No puede comprobar la alineación de las ruedas en la inspección técnica vehicular.	3.A.1 Cable de energia dañado	No recibe energia para el funcionamiento		
		3.A.2. Software dañado	No emite respuesta del analisis		
		3.A.3. Desgaste de las billas	No funciona el sistema de alineamiento		
		3.A.4. Sistema electromecanico dañado	No funciona el sistema de medición del alineamiento		

Elaboración: propia

Tabla N° 4.6 AMEF Banco de Suspensión y Frenómetro

HOJA DE IINFORMACIÓN RCM	SISTEMA/ACTIVO:	PLANTA DE INSPECCIÓN	RECOPILADO POR:	FECHA:	HOJA
	SUB-SISTEMA/COMPONE	BANCO DE SUSPENSIÓN y FRENÓMETRO	CHINO ANAHUA	2018	4
FUNCIÓN	FALLA DE LA FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA		
	(Pérdida de función)	(Causa de la Falla)	(Que sucede cuando ocurre la falla)		
4. Medición de la amortiguación y fuerza de frenaje de los vehiculos	A. Incapaz de realizar la Medición de la amortiguación y fuerza de frenaje de los vehiculos .	4.A.1 Cable de energia dañado	No recibe energia para el funcionamiento		
		4.A.2. Software dañado	No emite respuesta del analisis		
		4.A.3. Motor electrico falla	No funciona el banco de suspensión y el frenómetro		
		4.A.4. Desgaste del sitema electromecanico	El sistema electromecanico no funciona. No realiza las pruebas de suspensión y de frenómetro		
		4.A.5. Sensor en falla, descalibrado o dañado; Conexiones eléctricas flojas del sensor.	Al no activarse esta expuesto a fallas.		

Elaboración: propia

En la tabla se muestra el análisis de efectos y modo de fallas (AMEF), para el detector de holguras de la planta de revisiones técnica vehicular.

Tabla N° 4.7 AMEF Detector de Holguras.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	SISTEMA/ACTIVO:	PLANTA DE INSPECCIÓN	RECOPILADO POR:	FECHA:	HOJA
	SUB-SISTEMA/COMPONE	DETECTOR DE HOLGURAS	CHINO ANAHUA	2018	5
FUNCIÓN	FALLA DE LA FUNCIÓN (Pérdida de	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTO DE LA FALLA (Que sucede cuando ocurre la falla)		
5. Permite la determinación rápida de defectos y desgaste en piezas de dirección, apoyos de rueda, amortiguación y suspensiones	A. No Permite la determinación rápida de defectos y desgaste en piezas de dirección, apoyos de rueda, amortiguación y suspensiones	5.A.1. Bajo nivel de aceite hidráulico	Deficiente funcionamiento del sistema hidráulico con pobre circulación de aceite hidráulico provocando recalentamiento y pérdida de viscosidad del aceite.		
		5.A.2. Fuga de aceite hidráulico por el retén.	El sistema hidráulico funciona con pobre circulación de aceite hidráulico, función lenta del sistema, provocando la falla del sistema .		
		5.A.3. Cable de energía dañado	El sistema electrico no funciona		
		5.A.4. Motor eléctrico falla	No funciona el sistema de medición de holguras		

Elaboración: propia

4.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Para realizar el análisis de criticidad de los equipos que conforman la planta de revisiones técnica vehiculares nos remitimos a la metodología planteada en el capítulo III, de acuerdo a los criterios ya descritos obtenemos los siguientes resultados que mostramos a continuación:

Tabla N° 4.8 Criterios de Evaluación de Criticidad

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

Fuente:(Jones, 1995)

Aplicando la siguiente relación:

Criticidad total = Frecuencia de fallas x Consecuencia

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

Obtenemos los resultados que se analizó durante el periodo de estudio y de acuerdo a la valoración tenemos lo siguiente:

Tabla N° 4.9 Evaluación de Criticidad de la PIVO

Sub Sistemas de la Planta de Inspecciones Tecnica Vehicular	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTOS DE MANTENIMIENTO	IMPACTO DE SEGURIDAD, AMBIENTE	IMPACTO AMBIENTAL	CONSECUENCIA	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
REFLECTOMETRO	1	8	4	2	1	1	36	36	SEMI CRITICO
ANALIZADOR DE GASES	1	8	4	2	1	1	36	36	SEMI CRITICO
OPACIMETRO	1	8	4	2	1	1	36	36	SEMI CRITICO
SONOMETRO DIGITAL	1	8	4	2	1	1	36	36	SEMI CRITICO
ALINEAMIENTO AL PASO	2	8	4	2	3	1	38	76	SEMI CRITICO
BANCO DE SUSPENSION	4	10	4	2	3	1	46	184	CRITICO
DETECTOR DE HOLGURAS	2	8	4	2	3	1	38	76	SEMI CRITICO
FRENOMETRO	4	10	4	2	3	1	46	184	CRITICO
PROFUNDIMETRO	1	8	4	2	1	1	36	36	SEMI CRITICO
ALINEADOR DE LUCES	1	8	4	2	1	1	36	36	SEMI CRITICO
COMPRESORA NEUMATICA	1	8	1	2	1	1	12	12	NC: NO CRITICO
TERMOMETRO	1	8	1	2	1	1	12	12	NC: NO CRITICO

Elaboración: propia

Observamos que tenemos dos sub sistemas críticos en la planta de inspecciones técnica vehicular.

Tabla N° 4.10 Resumen de equipos críticos

Sub Sistemas de la Planta de Inspecciones Tecnica Vehicular	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTOS DE MANTENIMIENTO	IMPACTO DE SEGURIDAD, AMBIENTE	IMPACTO AMBIENTAL	CONSECUENCIA	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
BANCO DE SUSPENSION	4	10	4	2	3	1	46	184	CRITICO
FRENOMETRO	2	10	4	2	3	1	46	92	CRITICO
ALINEAMIENTO AL PASO	2	8	4	2	3	1	38	76	SEMI CRITICO
DETECTOR DE HOLGURAS	2	8	4	2	3	1	38	76	SEMI CRITICO
REFLECTOMETRO	1	8	4	2	1	1	36	36	SEMI CRITICO
ANALIZADOR DE GASES	1	8	4	2	1	1	36	36	SEMI CRITICO
OPACIMETRO	1	8	4	2	1	1	36	36	SEMI CRITICO
SONOMETRO DIGITAL	1	8	4	2	1	1	36	36	SEMI CRITICO
PROFUNDIMETRO	1	8	4	2	1	1	36	36	SEMI CRITICO
ALINEADOR DE LUCES	1	8	4	2	1	1	36	36	SEMI CRITICO
COMPRESORA NEUMATICA	1	8	1	2	1	1	12	12	NC: NO CRITICO
TERMOMETRO	1	8	1	2	1	1	12	12	NC: NO CRITICO

Elaboración: propia

Aplicaremos mantenimiento preventivo a los dos subsistemas críticos de la planta de inspecciones técnicas vehiculares.

4.5 Determinación de los intervalos de mantenimiento de los subsistemas críticos

Para determinar el intervalo de mantenimiento de los subsistemas críticos lo realizamos teniendo en cuenta la metodología del análisis de Weibull que describimos en el capítulo anterior esto con la aplicación de la hoja de cálculo Excel.

4.5.1 Intervalo de mantenimiento para el banco de suspensión

En la tabla mostramos el registro de fallas según lo registrado en el periodo de estudio.

Tabla N° 4.11 Registro de fallas Banco de suspensión

Evento	Horometro	FECHA
F1	224	08/04/2015
F2	500	15/05/2015
F3	731	15/06/2015
F4	1052	28/07/2015
F5	1366	08/09/2015
F6	1642	15/10/2015
F7	1918	21/11/2015
F8	2209	30/12/2015
F9	2508	08/02/2016
F10	2851	25/03/2016
F11	3232	15/05/2016
F12	3523	23/06/2016
F13	3866	08/08/2016

Elaboración: propia

Las horas fueron estimadas de acuerdo al siguiente criterio: Por cada vehículo el equipo funciona 2 minutos; se tienen un promedio de 40 vehículos al día y se trabaja 8 horas al día y 28 días al mes, lo que nos da un promedio de 7.4 horas al día, teniendo registradas las fechas de falla podemos calcular las horas entre evento y evento de falla ya que no se cuenta con horómetro instalados en los equipos.

El procedimiento es el siguiente:

- i. se ordena las horas de operación de menor a mayor
- ii. Para 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.

$$r_i = \frac{j_i - 0.3}{N + 0.4} \quad (4.1)$$

- iii. 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 la tabla N° 4.12.

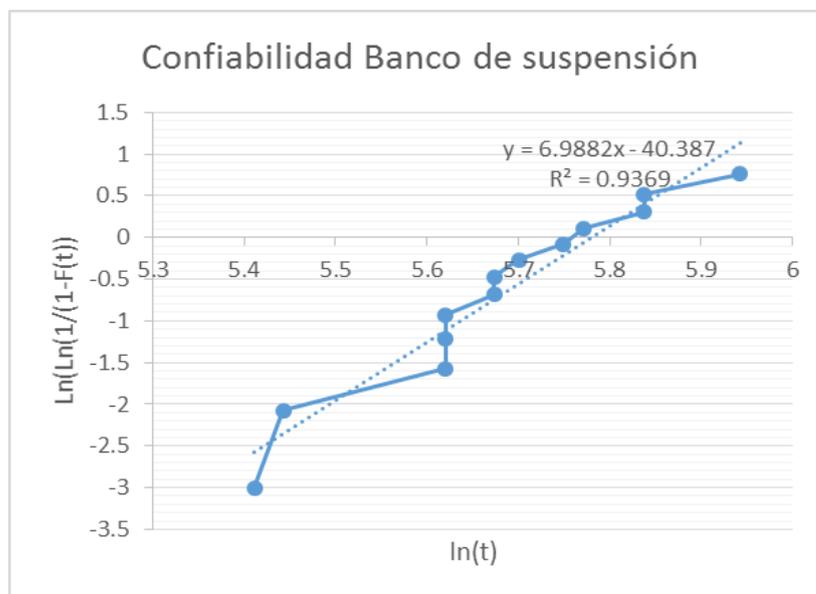
Tabla N° 4.12 Valores Obtenidos Weibull

T (hrs)	$F(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$	ln(t)	Ln(Ln(1/(1-F(t))))	R(t)
		X	Y	
224	4.86%	5.41164605	-2.999090431	95.14%
231	11.81%	5.44241771	-2.074444344	88.19%
276	18.75%	5.62040087	-1.571952527	81.25%
276	25.69%	5.62040087	-1.214075448	74.31%
276	32.64%	5.62040087	-0.928610507	67.36%
291	39.58%	5.67332327	-0.685367162	60.42%
291	46.53%	5.67332327	-0.468392324	53.47%
299	53.47%	5.70044357	-0.267721706	46.53%
314	60.42%	5.74939299	-0.076058454	39.58%
321	67.36%	5.77144112	0.113030157	32.64%
343	74.31%	5.83773045	0.306672154	25.69%
343	81.25%	5.83773045	0.515201894	18.75%
381	88.19%	5.94279938	0.75921576	11.81%

Elaboración: propia

De la ecuación resultante de la correlación, se obtiene como parámetro β el valor que acompaña a la variable independiente.

Figura N° 4.1 Gráfico de Weibull Banco de Suspensión



Elaboración: propia

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

Tabla N° 4.13 Parámetros obtenidos Weibull

β	6.988
γ	0
η	324

Elaboración: propia

Los parámetros generados por el gráfico X, Y, nos muestra el valor de β 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)= 0.9369 que está cercano a uno, por lo tanto hay dependencia lineal de los datos.

Con los valores de β y η , 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.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \tag{3.7}$$

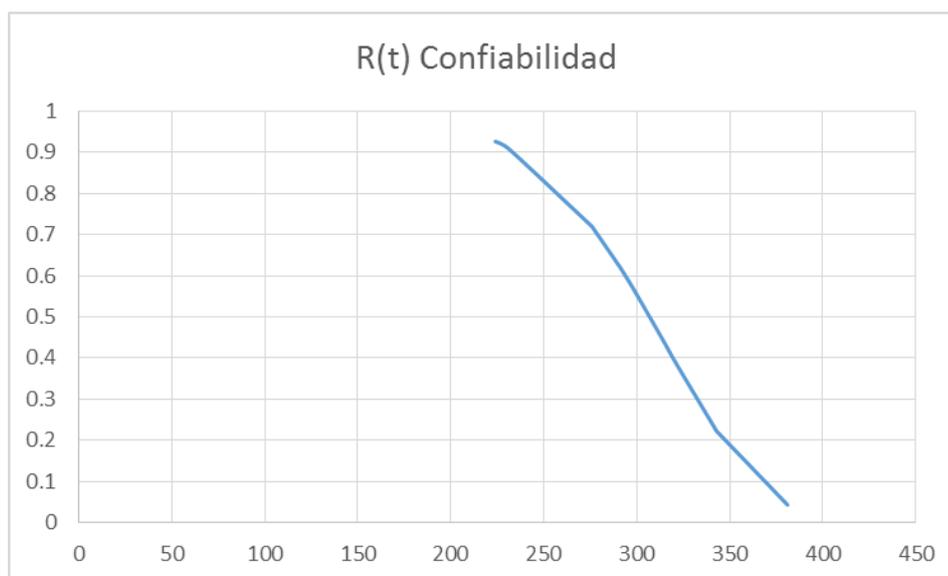
Tabla N° 4.14 Valor Obtenido de Confiabilidad

t	280
R(t)	69.47%
MTTF	345.9

Elaboración: propia

La confiabilidad es el tiempo de buen funcionamiento del equipo, en otros términos podemos señalar que la confiabilidad es la probabilidad de que el banco de suspensión funcione correctamente un periodo determinado de tiempo, para nuestro caso podemos concluir que el equipo funcionara correctamente un periodo de 280 horas con una confiabilidad del 70%, teniendo en consideración que el tiempo promedio entre fallas es de 345 horas; se deberá realizar el mantenimiento preventivo cada 280 horas para el banco de suspensiones.

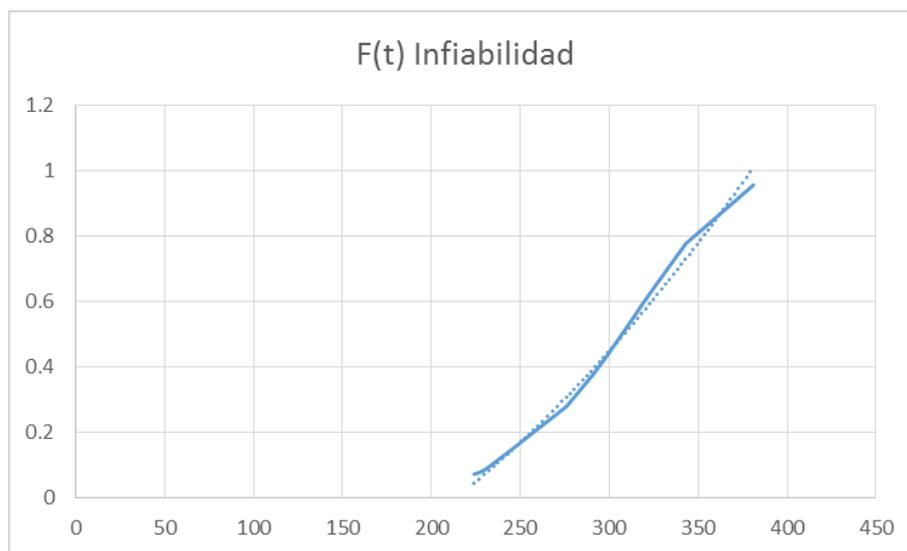
Figura N° 4.2 Gráfico de Confiabilidad Banco de Suspensión



Elaboración: propia

Para la función de Infiabilidad tenemos el siguiente gráfico, podemos notar que esta función es contraria al gráfico de la función de confiabilidad por lo que expresa la probabilidad de fallas del equipo en el tiempo.

Figura N° 4.3 Gráfico de Infiabilidad Banco de Suspensión



Elaboración: propia

4.5.2 Intervalos para Frenómetro

En la tabla mostramos el registro de fallas según lo registrado en el periodo de estudio.

Tabla N° 4.15 Registro de fallas Frenómetro

Evento	Horometro	FECHA
F1	224	09/02/2015
F2	709	15/04/2015
F3	1314	05/07/2015
F4	1949	28/09/2015
F5	2248	07/11/2015
F6	2972	12/02/2016
F7	3413	11/04/2016
F8	4003	29/06/2016
F9	4302	08/08/2016
F10	4967	05/11/2016

Elaboración: propia

Las horas fueron estimadas de acuerdo al siguiente criterio: Por cada vehículo el equipo funciona 2 minutos; se tienen un promedio de 40 vehículos al día y se trabaja 8 horas al día y 28 días al mes, lo que nos da un promedio de 7.4 horas al día, teniendo registradas las fechas de falla podemos calcular las horas entre evento y evento de falla ya que no se cuenta con horómetro instalados en los equipos.

El procedimiento es el siguiente:

- i. se ordena las horas de operación de menor a mayor
- ii. Para 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.

$$r_i = \frac{j_i - 0.3}{N + 0.4} \quad (4.2)$$

- iii. 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 la tabla N° 4.16.

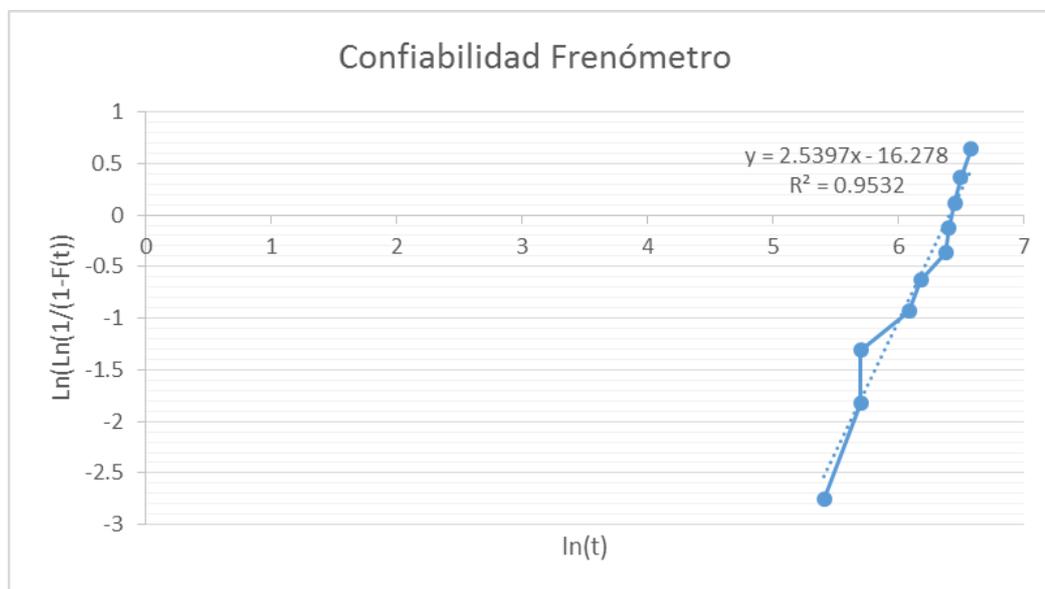
Tabla N° 4.16 Valores Obtenidos Weibull Frenómetro

T (hrs)	$F(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$	ln(t)	Ln(Ln(1/(1-F(t))))	R(t)
		X	Y	
224	6.14%	5.41164605	-2.758770808	93.86%
299	14.91%	5.70044357	-1.823327725	85.09%
299	23.68%	5.70044357	-1.308258602	76.32%
441	32.46%	6.08904488	-0.935491323	67.54%
485	41.23%	6.18414889	-0.632041114	58.77%
590	50.00%	6.38012254	-0.366512921	50.00%
605	58.77%	6.40522846	-0.120980941	41.23%
635	67.54%	6.453625	0.11803237	32.46%
665	76.32%	6.49978704	0.364894181	23.68%
724	85.09%	6.58479139	0.643423761	14.91%

Elaboración: propia

De la ecuación resultante de la correlación, se obtiene como parámetro β el valor que acompaña a la variable independiente.

Figura N° 4.4 Gráfico de Weibull Frenómetro



Elaboración: propia

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

Tabla N° 4.17 Parámetros obtenidos Weibull

β	2.540
γ	0
η	608

Elaboración: propia

Los parámetros generados por el gráfico X, Y, nos muestra el valor de β 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)= 0.9532 que está cercano a uno, por lo tanto hay dependencia lineal de los datos.

Con los valores de β y η , 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.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.7)$$

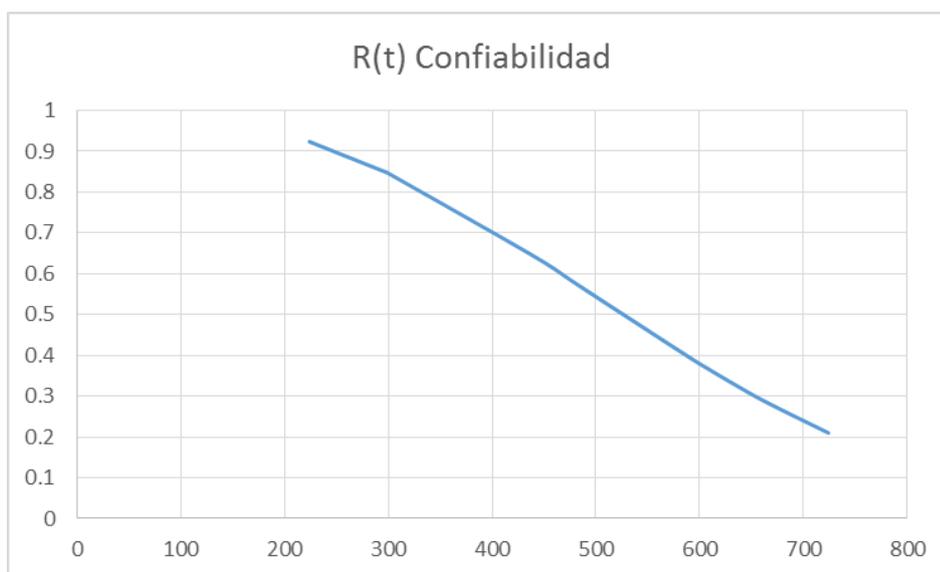
Tabla N° 4.18 Valor Obtenido de Confiabilidad

t	400
R(t)	70.76%
MTTF	717.2

Elaboración: propia

La confiabilidad es el tiempo de buen funcionamiento del equipo, en otros términos podemos señalar que la confiabilidad es la probabilidad de que el frenómetro funcione correctamente un periodo determinado de tiempo, para nuestro caso podemos concluir que el equipo funcionara correctamente un periodo de 400 horas con una confiabilidad del 70%, teniendo en consideración que el tiempo promedio entre fallas es de 717 horas; se deberá realizar el mantenimiento preventivo cada 400 horas para el Frenómetro.

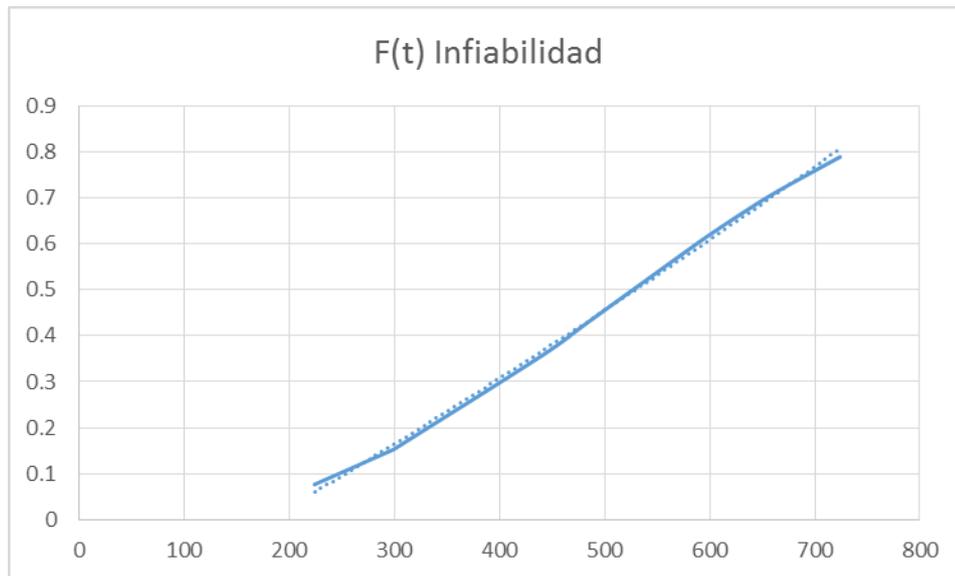
Figura N° 4.5 Gráfico de Confiabilidad Frenómetro



Elaboración: propia

Para la función de Infiabilidad tenemos el siguiente gráfico, podemos notar que esta función es contraria al gráfico de la función de confiabilidad por lo que expresa la probabilidad de fallas del equipo en el tiempo.

Figura N° 4.6 Gráfico de Infiabilidad Frenómetro



Elaboración: propia

CONCLUSIONES

Primero.- En el presente trabajo de investigación se realizó el diagnóstico de la situación operativa de los equipos que forman parte de la planta de inspección vehicular AZPER PERÚ SAC., se determinó la criticidad de los equipos que en este caso de acuerdo a la metodología planteada nos dio como resultado que los equipos críticos y a los cuales se debe intervenir con programas de mantenimiento preventivo son el banco de suspensión y el frenómetro.

Segundo.- Se realizó el diagnóstico de la situación actual utilizando la metodología del factor de estado teniendo como resultados que todos los equipos e instrumentos componentes de la planta están operativos.

Tercero.- Para realizar el análisis de criticidad de los equipos que conforman la planta de revisiones técnica vehiculares nos remitimos a la metodología planteada en el capítulo III, de acuerdo a los criterios ya descritos se determinó que los equipos críticos son el banco de suspensiones y el frenómetro.

Cuarto.- Se determinó los intervalos de mantenimiento de los equipos críticos, basados en la confiabilidad para nuestro caso podemos concluir que el banco de suspensiones funcionara correctamente un periodo de 280 horas con una confiabilidad del 70%, teniendo en consideración que el tiempo promedio entre fallas es de 345 horas; se deberá realizar el mantenimiento preventivo cada 280 horas para el banco de suspensiones.

Quinto.- Podemos concluir que el frenómetro funcionara correctamente un periodo de 400 horas con una confiabilidad del 70%, teniendo en consideración que el tiempo promedio entre fallas es de 717 horas; se deberá realizar el mantenimiento preventivo cada 400 horas para el Frenómetro.

RECOMENDACIONES

Primero.- De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación recomendamos implementar el plan de mantenimiento preventivo en la planta de inspecciones técnicas vehiculares para poder mejorar la gestión de mantenimiento, porque nos permite prevenir averías, reducir los costos, reducir el tiempo muerto invertido en reparaciones, alargar la vida de los equipos, disponibilidad de equipos al tenerlos en condiciones óptimas, permitir al técnico y operador conocer a fondo sus equipos.

Segundo.- Continuar con la línea de investigación referente al mantenimiento, e integrar el análisis de costos de mantenimiento preventivo lo cual permite un mejor análisis en la aplicación de los métodos de mantenimiento.

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.

ALVA, K. V. (2015). *ESTUDIO TÉCNICO DE IMPLEMENTACIÓN DE UN CENTRO PARA LA REVISIÓN DE ANÁLISIS DE GASES CONTAMINANTES EN VEHÍCULOS A GASOLINA Y DIESEL EN EL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN PASAJE*. GUAYAQUIL ECUADOR: UIDE.

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.

BARROS, J. M. (2011). *ESTUDIO TEÓRICO DE LA ALINEACIÓN DE UN VEHÍCULO POR VISIÓN ARTIFICIAL*. MADRID ESPAÑA: UCM.

CAMPOVERDE, J. Q. (2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN FRENÓMETRO PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DEL FRENADO EN MOTOCICLETAS SEGÚN LA NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2558*. RIOBAMBA ECUADOR: ESPC.

CASTAÑO, S. R. (2014). *ANÁLISIS DE DATOS DE FALLA*. MANIZALES COLONIA: UNC.

CAZAU, P. (2006). *INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS SOCIALES (TERCERA ED.)*. BUENOS AIRES, ARGENTINA.

GARRIDO, S. G. (2009). *MANTENIMIENTO CORRECTIVO ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN DE LA REPARACIÓN DE AVERÍAS*. MADRID ESPAÑA : RENOVETEC.

- GARRIDO, S. G. (2009). *TÉCNICAS AVANZADAS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA*. MADRID ESPAÑA: RENOVETEC.
- GUTIERREZ, A. M. (2005). *MANTENIMIENTO ESTRATEGICO PARA EMPRESAS DE SERVICIOS Y/O INDUSTRIALES*. MEXICO : AMG.
- GUTIÉRREZ, A. M. (2005). *MANTENIMIENTO ESTRATÉGICO PARA EMPRESAS DE SERVICIOS Y/O INDUSTRIALES*. MEXICO: EP.
- IRRARAZABAL, M. C. (2017). *MÉTODO BASADO EN RCM, PARA LA GESTION DE MANTENIMIENTO EN TRACTORES AGRÍCOLAS: CASO MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE COLQUEPATA*. AREQUIPA PERÚ: UNSA.
- KNEZEVIC, J. (1996). *MANTENIBILIDAD* (EDICION 4 ED.). MADRID ESPAÑA: ISDEFE.
- LIZARAZO, E. M. (2010). *LA RECOLECCIÓN DE DATOS*. MÉXICO: MCGRAW-HILL.
- MOUBRAY, J. (2004). *MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (REABILITY CENTRED MAINTENANCE)*. BUENOS AIRES- ARGENTINA: ALADON LLC.
- NACHLAS, J. A. (1995). *FIABILIDAD*. MADRID ESPAÑA: ISDEFE.
- RAMÍREZ, S. (2014). *ÁNÁLISIS 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

Fotografías adicionales

EQUIPO DE SONÓMETRO



Elaboración: Propia

EQUIPO DE DETECTOR DE PROFUNDIDAD (PROFUNDÍMETRO)



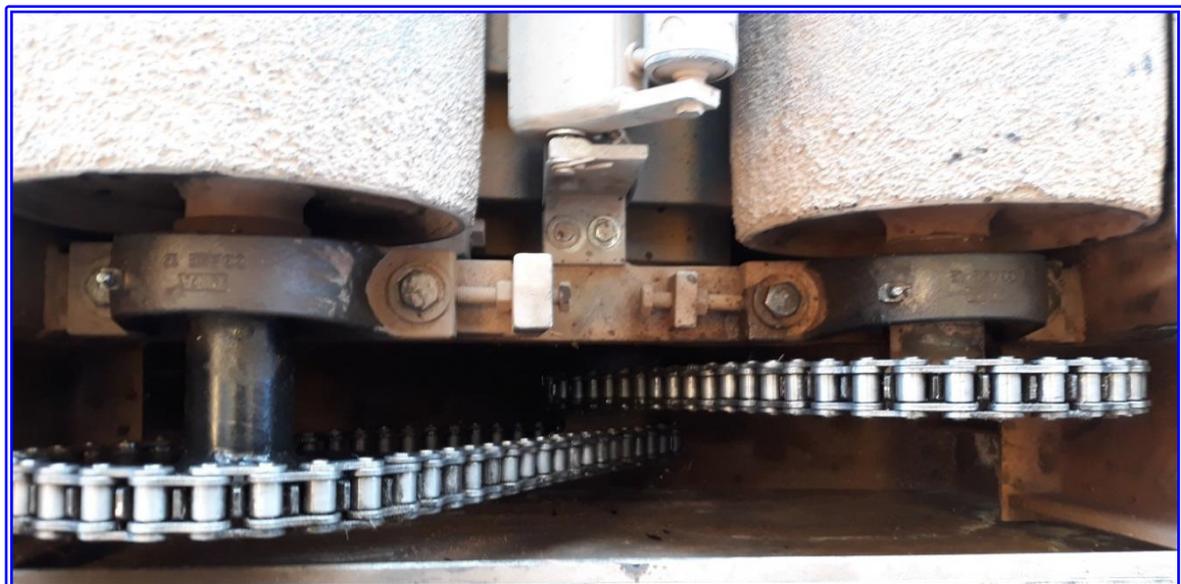
Elaboración: Propia

EQUIPO DE TERMÓMETRO



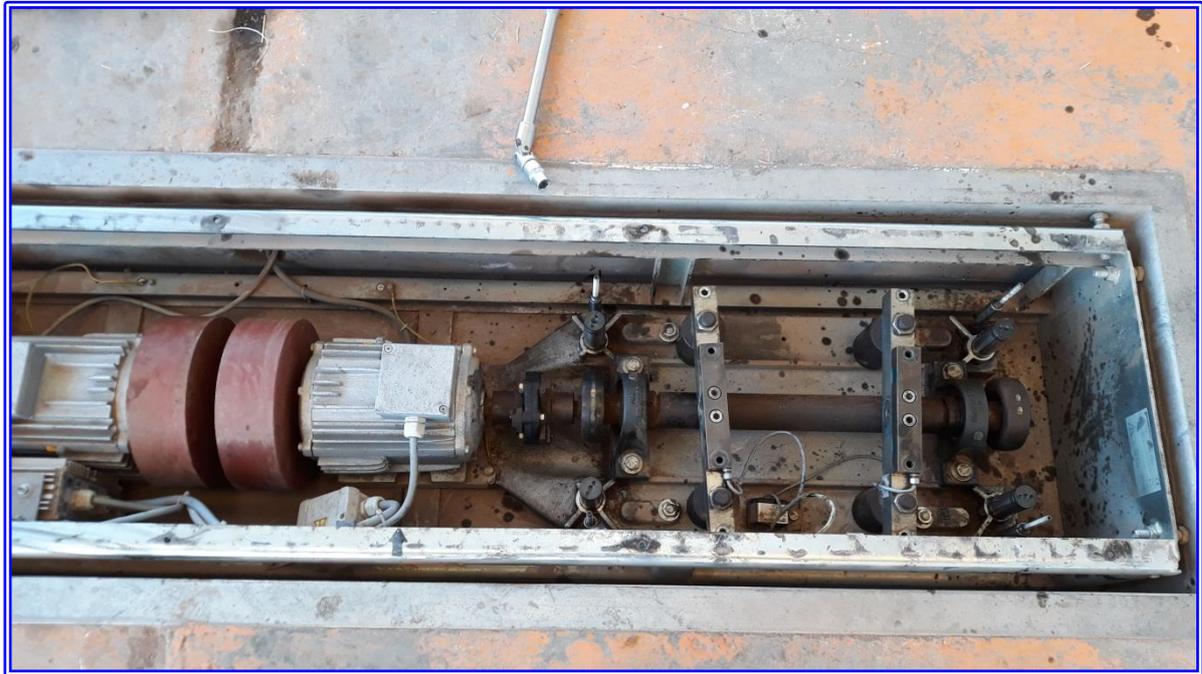
Elaboración: Propia

EQUIPO DE FRENÓMETRO EN MANTENIMIENTO



Elaboración: Propia

EQUIPO DE BANCO DE SUSPENSIÓN EN MANTENIMIENTO



Elaboración: Propia