



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Implementación de Lean maintenance para optimizar los costos  
de mantenimiento de unidades en una empresa de transportes  
de carga pesada. SJL 2020**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Industrial**

**AUTORES:**

Mauricio Rimachi, Alejandro Hernán (ORCID: 0000-0001-7464-9345)  
Olarte Rojas, Percy (ORCID: 0000-0002-6332-5617)

**ASESOR:**

Mg. Añazco Escobar, Dixon Groky (ORCID: 0000-0002-2729-1202)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Gestión Empresarial y Productiva

LIMA – PERÚ

2020

## **DEDICATORIA**

### **Alejandro Hernán Mauricio Rimachi**

*Este trabajo de investigación está dedicado en principio a Dios, y a mi madre, por el apoyo durante el recorrido de esta etapa, para motivarme en todos los momentos difíciles y poder culminar mi carrera profesional.*

### **Percy Olarte Rojas**

*Este proyecto de investigación dedico en primer lugar a Dios y a mis padres por ser las personas que siempre comparten todos mis triunfos y los consejos que siempre me brindaron, a mi familia a mi esposa y mis hijas que son la motivación del día a día.*

## **AGRADECIMIENTO**

### **Alejandro Mauricio Rimachi**

A nuestro asesor Sr. Dixon Añezco Escobar y a la Universidad Cesar Vallejo por darnos las herramientas necesarias y para poder llegar al objetivo.

### **Percy Olarte Rojas**

A nuestro asesor Sr. Dixon Añezco Escobar y a todos los docentes de la universidad por ser nuestros guías en cada semestre que fueron la motivación en llegar a nuestro objetivo en terminar la carrera profesional con sus experiencias brindadas.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
INDICE DE FIGURAS .....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
Los costos de Mantenimiento como problema .....	1
Problema general de investigación: .....	5
Problemas Específicos .....	5
Justificación del Estudio .....	5
Hipótesis General y Específicas: .....	6
Objetivo general y objetivos específicos de la investigación: .....	6
II. MARCO TEÓRICO .....	7
Trabajos Previos.....	7
Antecedentes Nacionales.....	7
Antecedentes Internacionales:.....	8
Teorías Relacionadas al Tema: .....	9
Variable Independiente: Lean Maintenance (Mantenimiento Esbelto).....	10
Variable Dependiente: Costos de Mantenimiento .....	16
III. METODOLOGÍA.....	22
3.1. Diseño Metodológico de la Investigación .....	22
3.1.1. Tipo de investigación .....	22
3.1.2. Nivel de investigación .....	22
3.1.3. Método.....	22
3.1.4. Diseño de la investigación.....	22
3.2. Operacionalización de Variables .....	24
3.3. Población y Muestra .....	25
3.3.1. Población.....	25
3.3.2. Muestra.....	26
3.3.3. Muestreo.....	27
3.3.4. Criterios Exclusión e inclusión .....	27
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	27
3.4.1. Técnicas .....	27
3.4.2. Instrumentos.....	30

3.4.3. Validación y Confiabilidad del instrumento.....	30
3.5. Procedimientos.....	31
3.6. Métodos de Análisis de Datos.....	38
3.7. Aspectos éticos.....	39
IV. RESULTADOS.....	40
4.1. Análisis estadístico.....	40
4.1.1. Análisis de correlación Pearson (Validez de Constructo).....	45
4.1.2. Análisis Inferencial de la hipótesis general.....	46
4.1.3. Análisis Inferencial de las hipótesis específicas.....	48
V. DISCUSIÓN.....	52
VI. CONCLUSIONES.....	54
VII. RECOMENDACIONES.....	55
REFERENCIAS.....	56
ANEXOS.....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de Operacionalización de Variables.....	24
Tabla 2 Población de Unidades de transporte de carga Pesada.....	25
Tabla 3 Costos de Mantenimiento de la Empresa - 2018 .....	26
Tabla 4 Formato de control de las unidades de Mantenimiento .....	28
Tabla 5 Formato donde se visualiza el tiempo que las unidades permanecen en el taller.....	28
Tabla 6 Formato de control del horómetro de las unidades.....	29
Tabla 7 Formato del mantenimiento preventivo y/o correctivo .....	29
Tabla 8 Instrumento de medición de la variable independiente.....	30
Tabla 9 Instrumento de medición de la variable dependiente .....	30
Tabla 10 Costos de Mantenimiento - PreTest .....	32
Tabla 11 Pre Test y Postest Gestión de Mantenimiento Planeado.....	34
Tabla 12 Pretest y Postes de Costos de Mantto. Preventivo.....	34
Tabla 13 Análisis del Modo de efecto y Fallas Antes y Después.....	35
Tabla 14 Análisis del Costo de Mantt. Correctivo Antes y Después .....	36
Tabla 15 Costos Totales de Mantenimiento Después.....	37
Tabla 16 Descriptivos de los costos totales de mantenimiento .....	42
Tabla 17 Descriptivos de los Costos de Mantto. Correctivo.....	43
Tabla 18 Descriptivos de los Costos de Mantto. Preventivo .....	44
Tabla 19 Prueba de Correlación de Pearson - Indicadores V. Dependiente .....	45
Tabla 20 Pruebas de Normalidad – Costos de Mantenimiento (Total) Antes y Después .....	46
Tabla 21 Estadístico de Prueba Wilcoxon - Para muestra relacionada .....	47
Tabla 22 Prueba de Kolmogorov - Cumplimiento de Especificaciones Antes y Después.....	48
Tabla 23 T-Student - Cumplimiento Especificaciones Antes y Después.....	49
Tabla 24 Prueba de normalidad - Cumplimiento de Especificaciones Antes y Después .....	50
Tabla 25 T-Student - Cumplimiento Especificaciones Antes y Después.....	51
Tabla 26 <i>Sistemas de una Tracto camión (Unidades)</i> .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de Ishikawa – Altos Costos de Mantenimiento .....	4
Figura 2 Diagrama de la metodología de análisis de modos de falla y sus efectos .....	16
Figura 3 Situación de los Costos de Mantenimiento - Antes.....	32
Figura 4 Interacción entre Variables. Independiente y dependiente .....	33
Figura 5 Antes y Después de Costos de Mantto. Preventivo .....	34
Figura 6 Costos de Mantto. Correctivo Pre y Post .....	36
Figura 7 Costos Totales de Mantenimiento Después .....	37
Figura 8 Costos Totales de Mantenimiento Antes y Después .....	38
Figura 9 Costos De Mantenimiento .....	40

## RESUMEN

El trabajo de investigación se centró en demostrar de qué manera la aplicación de las herramientas de mantenimiento esbelto (Lean Maintenance), reduce los costos de mantenimiento de los motores de las unidades de transporte de carga (camiones), los cuales están dimensionados por los costos de mantenimiento preventivo y costos de mantenimiento correctivo.

El presente informe de tesis está organizado en siete capítulos:

En capítulo I hacemos la introducción al tema planteando la realidad problemática, apoyados con el uso de la herramienta causa-efecto de Ishikawa y su respectivo Pareto, en donde se pudo cuantificar las causas principales que motivaron el uso de la herramienta Lean Maintenance. Luego realizamos la formulación del problema general y problemas específicos, la justificación de la investigación, el objetivo general y objetivos específicos, e hipótesis general y específicos.

En el capítulo II, desarrollamos el marco teórico el cual nos sirvió como guía fundamental para la investigación, ir, que este perfectamente centrado en su problema y que impida la desviación del planteamiento original. La teoría nos permitirá afirmar que el Lean Maintenance reduce los costos de mantenimiento.

En el capítulo III, describimos la metodología de investigación utilizada que consiste en la observación sistemática, medición, experimentación, y la formulación, análisis y modificación de hipótesis, el tipo de investigación en este caso aplicada el enfoque cuantitativo y el nivel descriptivo. Así mismo se determina el tamaño de muestra por medios estadísticos tomando en cuenta la población en este caso las 41 unidades de transporte y los costos de mantenimiento que estas generan. Por otro lado, se describe la matriz de operacionalización de variables, los instrumentos de medición, el análisis de datos y los aspectos éticos.

**Palabras Clave:** *Lean, Lean Maintenance, costos, mantenimiento, preventivo, correctivo, frecuencia.*

## ABSTRACT

The purpose of this research project is to show how lean maintenance reduces the maintenance costs of freight transport unit (truck) engines, costs that are sized by preventive maintenance costs, costs corrective maintenance and very important maintenance frequency.

In chapter I we introduce the topic by raising the problematic reality, supported by the use of Ishikawa's cause-effect tool with its respective Pareto, where the main causes that are the basis of using Lean Maintenance can be quantified. Then we formulate the general problem. How does Lean Maintenance optimize maintenance costs in a heavy-duty transport company? In addition to the specific problems, the justification for the investigation, the general objective is to: Demonstrate that Lean Maintenance optimizes maintenance costs in a heavy-duty transport company. And specific, and general and specific hypotheses.

In Chapter II, we describe the research methodology used consisting of systematic observation, measurement, experimentation, and the formulation, analysis and modification of hypotheses, the type of research in this case applied the quantitative approach and the descriptive level. Likewise, the sample size is determined by statistical means taking into account the population in this case the 41 transport units and the maintenance costs they generate. On the other hand, the operationalization matrix of variables, measurement instruments, data analysis and ethical aspects are described.

Finally, in Chapter III, administrative aspects are developed, such as human and material resources necessary for the execution of the project, the form of financing and the execution schedule of the research project.

**Keywords:** *Lean, Lean Maintenance, costs, maintenance, preventive, corrective, frequency.*

## I. INTRODUCCIÓN

### **Los costos de Mantenimiento como problema**

Los costos de las actividades de mantenimiento podrían oscilar entre el 15% y el 70% de los costos totales de producción. (K. Fraser, 2014 págs. 18-37)

Por otro lado, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*; considera que los costos de las actividades de mantenimiento son el segundo mayor después de los costos de energía, y que podrían llegar a representar el 28% del producto terminado. Afirman también que la tendencia en cuanto a maquinarias es que se vuelve altamente automatizada y tecnológicamente muy compleja (es decir, depende de sistemas de gestión controlados por sensores que proporcionan alertas, alarmas e indicadores), esto hará (proyectan) que los costos de mantenimiento sean aún más altos en el futuro. (B,S, Blanchrad., 1997 págs. 69-80)

Para (T. Tinga, 2013 págs. 181-186). Los costos de mantenimiento son directamente proporcionales al tiempo de inactividad (DT), que es el intervalo de tiempo cuando el equipo sistema está inactivo hasta que vuelva a las condiciones normales de trabajo. El aumento de DT se debe a la falta de valor agregado (NVA) actividades o desperdicios dentro de las operaciones de mantenimiento, recomendando una de las estrategias de eliminación de desperdicios, la aplicación de lean maintenance.

De acuerdo a los autores, se resalta que los costos de mantenimiento son un aspecto fundamental, y que impacta a los costos de productos terminados, por ende, los métodos o estrategias más utilizadas en la administración del mantenimiento es la implantación de políticas basadas en la reducción o eliminación de estos costos.

(H. Soltan, S. Mostafa, 2014 págs. 553-555), *Leanness and Agility within Maintenance Process*. Introdujeron estrategias para medir el mantenimiento basadas en herramientas magras y ágiles, es decir, basadas en la eliminación de desperdicios y aumento de la capacidad de respuesta. Sin embargo, una estructura integradora de pensamiento ágil (por ejemplo, principios y prácticas esbeltas de identificación y mapeo de flujo de valor) dentro de las actividades de mantenimiento no se ha establecido completamente. Toda diferencia brinda oportunidades en el

desarrollo de la investigación propuesto por hojas de rutas para un proceso eficiente del mantenimiento.

De acuerdo a un caso de estudio realizado por (A. Shahin, H. Shirouyehzad, E. Pourjavad, 2012 págs. 368-386), publicado en Optimum maintenance strategy. El mantenimiento incluye todas las actividades requeridas para mantener un activo en condiciones de operación máxima. Estas actividades son generalmente realizadas de acuerdo con una determinada estrategia de mantenimiento las cuales deben desarrollarse en la misma dirección de los sistemas de fabricación.

Para (P. Potes Ruiz, B. Kamsu Foguem, B. Grabot, 2014) en los inicios, el mantenimiento se concentraba principalmente en mantenimiento correctivo, esta era la percepción de ese mantenimiento como un requisito, es decir, las reparaciones y reemplazos se abordaron cuando fue necesario y sin optimización, sumado toda falta de conciencia sobre el tiempo de inactividad. Más adelante, el mantenimiento se transformó en función a una gran escala, en lugar de una subsunción de producción. En la actualidad, una gestión de mantenimiento se convierte en una función compleja, que abarca habilidades técnicas y de gestión, mientras que todavía requiere flexibilidad para hacer frente al entorno empresarial dinámico.

Según el artículo Determinación de la Vida Económica de un Equipo. Análisis de Sensibilidad de las Variables Intervinientes (Determinación de la Vida Económica de un Equipo. Análisis de Sensibilidad de las Variables Intervinientes, 2017 págs. 43-53), mencionan que “Lo usual es que los costos de mantenimiento de un equipo aumenten con el tiempo, mientras que los de adquisición disminuyen de modo que su suma, conocida en el ámbito de la ingeniería económica como costo anual uniforme equivalente (CAUE), hará un mínimo en un punto intermedio de la vida del equipo y es precisamente lo que define su vida económica”. Además, es usual que estos costos de compra y mantenimiento se crucen en algún punto de la vida del equipo, el cual no coincide con el de la vida económica.

(Robertson, R. y Jones, A., 2004 págs. 18-25) Robertson y Jones (2004) señalan que los costos proyectados de mantenimiento representan en 20% promedio del total de operación de las fábricas, dependiendo del sector.

Según cifras de (Mobley, R. K., 2004), la tercera parte (250 billones) en promedio del gasto en mantenimiento en fábricas de Estados Unidos se aplica en actividades no efectivas de mantenimiento y en Europa las existe una situación similar.

Por su parte (Cigolini, R., Fedele, L., Garetti, M., y Macchi, M., 2008 págs. 279-286), afirman que para el presupuesto de mantenimiento los costos ocultos son más relevantes que los contabilizados.

La Norma EN-13360 entra en actividad en el 2001 y es reconocida en el 2010 y asume su definición sobre los fallos entre sí y los tipos de mantenimiento y habilidades como los preventivos y correctivos y otras actividades del mantenimiento.

Como se observa, existen muchos autores que consideran de vital importancia el control de estos costos de mantenimiento. La empresa de Transportes de Carga, lugar donde se realizó la investigación, se dedica al transporte de mercancías de material peligroso y mercancía en general, cuenta con una flota de 41 camiones remolcadores de la marca International, siendo su costo de mantenimiento preventivo por cada unidad de S/. 875.27 nuevos soles, esto es S/. 436,510 soles por año, si consideramos una frecuencia de 12 veces por año en las 41 unidades, si a esto le sumamos los costos de mantenimientos correctivos esta suma llega a un importe anual de S/. 450,000 aproximadamente (Ver anexo 1), esto sin considerar los cambios de llantas ni neumáticos.

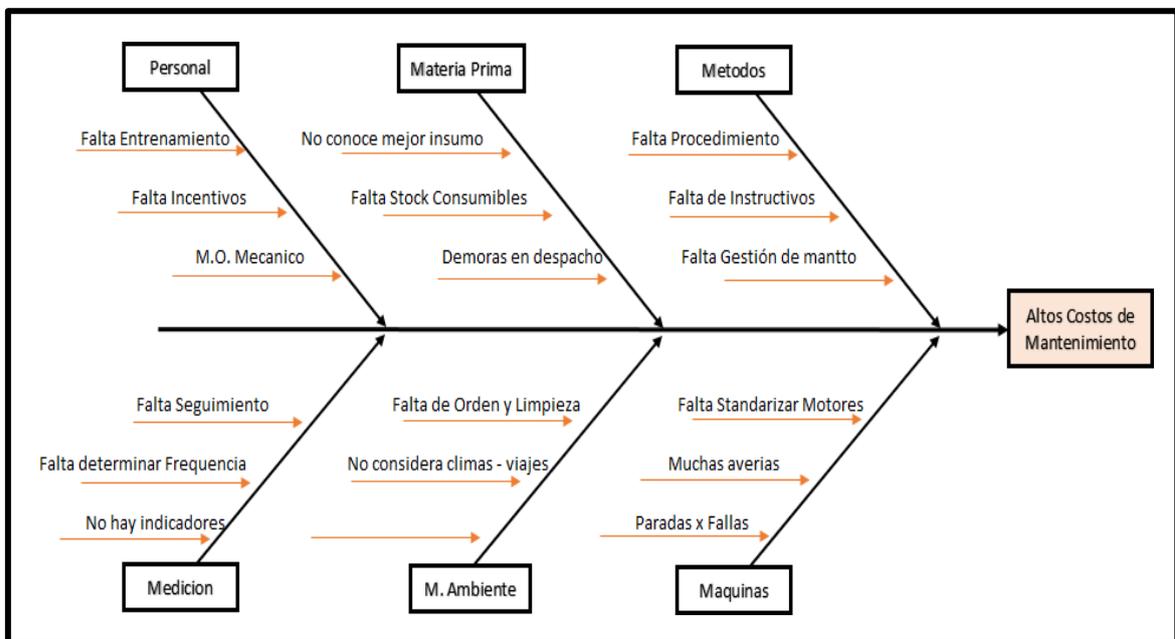
Al realizar un análisis causal del porque estos altos costos de mantenimiento, hemos podido identificar causas raíces tales como: Frecuencia de Mantenimiento, incumplimiento del mantenimiento, Costos de Mano de Obra (Mecánico), Fallas en las unidades, recalentamiento de motor, entre otros (Ver Diagrama de Ishikawa y Pareto).

El trabajo de investigación se realizó con el objetivo de reducir estos costos de mantenimiento a través de la implementación de herramientas "Lean", específicamente el "Lean Maintenance", realizando un conjunto de procesos destinadas a garantizar que la actividad de esta empresa (transporte de carga pesada) sea lo más fluida posible, optimizando la frecuencia de mantenimiento; garantizando la vida útil del motor, reduciendo los tiempos de espera y procurando

mantener un ambiente de optima productividad, es decir que este proceso utilice menos esfuerzo, dinero, tiempo e infraestructura.

Cuando realizamos el análisis causal del porqué de los altos costos (Fig. 1. Diagrama de Ishikawa), podemos observar que son 17 las causas potenciales que están incrementando estos costos, y según nuestro cuadro de frecuencias (Anexo 1) Frecuencia de Causas en el mes de Setiembre 2019), son 7 las causas principales que debemos controlar las cuales son: Determinar la frecuencia optima de mantenimiento preventivo, Indicadores de seguimiento, Orden y Limpieza, una adecuada gestión de mantenimiento, control de averías y paradas por fallas.

Figura 1 Diagrama de Ishikawa – Altos Costos de Mantenimiento



Lean Manufacturing consiste en tomar medidas y analizar la productividad y la eficiencia cual fuera el proceso a medir, cabe señalar que la herramienta lean en cualquier actividad que no realice una aportación de un valor añadido es un despilfarro.

A través de este análisis propuesto por Lean Maintenance nos permitió realizar la determinación de las oportunidades de mejora a los procesos de mantenimiento y por ende reducir los costos tanto mantenimiento preventivo y correctivo.

Para (S. Mostafa, J. Dumrak, H. Soltan, 2013 págs. 44-64). El mantenimiento esbelto representa la adopción de principios lean en las operaciones de Mantenimiento, Reparación y Revisión (MRO). Podría reducir paros no programados y tiempo de inactividad, mediante la optimización de actividades de soporte de mantenimiento y gastos generales de mantenimiento. Las herramientas magras son representando los principios lean para el proceso de implementación.

A través de este análisis propuesto por Lean Maintenance nos permitió realizar la determinación de las oportunidades de mejora a los procesos de mantenimiento y por ende reducir los costos tanto mantenimiento preventivo y correctivo.

De lo anterior procedemos a Formular nuestro Problema general de investigación:  
¿De qué manera la implementación de Lean Maintenance optimiza los costos de mantenimiento de las unidades de una empresa de Transportes de carga Pesada? SJL 2020.

Así mismo formulamos los Problemas Específicos

¿En qué medida la Gestión del Mantenimiento Planeado, herramienta de lean maintenance, reduce los Costos Promedios de Mantenimiento Preventivo de motor, de las unidades en una empresa de transportes de carga pesada? SJL 2020.

¿En qué medida el Análisis y Modo de Efecto de Fallas, herramienta de lean maintenance, minimiza los costos promedios de mantenimiento correctivo de motor, de las unidades en una empresa de transportes de carga pesada? SJL 2020?

### **Justificación del Estudio**

Esta investigación está motivada por el objetivo de reducir los costos de mantenimiento, justificándose su desarrollo en la mejora de la rentabilidad de la empresa, así mismo nos motiva proporcionar conocimientos para futuros trabajos de investigación en esta materia.

Conociendo la teoría propuesta por Lean y después de determinar las causas principales que generan los altos costos de mantenimiento, planteamos la **Hipótesis general** de investigación:

La implementación de Lean Maintenance optimiza los costos de mantenimiento de las unidades, en una empresa de transporte de carga pesada. SJL 2020.

Así mismo se plantean las **Hipótesis Específicas:**

La Gestión del Mantenimiento Planeado reduce, herramienta de lean maintenance, los costos promedios de mantenimiento preventivo de motor, de las unidades en una empresa de transportes de carga pesada. SJL 2020.

El Análisis y Modo de Efecto de Fallas, herramienta de lean maintenance, minimiza los costos promedios de mantenimiento correctivo de motor, de las unidades en una empresa de transportes de carga pesada. SJL 20120

Finalmente se propuso el objetivo general y objetivos específicos de la investigación:

Objetivo general:

Demostrar de qué manera la aplicación de Lean Maintenance optimiza los costos de mantenimiento de las unidades, en una empresa de transportes de carga pesada. SJL 2020.

### **Objetivos Específicos**

Reducir los costos promedios de mantenimiento preventivo de las unidades en una empresa de transportes de carga pesada mediante el uso de la Gestión del Mantenimiento Planeado. Minimizar los costos promedios de mantenimiento correctivo de las unidades a través del Análisis y Modo de Efecto de Fallas en una empresa de transportes de carga pesada.

## II. MARCO TEÓRICO

### Trabajos Previos

En referencia a la investigación realizada, hemos encontrado conveniente citar tanto antecedentes nacionales e internacionales que guardan relación con la propuesta de mejora, y servirá como fuente de análisis comparativo.

Es preciso citar **Antecedentes Nacionales**

**(JUNETH, ESPEJO A., 2016 pág. 252)**. Nos dio a conocer en ir desechando los desperdicios y las actividades que no agregan valor y reduciendo paradas correctivas. Además, con esta metodología aumento la productividad y mejoro las operaciones en procesos de mantenimiento, logrando el objetivo con la mejora.

**(ECHEGARAY M., WALTER., 2018 pág. 122)**. Nos permitió interpretar y observar los procesos de mantenimiento con el uso de herramientas de ingeniería industrial, entre ellas “Lean” para diagnosticar las causas de los problemas y metodologías para brindar propuestas de solución en la empresa.

**(MALDONADO M. ANA; SUMNER DE BARI YSIQUE, 2017 pág. 141)**. Nos permitió reducir todo tipo desperdicio que encontramos en el área de mantenimiento de las actividades. Llegando a concluir que, si tomamos en cuenta la medición de la propuesta y sus respectivos costos, es un indicador que en su realidad es el Beneficio / Costo.

**(RODRÍGUEZ, 2015 pág. 136)**. Nos permitió identificar la aplicación de la manufactura esbelta aumenta la productividad total en la organización. Demostrando que se basó a un enfoque cuantitativo cuando aplicamos estas herramientas se menciona lo que es el diseño de un desarrollo de actividades. Y comprobando que la herramienta lean mejora la productividad. Siendo esta afirmación muy acorde a nuestros objetivos.

**(CASTRO V. JESÚS, 2016 pág. 196)**. Asumió a mejorar el proceso productivo y actividades de áreas que comprometen la implementación de la metodología Lean para aumentar el proceso de mantenimiento con respecto a la empresa de transportes. En este estudio que realizo sobre un análisis financiero se llegó a la conclusión sobre la inversión que se necesita para la implementación de estas

propuestas de mejoras y que son justificables. Este trabajo demuestra que la inversión que demanda la aplicación de las metodologías lean, son rentables y recuperables en el tiempo.

Para reforzar los trabajos previos realizados en la materia, buscamos

#### **Antecedentes Internacionales:**

**(RENTERIA S., JOSE, 2016 pág. 226).** Demuestra como las instituciones que implementan el pensamiento esbelto “lean” tienen un verdadero impacto en su desempeño operativo, asimismo menciona que es la herramienta “lean” y que tiene un mayor impacto sobre este desempeño. Llegando a conclusiones interesantes puesto que menciona que es el grado de Leanness (Grado de implementación del pensamiento “Lean”) el que más impacto positivo tiene es las herramientas lean Justo a tiempo, que reduce los costos, Poka Yoke que aumenta la calidad de los servicios y Mapeo del flujo y Justo a tiempo que reduce el tiempo de llegada Lea Time. Este trabajo nos confirma que el uso de las herramientas Lean tienen óptimos resultados, y nos dan la guía del uso de cuál es la mejor de estas herramientas.

**(ACOSTA H., GUSTAVO, 2014 pág. 31).** Nos permitió confirmar que el uso de las herramientas Lean tienen óptimos resultados, y nos dan la guía del uso de cuál es la mejor de estas herramientas.

**(PARDO R., MARIA, 2016 pág. 133).** Propone un modelo que integre las iniciativas de productividad y promoviendo la filosofía Lean de modo de favorecer la mejora continua y la sostenibilidad en el tiempo, atreves del fortalecimiento en la coordinación y planificación de los equipos, y el incentivo al compromiso de los involucrados, entre otros. , La filosofía Lean y sus herramientas nos permite avanzar en temas de productividad respaldados por tres ejes principales, el Diseño, la metodología y la experiencia en la implementación. Así mismo el modelo busca gestionar la productividad con recursos propios y sin considerar grandes inversiones.

**(RAÚL S., VICENTE, 2015 pág. 86).** Recomienda aplicar un programa para la reducción de desperdicios de todo recurso respaldado con la herramienta lean manufacturing. Construyendo un manual de herramientas Lean y concluyendo que

el rendimiento general de los trabajadores está afectado negativamente por desperdicios tales como paradas por limpieza, búsqueda y traslado de materiales y preparación, mejorándose esta situación con el uso de las 5S, ANDON y Kaizen, que un fue cambio positivo en el desempeño del personal de la organización.

**(MONGE, REYES Y RODRÍGUEZ, 2007 pág. 132).** Recomienda aplicar un programa para la reducción de todo tipo de actividad que no agregue valor relacionado con la herramienta de lean manufacturing. Evidencian que la empresa donde desarrollaron su estudio, logró tener mejoras importantes como: la reducción de inventarios de Trabajo en Proceso (W.I.P.) en aproximadamente un 63%. Como se observa al igual que todos los antecedentes citados este trabajo nos permiten afirmar que el uso de herramientas lean tendrá resultados favorables en nuestra investigación.

#### **Citamos las siguientes Teorías Relacionadas al Tema:**

(BALUCH, NAZIM, 2017 págs. 69-78), define el mantenimiento esbelto como: Como una herramienta que se emplea para realizar actividades de mantenimiento programados o planificados a través de varios procesos de los cuales lo identificamos como:

- Mantenimiento productivo total (TPM)
- Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM)
- Proceso de 5S, eventos semanales de mejora de Kaizen.
- Mantenimiento y confiabilidad que realiza análisis de fallas de causa raíz (RCFA), Los análisis de partes fallidas.
- La efectividad del procedimiento de mantenimiento.

EL análisis de mantenimiento predictivo (PDM) y tendencias a fin de que combine efectivamente TPM y RCM, se requieren dos acciones: evaluar la criticidad de los equipos y establecer parámetros de prioridad de tareas de mantenimiento.

La evaluación de la importancia cuantifica la importancia de un elemento o función del sistema relación con la misión asignada, y la priorización de tareas de mantenimiento se utiliza para asignar la prioridad de mantenimiento órdenes de trabajo basadas en la criticidad del equipo. Varias de las herramientas de evaluación de riesgos mencionadas anteriormente están en hecho enfatizado en RCM y TPM.

### **Variable Independiente: Lean Maintenance (Mantenimiento Esbelto).**

Según (R. Smith, 2015 págs. 15-21), para lograr efectivamente el mantenimiento eficiente, deben emplearse herramientas lean clave como Value Stream Mapping (VSM), 5S, gestión visual. Las herramientas lean integrales desarrolladas para actividades de mantenimiento dentro de una organización incluyen 5S, TPM, efectividad general del equipo (OEE), Kaizen, Poka-Yoke, mapeo de actividad del proceso, Kanban, administrado por computadora sistema de mantenimiento (CMMS), sistema de gestión de activos empresariales (EAM) y tiempo Takt.

(M. Holweg, 2007 págs. 420-437), resalta que la importancia de los principios Lean se han extendido cada vez más a los sectores industriales y de servicios. Esto se conoce como pensamiento lean (esbelto) que se refiere al proceso de pensamiento sin desperdicios.

Para (M. Jasiulewicz-Kaczmarek,, 2013 págs. 117-134), la reducción de las actividades de No Valor Agregado dentro del mantenimiento, se puede lograr mediante la implementación de prácticas lean (pensamiento esbelto).

Las prácticas lean que se adaptan a las actividades de mantenimiento se han indicado en estudios anteriores. (Smith y Hawkins, 2004) Identificaron las herramientas lean clave que incluyen VSM, 5S y gestión visual. (Davies, C., & Greenough, R. M., 2010). Desarrolló una plantilla integral de herramientas lean que representaba posibles actividades lean dentro del mantenimiento proceso dentro de una organización. Las herramientas incluyeron 5S, TPM, OEE, estándares, mapeo, gestión de inventario y manejo visual. Okhovat y col. [42] sugirió seis herramientas ajustadas que se ajustaban a los procesos de mantenimiento de una organización.

Según Ylipää (2000), existe una sinergia en la integración del Mantenimiento Productivo Total (TPM) y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), y esto es lo que (Smith y Hawkins, 2004) definen como Lean mantenimiento.

TPM de "ajuste fino" con elementos de RCM. En esencia, el mantenimiento "Lean" es una proactiva estrategia de mantenimiento utilizando actividades de mantenimiento planificadas y programadas de manera TPM, desarrolladas a través de aplicación de la lógica de decisión RCM y practicada por equipos auto dirigidos utilizando 5S, eventos de mejora y el mantenimiento del operador (autónomo) junto

con técnicos de mantenimiento calificados realizando el mantenimiento. Esto es respaldado por un almacén de mantenimiento que suministra piezas y materiales JIT, y respaldado por confiabilidad equipos de ingeniería que realizan análisis de causa raíz (RCA) y análisis de fallas (BALUCH, NAZIM, 2017)

A fin de que Combine efectivamente TPM y RCM, se requieren dos acciones: evaluar la criticidad de los equipos y establecer parámetros de prioridad de tareas de mantenimiento. La evaluación de la importancia cuantifica la importancia de un elemento o función del sistema relación con la misión sangrada, y la priorización de tareas de mantenimiento se utiliza para asignar la prioridad de mantenimiento órdenes de trabajo basadas en la criticidad del equipo. Varias de las herramientas de evaluación de riesgos mencionadas anteriormente están en hecho enfatizado en RCM y TPM.

El análisis RCM se basa en un AMEF detallado y también utiliza Logic Tree Analysis (LTA) y RCA se utilizan para evaluar las principales pérdidas de TPM (Smith y Hawkins, 2004)

## **MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL**

Según ( Seiichi Nakajima, 1988), el Mantenimiento Productivo Total, como su nombre lo indica, consta de tres palabras: Total significa considerar cada aspecto e involucrar a todos de arriba a abajo; Productivo enfatiza en tratar de hacerlo mientras la producción continúa y minimiza los problemas para la producción;

El mantenimiento significa mantener el equipo, de forma autónoma por parte de los operadores de producción, en buenas condiciones: reparar, limpiar, engrasar y aceptar pasar el tiempo necesario en los equipos que elaboran el mantenimiento.

El mantenimiento productivo total especifica la relación entre el mantenimiento y la producción para tener una mejora optimización de la calidad del producto, la eficiencia operativa, la capacidad, la garantía y la seguridad ( Seiichi Nakajima, 1988). Es una estrategia agresiva que se centra en mejorar realmente la función y el diseño del equipo de producción (Laura Swanson, 2001). TPM ha sido aceptado como la estrategia más prometedor para mejorar el rendimiento de mantenimiento para tener éxito en un mercado altamente exigente ( Seiichi Nakajima, 1988). (I.P.S. Ahuja\* and J.S. Khamba , 2006) Informan que la

implementación de TPM puede contribuir significativamente a mejorar el comportamiento organizacional en las empresas manufactureras; llevando a una competitividad de clase mundial; También se considera una iniciativa de mejora estratégica efectiva para mejorar la calidad en las actividades de ingeniería de mantenimiento (Ollila, A. and Malmipuro, M., 2007 págs. 17-21). Otro resultado estratégico de las implementaciones de TPM es la reducción de la aparición de averías inesperadas de la máquina que interrumpen la producción y provocan pérdidas, que pueden superar los millones de dólares anuales (Gosavi, A. , 2006 págs. 1321-30). Hay tres principales objetivos fundamentales en el TPM: ni un solo defectos, cero accidentes y nada significativo de averías (Willmott, P., 1994 págs. 48-50).

### **Mantenimiento autónomo**

Según (R. Smith, 2015 págs. 15-21), el mantenimiento autónomo o independiente lo realizan comúnmente los operadores de las máquinas en lugar de por técnicos dedicados al mantenimiento, el mantenimiento autónomo se refiere al mantenimiento repetitivo como el equipo de limpieza y lubricación que realiza el operador de la línea de producción.

Así mismo menciona que, el gerente de mantenimiento y el gerente de producción deben acordar y establecer una política para ubicar el desempeño de los procesos de producción. Por otro lado, el Mantenimiento autónomo y niveles y tipos de mantenimiento de los operadores, así como el flujo del proceso de trabajo para mantenimiento autónomo. La capacitación específica en el desempeño de las responsabilidades de mantenimiento designadas se proporcionará a los operadores antes de asignar las responsabilidades de mantenimiento autónomo.

### **Lean Maintenance: Lean Manufacturing and Lean Maintenance**

Hoy en día, Lean Thinking (Pensamiento Esbelto), ha re-acuñado nuevamente para indicar que las mismas técnicas pueden usarse en bancos, organizaciones de servicios, hospitales y todo tipo de sistemas comerciales. Las herramientas “Lean” se están utilizando en todo el mundo en un número creciente de organizaciones. Se aplica en el punto de contacto con los clientes, así como en el trabajo de trastienda. Se aplica a las oficinas de Ingeniería y Diseño, así como al flujo de tráfico

en los centros urbanos. Aunque es mejor conocido por sus herramientas, Lean Manufacturing es ante todo una filosofía y una forma de vida

Para (Juan Gregorio Arrieta Posada, 2010) esta herramienta Manufactura Esbelta, conocida en inglés como Lean Manufacturing, esta herramienta esta direccionada a una aplicación sistemática y demuestra diferentes técnicas para un buen proceso y mejoramiento de producción.

### **VSM (Mapa del Flujo de Valor)**

Tal como indica (Cem Keskin, Umut Asan, Gulgun Kayakutlu, 2013). El Value Stream Mapping (VSM) Se caracteriza como una técnica que practica para poder alcanzar el diseño de requerimientos en las áreas de una empresa por parte de los equipos formados, es una herramienta de Lean empleada por su sencillez el uso que permite identificar el flujo de valor dentro de la organización y así poder identificar las fuentes potenciales de desperdicios.

De acuerdo a (Singh y Sharma,, 2009) VSM es la base de la metodología lean, su representación está dado por las herramientas de diagnósticos de operación y seguimientos y se basan como herramienta de diagnóstico el vsm (mapa de flujo de valor).

### **Desperdicios**

El desperdicio, según (W.J. Hopp, and M.L. Spearman, 2004) se define como cualquier actividad que agrega costos a un producto o servicio sin agregar valor desde la perspectiva del cliente. Estos desperdicios pueden ser identificados en tres tipos principales: desperdicio no obvio, desperdicio menos obvio y desperdicio obvio.

<b>Mapeo del Flujo de Valor en Mantenimiento</b>	$\frac{\text{DESPERDICIO. CONTROLADOS}}{\text{DESPERDICIO. IDENTIFICADOS}} \%$
--	--

**Indicador de Control**

### **Gestión del Mantenimiento**

En la actualidad por las altas demandas del mercado según (Fabiana Becerra, 2008) Sería impensable no tener una buena gestión de mantenimiento, por esta razón las organizaciones se deben proyectar para que sus actividades mejoren con

un buen funcionamiento el mantenimiento ya que es importante para el apoyo en cualquier área de producción.

Ciertamente es importante que toda organización tenga una capacidad de emplear sus recursos para tener un compromiso con el área de mantenimiento y tener una buena relación que los sistemas productivos sigan desempeñando en todo tipo de funciones productivas afín de tener unas buenas utilidades económicas.

**Tiempo Medio Entre Fallas - T.M.E.F.**

Tiene una relación con MTBF (Tiempo Medio Entre Averías) que es un indicador de la disponibilidad de un equipo. El MTBF representa el promedio del tiempo que transcurre entre dos averías en un mismo equipo. Este indicador con respecto a nuestro trabajo nos dio a conocer como identificar y calcular las fallas en las 41 unidades de transporte por intermedio de esta fórmula, así como (Pistarelli, A. J. , 2011), permite conocer las frecuencias de las fallas.

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

**Tiempo Medio entre Reparaciones – T.M.P.R.**

Este otro indicador como MTTR, que también tiene relación con el tiempo medio entre reparaciones fue atizado para los cálculos de variable es una medida de mantenibilidad de equipos y piezas reparables. Representa el promedio del tiempo necesario para reparar una avería hasta que la actividad del equipo se restablezca y este cálculo se realiza por intermedio de esta división o formula mencionada, para (Pistarelli, A. J. , 2011), permite conocer las averías que se producen.

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de mantenimiento}}{\textit{Número de reparaciones}}$$

<b>Gestión del Mantenimiento Planeado</b>	<u>T.M.E.F.</u> T.M.E.F. + T.M.P.R. %
---	--

**Dimensión 1 de Lean Maintenance**

## **Objetivos de un departamento de Mantenimiento**

Según (Rodríguez Lopez, J., 2007), menciona que los objetivos principales siempre se determinan por realizar una inspección detallada con lo que respecta a todas las áreas de actividades y producción con el propósito de verificar cualquier desgaste en las máquinas, tener un registro adecuado y mantenerlos en buen estado para que no fallen, y no tengan tiempos de parada para que sus costos no aumenten.

## **Importancia de la Gestión del Mantenimiento**

Según (MALDONADO M. ANA; SUMNER DE BARI YSIQUE, 2017), refiere que la actualidad, por una alta competencia en todo tipo de negocio es necesario la implementación de un proceso de gestión de mantenimiento en la cual se fundamenta en reducir el trabajo correctivo hasta que la empresa alcance su nivel óptimo y la implementación adecuada para el trabajo del mantenimiento preventivo.

## **Análisis del Modo y Efecto de Fallas – AMEF**

Cuando hablamos de AMEF nos referimos a un conjunto de directrices o procedimiento que permite identificar problemas y sus posibles efectos de fallas en procesos y sistemas de producción y áreas de mantenimiento, el AMEF se creó con el propósito de evaluar la confiabilidad de los equipos, con el propósito de dar una inspección así como evaluar verificar inspeccionar sus causas y efectos de Fallas para tener un buen documento de sustento de prevención evitar que ocasionen problemas al realizar el análisis.

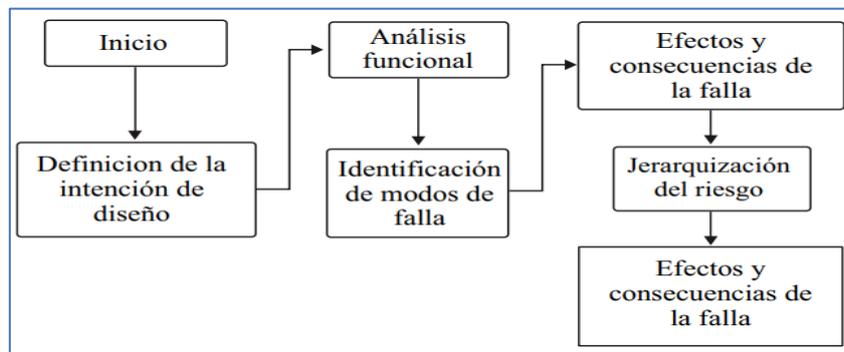
Según (A.J.J. Braaksma , W. Klingenberg & J. Veldman, 2012), el Modo de falla y análisis de efectos (FMEA), es un conjunto sistemático de actividades que identifica y evalúa posibles modos de falla de un sistema. Eso introduce acciones que pueden eliminar o reducir las posibilidades de que ocurra la falla.

(T. Qiang, B. Zhu, L. Li., 2011 págs. 581-583), el FMEA se enfoca en prevenir no conformidades de un producto, realizar un análisis de riesgos en un sistema y proceso, y reducir la insatisfacción del cliente.

Para (W.Truscott, 2003), Se han introducido varias metodologías para evitar fallas, incluido el árbol de fallas análisis, análisis de peligros y puntos críticos de control, y diagrama de bloques de confiabilidad.

La metodología aquí mostrada Análisis de Modos de Falla y sus Efectos ha sido basada en el modelo propuesto por un artículo de la revista Redalyc Tecnología, Ciencia, Educación ISSN: 0186-6036, la cual se empleará como fundamento para elaboración del plan de mantenimiento de las unidades, y lo describimos en las siguientes actividades como son la definición de la intención de diseño, análisis funcional, Identificación de modos de falla, efectos y consecuencias de fallas, Jerarquización del riesgo.

Figura 2 Diagrama de la metodología de análisis de modos de falla y sus efectos



Fuente: Redalyc Tecnología, Ciencia, Educación ISSN: 0186-6036,  
<https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>,

La medición del análisis de modo y efecto de fallas estará dada por la identificación de las fallas críticas (criticidad de fallas) y la preparación de planes de contingencia o procedimientos de prevención según el nivel de criticidad.

<b>Análisis del Modo y Efecto de Fallas</b>	$\frac{\text{TIEMPOIMPRODUCTIVOXFALLACRITICA}}{\text{TIEMPOIMPROXFALLA}} \%$
---	--

### Dimensión 2 de Lean Maintenance

#### Variable Dependiente: Costos de Mantenimiento

#### Costos

Según (Cárdenas, R., 2016), el costo de inversión para producir un bien, es la suma de esfuerzos y recursos que se invierten para transformarlo en un artículo determinado son los costos monetarios.

Se llama costo al valor que se brinda a un producto también a un servicio realizado, si generalizamos sobre costos o coste en cualquier tipo de producción en una empresa nos generara ganancias.

## **Mantenimiento**

(Botero G., C., 1991), relata que en su descripción que en el manual de mantenimiento realizado por el Servicio Nacional de Aprendizaje "SENA" y la Federación Colombiana de Industrias Metálicas "FEDEMETAL" que, cuando realizamos los mantenimientos lo consideramos como un grupo de actividades que se realizan en todo tipo de servicios de máquinas e instalaciones como áreas de trabajo con la finalidad de prevenir, correcciones y detectar fallas.

(Sotuyo Blanco, S., 2008), cuando realizamos el mantenimiento y no necesariamente se tiene que reparar la maquina en mal estado es mantener los equipos en funcionamiento. El resultado de una primera prioridad es que no se produzcan fallas y así reduciremos todo tipo de riesgos de paradas imprevistas. El mantenimiento es un proceso que se debe utilizar no cuando comienza su etapa inicial de un proyecto se debe realizar en toda una vida útil de un equipo.

(Gonzales, M., 2014). Habla que el mantenimiento, es un conjunto de operaciones que realiza una máquina, que se puede realizar reparaciones sustitución de componentes con el fin de tener un buen estado si tenga un buen funcionamiento a causa de una avería.

## **Costos de Mantenimiento**

Según, (Espinoza Fuentes, F. , 2013), todo con respecto a los costos se pueden agrupar en dos categorías como los que tienen relación directa y por pérdidas de producción a causa de las fallas de los equipos, todas las de mantenimientos de operación son relacionados con los costos de mano de obra, costos administrativos, costos de capital y costos de componentes se relacionan a costo directo y por una tasa de disminución de producción, y toda falla que tiene una perdida en la calidad del producto a un mal de funcionamiento, se relacionan por causas de fallas de los equipos.

(Barfield, J., Raiborn, C., & Kinney, M., 2011), señalan que, tiene que tener una

buena información se debe entender con bastante claridad entre los tipos de costo.

Según, (Polimeni, R., Fabozzi, F., Adelberg, A., & Kole, M., 2011), en su libro “Contabilidad de Costos: Conceptos y Aplicaciones Para la Toma de Decisiones Gerenciales”, nos indican que la gerencia se actualice seguidamente con cursos de acción y ese refleja hacia una buena toma de decisión.

### **Costos Variables y Fijos de Mantenimiento**

(Rivera Rubio, E. M., 2011), todo departamento de mantenimiento son los encargados de verificar los costos variables y son los que tienden a variar su nivel de actividad, aunque todos costos variables serán fijos por una unidad de producto y los costos fijos vienen a ser aquellos que no varían su relación con la producción durante lo establecido de un período determinado.

### **Costo Global del Mantenimiento:**

(Espinoza Fuentes, F. , 2013), se refiere que el costo de mantenimiento global es toda la suma de los cuatro costos y lo describimos como el costo de las intervenciones, Costo de las fallas, Costo de almacenamiento, y Costo de sobreinversiones y si lo identificamos nos conlleva a varios tipos de factores que tiene relación como es a la inversión, perdidas, financiamiento y amortización.

(Navarro Elola, L., Pastor Tejedor, A. C., & Mugaburu Lacabrera, J. M., 2009), asume que las reparaciones es un adicional más del precio final del producto. Siempre será un gasto que debemos asumir ya sea una mala o buena gestión mantenimiento que se realizó.

### **Costos en Gestión de Mantenimiento:**

(Benítez Montalvo, R. I. , 2011), el MSC. Detalla que si realizamos una gestión de mantenimiento si la decisión que tomamos puede llevar al éxito o una caída en una producción, venta, existe una preocupación por los directivos que son los encargados de las actividades de mantenimiento.

### **Objetivos del mantenimiento**

Martos, (Martos F, Navarro J, Bullejos M, Gassó T, Barros M, 2006), toda empresa de servicio de mantenimiento debe tener en cuenta el cumplimiento de objetivos principales que es la reducción de costos y siempre garantizar la seguridad

industrial en las organizaciones o cualquier tipo de empresa.

(García Garrido, S., 2004), se caracteriza en disponer y procurar que se ejecute la disponibilidad y eficacia requerida de los equipos e instalaciones teniendo en cuenta los objetivos de mantenimiento y logrando una duración de su vida útil y realizando la disminución de los costes de mantenimiento.

### **Tipos de mantenimiento**

#### **Mantenimiento preventivo**

(Alvaro, C. , 2008), la gerencia del área de alimentación de los servicios de ABB, afirma en dicha revista, ya no es factible rápidamente corregir una falla cuando se presenta un mantenimiento correctivo, es tener bien programado los procesos de los mantenimientos para que cuando ocurra el problema así estaremos preparados para cualquier evento que se presente y se reflejara con ahorro de tiempo y producción. En la actualidad, el mantenimiento preventivo se ha convertido practicar y fomentar seminarios y charlas con todos los involucrados de las empresas, todo tipo de equipos e instalaciones tiende la necesidad de un cuidado para evitar costos mayores al momento que puede ocasionar una falla.

<b>Costos Mantto. Preventivo</b>	<b><math>\frac{C. \text{ TOTAL MANT. PREV.}}{\text{TOTAL HORAS TRABAJADAS}}</math></b>
--------------------------------------	--

#### **Dimensión 1 de Costos de Mantenimiento**

#### **Mantenimiento Predictivo**

(Primera Marín, E. E., 2002), TSU se considera este tipo mantenimiento cuando nos ayuda a predecir un evento de una falla y el objetivo principal es interferir y tomar decisiones para poder corregir lo que se presente en las máquinas y en un sistema de proceso de producción.

(Bannister Moreno, D., Castro Castro, A., Flores García, I.,, 2006), en la revista Electro industria, menciona si nos adelantamos a las averías por técnicas e instrumentos de análisis distintos, evitaremos que las máquinas que se encuentran realizando operaciones critica fallen es por esta que toda empresa le motiva que al mantenimiento predictivo en imponer reglas y generar procesos para evitar las fallas.

### **Mantenimiento Correctivo**

(MALDONADO M. ANA; SUMNER DE BARI YSIQUE, 2017), habla para dicha revista con la finalidad que el mantenimiento correctivo, es una actividad de un nivel de importancia, que busca reparar el mal funcionamiento de todo tipo de equipos, contribuyendo con las reparaciones de las fallas una vez que se realicen.

<b>Costos Mantenimiento Correctivo</b>	$\frac{C. \text{ TOTAL MANT. CORRECT}}{\text{TOTAL DE HORAS TRABAJADAS}}$
--	---

### **Dimensión 2 de Costos de Mantenimiento**

### **Mantenimiento Proactivo**

(Widman, R., 2014), en la revista "Mantenimiento mundial", escribe que todo principio de reducción sobre un importe presupuestado de mantenimiento es aplicable a tres principios: por cada causa que se presente hay una falla, la finalidad es de hacer lo bien y tenemos que siempre hay una mejor manera de hacerlo o un mejor producto para ser utilizado, si otra organización que sea igual pueda alcanzar y aumentar resultados, nosotros también podemos (Benchmarking).

Del mismo método (Widman, R., 2014), hace referencia que el Mantenimiento Proactivo está sugerido en tres principios: desarrollar los procedimientos antes de que suceda las fallas, eludir paradas de máquinas o equipos por falta del mantenimiento correctivo y realizar una incrementación en el Intervalo para mantenimiento preventivo.

### **El mantenimiento periódico (mantenimiento basado Tiempo - TBM)**

(Venkatesh, J., 2007), se habla de un mantenimiento que está basado en tiempo y se relaciona con las inspecciones periódicamente, este tipo de mantenimiento tiene como función de programar más actividades o más intervenciones anuales entre ellos figura sustitución de piezas, realizar limpieza de equipos, verificación general del equipo que se encuentre correctamente para no crear paradas repentinas.

### **Frecuencia de Mantenimiento Preventivo**

Para IBM, se puede especificar una programación de frecuencia para un mantenimiento preventivo (MP) para determinar con qué frecuencia genera el MP órdenes de trabajo.

Normalmente, el trabajo de mantenimiento preventivo se activa al producirse una o varias condiciones:

- **Tiempo transcurrido desde el trabajo anterior.** Estos MP se denominan MP basados en tiempo.
- **Utilización de activos de medición.** Estos MP se denominan MP basados en medidor.
- **Una combinación de tiempo transcurrido y utilización de medidores.** Por ejemplo, se puede programar un MP para que active trabajo cada seis meses o cada 300 horas, cualquiera que ocurra primero.

<b>Frecuencia del Mantto. Preventivo</b>	$\frac{\text{HORAS TOT. OPERADAS}}{\text{TOTAL DE UNIDADES}} \%$
--	--

**Indicador de control**

### III. MÉTODO

#### 3.1. Diseño Metodológico de la Investigación

##### 3.1.1. Tipo de investigación

Es de tipo aplicada para tener referencia a los estudios que realizaremos, específicamente es reducir los costos de mantenimiento preventivo y correctivo de la empresa de transportes de carga pesada, por las variedades de todo tipo de investigación que existe lo diferenciamos por tener propósitos prácticos como se refiere a actuar transformar modificar y realizar cambios orientados a la realidad.

##### 3.1.2. Nivel de investigación

Esta investigación se situó en un nivel descriptivo porque va a medir y describir la variable independiente “Lean Maintenance” y la variable dependiente “Costos de Mantenimiento” de las unidades en una empresa de transportes de carga.

Así mismo es explicativo porque nos referimos a la comprobación de hipótesis de segundo grado, y se establece una relación de causa-efecto, tal como indica (Díaz, 2005) “Este nivel el investigador conoce y da a conocer las causas o factores que han dado el origen o han condicionado la existencia y la naturaleza de hecho fenómeno en estudio”.

##### 3.1.3. Método

El método empleado en la presente investigación fue hipotético-deductivo el cual fue empleado para que, cuando comience a ser observado en el área de mantenimiento de la empresa, se formularon las correspondientes hipótesis, luego aplicaremos los conocimientos basados en el tema para obtener conclusiones que verificaremos poniéndolas a prueba mediante la experiencia.

##### 3.1.4. Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación fue experimental enfocado a pre experimental, debido a que será llevado con un solo grupo de pre test y post test.

Se trabajó la investigación con los datos de las 41 unidades ya que nuestra población es finita.

**Esquema del diseño de investigación:**

**G= O1      X      O2**

O1 = Medición de los costos de mantenimiento antes de la implementación de Lean Maintenance, en la empresa de transporte de carga pesada.

X = Estimulo, en este caso implementación de Lean Maintenance, en la empresa de transporte de carga pesada.

O2 = Medición de los costos de mantenimiento después de la implementación de Lean Maintenance, en la empresa de transporte de carga pesada.

Dónde:

G: Grupo o muestra.

01: Costos de Mantenimiento antes de Lean Maintenance.

02: Costos de Mantenimiento después de Lean Maintenance.

X: Etapa de mejora Aplicación de Lean Maintenance.

### 3.2. Operacionalización de Variables

Tabla 1 Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Independiente  <b>LEAN MAINTENANCE</b>	El mantenimiento esbello es una operación de mantenimiento proactivo que emplea actividades de mantenimiento planificadas y programadas a través de prácticas de mantenimiento productivo total utilizando estrategias de mantenimiento desarrolladas mediante la aplicación de la lógica de decisión de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Nazim Baruch. (2016).	En este proyecto de investigación dimensionaremos el Mantenimiento esbello con la Gestión del Mantenimiento Planeado que permita la reducción de los costos de mantenimiento. Preventivo y el Análisis de Modo y fallas para reducir los costos de mantenimiento. Correctivo.	<b>Gestión del Mantenimiento Planeado</b>	$\frac{\text{TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS}}{\text{TIEMPO MEDIO ENTRE REPARACIONES}} \times 100$ $\text{MTBF} = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento}}{\text{número de fallas}}$ $\text{MTTR} = \frac{\text{Tiempo total de inactividad}}{\text{número de fallas}}$	PORCENTUAL
			<b>Análisis del Modo y Efecto de Fallas</b>	$\frac{\text{T. IMP. X FALLA CRITICA}}{\text{TIEMPO IMP. X FALLAS}} \times 100$	PORCENTUAL
Dependiente  <b>COSTOS DE MANTENIMIENTO</b>	Con respecto a los costos se pueden agrupar en dos categorías como los que tienen relación directa y por pérdidas de producción a causa de las fallas de los equipos, todas las de mantenimientos de operación son relacionados con los costos de mano de obra, costos administrativos, costos de capital y costos de componentes se relacionan a costo directo y por una tasa de disminución de producción, y toda falla que tiene una pérdida en la calidad del producto a un mal de funcionamiento, se relacionan por causas de fallas de los equipos. Espinoza (2013).	En el presente proyecto dimensionamos los costos de mantenimiento con los Costos de Mantenimiento Preventivo y los costos de mantenimiento Correctivo.	<b>Costos Mantenimiento Preventivo</b>	$\frac{\text{C. TOTAL MANTENIMIENTO. PREVENTIVO.}}{\text{TOTAL DE HORAS TRABAJADAS}}$	RAZÓN
			<b>Costos Mantenimiento Correctivo</b>	$\frac{\text{C. TOTAL MANT. CORRECTIVO}}{\text{TOTAL DE HORAS TRABAJADAS.}}$	RAZÓN

### 3.3. Población y Muestra

#### 3.3.1. Población.

En nuestra investigación, la población fue finita porque se tuvo conocimiento de la totalidad de los elementos a analizar, por consiguiente, la población estuvo conformada por las 41 unidades de transporte, Siendo las unidades de análisis las bitácoras y/o registros de OTM y las facturas de costos de mantenimiento de cada unidad; tal como lo indica (Hernández, Fernández y Baptista 2014 p174), “Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones”.

Tabla 2 Población de Unidades de transporte de carga Pesada

ID	TIPO	OBSERVACIONES	INTERN	PLACA	MARCA	MODELO	AÑO
1	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-28</b>	C90-778	NTERNATIONA	7600 SBA	2012
2	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-29</b>	C9P-711	NTERNATIONA	7600 SBA	2012
3	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-30</b>	C9R-712	NTERNATIONA	7600 SBA	2012
4	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-31</b>	C9R-766	NTERNATIONA	7600 SBA	2012
5	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-32</b>	D9K-727	NTERNATIONA	7600 SBA	2013
6	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-33</b>	D9K-731	NTERNATIONA	7600 SBA	2013
7	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-34</b>	D9K-784	NTERNATIONA	7600 SBA	2013
8	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-35</b>	D9K-788	NTERNATIONA	7600 SBA	2013
9	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-36</b>	D9K-827	NTERNATIONA	7600 SBA	2013
10	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-37</b>	D9K-847	NTERNATIONA	7600 SBA	2013
11	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-40</b>	F0L-906	NTERNATIONA	7600 SBA	2014
12	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-41</b>	AAP-788	NTERNATIONA	7600 SBA	2014
13	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-42</b>	AAN-770	NTERNATIONA	7600 SBA	2014
14	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-43</b>	AAO-705	NTERNATIONA	7600 SBA	2014
15	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-44</b>	AAx-711	NTERNATIONA	7600 SBA	2014
16	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-45</b>	AAR-752	NTERNATIONA	7600 SBA	2014
17	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-46</b>	AAO-794	NTERNATIONA	7600 SBA	2014
18	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-47</b>	AAS-713	NTERNATIONA	7600 SBA	2014
19	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-48</b>	AAQ-755	NTERNATIONA	7600 SBA	2014
20	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-49</b>	AAL-746	NTERNATIONA	7600 SBA	2014
21	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-55</b>	AAS-724	NTERNATIONA	7600 SBA	2014
22	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-50</b>	AJQ-871	NTERNATIONA	7600 SBA	2015
23	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-51</b>	AJM-812	NTERNATIONA	7600 SBA	2015
24	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-52</b>	AJM-905	NTERNATIONA	7600 SBA	2015
25	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-53</b>	AJP-912	NTERNATIONA	7600 SBA	2015
26	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-54</b>	AJP-914	NTERNATIONA	7600 SBA	2015
27	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-56</b>	AMR-702	NTERNATIONA	7600 SBA	2016
28	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-57</b>	AMP-869	NTERNATIONA	7600 SBA	2016
29	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-58</b>	AMP-923	NTERNATIONA	7600 SBA	2016
30	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-59</b>	AMQ-811	NTERNATIONA	7600 SBA	2016
31	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-60</b>	AMQ-894	NTERNATIONA	7600 SBA	2016
32	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-61</b>	ART-705	NTERNATIONA	7600 SBA	2017
33	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-62</b>	ART-816	NTERNATIONA	7600 SBA	2017
34	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-63</b>	ART-791	NTERNATIONA	7600 SBA	2017
35	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-64</b>	ART-855	NTERNATIONA	7600 SBA	2017
36	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-65</b>	ART-859	NTERNATIONA	7600 SBA	2017
37	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-66</b>	A'wD-734	NTERNATIONA	7600 SBA	2018
38	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-67</b>	A'wD-736	NTERNATIONA	7600 SBA	2018
39	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-68</b>	A'wD-744	NTERNATIONA	7600 SBA	2018
40	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-69</b>	A'wD-781	NTERNATIONA	7600 SBA	2018
41	TRACTO	Mantto. Interperu	<b>TN3-70</b>	A'wD-784	NTERNATIONA	7600 SBA	2018

### 3.3.2. Muestra.

Para determinar el tamaño de muestra tomamos en cuenta la población de 41 unidades y nos apoyamos de la formula estadística para poblaciones conocidas y variable cuantitativa:

$$n = \frac{N Z^2 S^2}{d^2 (N-1) + Z^2 S^2}$$

n = tamaño de la muestra; N = tamaño de la población; Z = valor de Z crítico  
 S<sup>2</sup> = varianza de la población en estudio (que es el cuadrado de la desviación estándar y puede obtenerse de estudios similares o pruebas piloto)  
 d = error o nivel de precisión absoluta. Referido a la amplitud del intervalo de confianza.

Fuente: Redalyc Salud en Tabasco ISSN: 1405-2091 (<https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>)

### Cálculo del Tamaño Muestral:

Tabla 3 Costos de Mantenimiento de la Empresa - 2018

Año 2018	HORAS	FREC. CAMBIO	M. PREVENTIVO	COSTO M. PREV.	COSTO M. COR.
ENERO	13284	310	43	S/ 37,507	S/ 1,125
FEBRERO	11275	305	37	S/ 32,356	S/ 971
MARZO	14268	315	45	S/ 39,646	S/ 1,189
ABRIL	13776	320	43	S/ 37,680	S/ 1,130
MAYO	14924	309	48	S/ 42,274	S/ 1,268
JUNIO	13284	330	40	S/ 35,234	S/ 1,057
JULIO	12792	335	38	S/ 33,422	S/ 1,003
AGOSTO	12177	325	37	S/ 32,794	S/ 984
SETIEMBRE	13284	320	42	S/ 36,335	S/ 1,090
OCTUBRE	14268	335	43	S/ 37,279	S/ 1,118
NOVIEMBRE	14391	329	44	S/ 38,286	S/ 1,149
DICIEMBRE	12628	328	39	S/ 33,698	S/ 1,011
<b>Sub Totales</b>				<b>S/ 436,510</b>	<b>S/ 13,095</b>
<b>Costo Total de Mantenimiento</b>				<b>S/449,605</b>	

Realizando los cálculos:

<b>N =</b>	<b>41</b>
<b>S = δ =</b>	<b>S/ 2,874</b>
<b>d = error = 0.05% =</b>	<b>S/ 548</b>
<b>Z = 95% =</b>	<b>1.96</b>
<b>n =</b>	<b>30</b>

$$\frac{41(1.96)^2 * (2,874)^2}{(41 - 1)548 + (1.96)^2(2,874)^2}$$

Como observamos el resultado para realizar el control y medición de los costos de mantenimiento de una muestra de 30 unidades, pero por razones de accesibilidad realizaremos el control de las 41 unidades un lapso de tiempo de 3 meses antes y 3 meses después de la implementación de Lean Maintenance.

### **3.3.3. Muestreo.**

En la investigación, el muestreo (toma de muestra) se realizó de manera no probabilística, puesto que los objetos de estudio se tomaron en base a la conveniencia por accesibilidad. Tal como indica Otzen (2017) “Muestreo no probabilístico – Por conveniencia: Permite seleccionar aquellos casos accesibles que acepten ser incluidos. Esto, fundamentado en la conveniente accesibilidad y proximidad de los sujetos para el investigador”.

El muestreo se realizó durante los meses diciembre 2019, enero y febrero 2020 (Antes) y abril, mayo y junio (Después).

### **3.3.4. Criterios Exclusión e inclusión**

Se incluirán las 41 unidades para determinar sus costos de mantenimiento generados en 3 meses antes y 3 meses después, este criterio está relacionado en base a los días donde se realizaron mantenimientos preventivos y/o correctivos, así mismo los días son de Lunes – Sábado, excluyendo los domingos y feriados.

## **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **3.4.1. Técnicas**

La investigación tuvo enfoque cuantitativo, y se utilizó la técnica de observación y registro de datos, en este caso particular son los costos de mantenimiento preventivo y correctivo de cada unidad de transporte.

Tal como menciona (Pino, 2007), “Las técnicas de recolección de datos son el conjunto de procedimientos o actividades realizadas, que al investigador le permite recabar información con relación al objeto de estudio o sujeto en un determinado espacio”.

### **Observación Sistematizada de Costos de Mantenimiento**

Nos referimos a toda técnica o información del trabajo realizado en la empresa en función a las unidades de trasportes que viene a ser (la población) donde recogemos datos que se toman para realizar nuestro trabajo de informe por intermedio de los registros.

## Fichas de Observación.

Para el registro de los datos de cada indicador tanto de la variable independiente como dependiente se utilizaron fichas de observación y registro, tal como lo indica Wilson (2015), "El fichaje es una técnica auxiliar de todas las demás técnicas empleadas en la investigación científica; Consiste en registrar y organizar los datos que se van alcanzando en los instrumentos mencionados fichas". La facilidad que tiene esta herramienta es de definir todo tipo de información y organizarlo de forma conveniente, tal como lo realizaremos en este proyecto.

Tabla 4 Formato de control de las unidades de Mantenimiento

ID	Tipo	Placa	Código	Marca	Año	N° O	Fecha inicio	Fecha Final	KM	HR	Fecha Reporte	Código A	Actividad
10163	Tracto	AJP-912	TN3-53	INTER	2015	510199	05/10/2019 00:00	06/10/2019 00:00	244559	9219		21	Engrasar collarín de embrague "grasa resistente >180"
10164	Tracto	AJP-912	TN3-53	INTER	2015	510199	05/10/2019 00:00	06/10/2019 00:00	244559	9219		22	Regulación de frenos tracto y carreta
10165	Tracto	AJP-912	TN3-53	INTER	2015	510199	05/10/2019 00:00	06/10/2019 00:00	244559	9219		23	Revisar/Regular juego libre de pedal de freno
10166	Tracto	AJP-912	TN3-53	INTER	2015	510199	05/10/2019 00:00	06/10/2019 00:00	244559	9219		24	Regulación de embrague
10167	Tracto	AJP-912	TN3-53	INTER	2015	510199	05/10/2019 00:00	06/10/2019 00:00	244559	9219		25	Revisar/Regular juego libre de pedal de embrague
10168	Tracto	AJP-912	TN3-53	INTER	2015	510199	05/10/2019 00:00	06/10/2019 00:00	244559	9219		121	Mantenimiento de Alternador
10169	Tracto	AJP-912	TN3-53	INTER	2015	510199	05/10/2019 00:00	06/10/2019 00:00	244559	9219		124	Cambio de baterías
10170	Tracto	AJP-912	TN3-53	INTER	2015	510199	05/10/2019 00:00	06/10/2019 00:00	244559	9219		125	Revisar claxon de aire y eléctrico.
10171	Tracto	AJP-912	TN3-53	INTER	2015	510199	05/10/2019 00:00	06/10/2019 00:00	244559	9219		126	Revisar cables eléctricos, (sueltos)
10172	Tracto	AJP-912	TN3-53	INTER	2015	510199	05/10/2019 00:00	06/10/2019 00:00	244559	9219		127	Revisión de carga de alternador.
10173	Tracto	AJP-912	TN3-53	INTER	2015	510199	05/10/2019 00:00	06/10/2019 00:00	244559	9219		128	Revisión de funcionamiento normal de arranque.
10174	Tracto	AJP-912	TN3-53	INTER	2015	510199	05/10/2019 00:00	06/10/2019 00:00	244559	9219		129	Revisión de funcionamiento de las luces en general.
10175	Tracto	AJP-912	TN3-53	INTER	2015	510199	05/10/2019 00:00	06/10/2019 00:00	244559	9219		130	Revisar el funcionamiento correcto de tablero de instrumentos.
10176	Tracto	AJP-912	TN3-53	INTER	2015	610191	05/10/2019 00:00	05/10/2019 00:00	244559	9219	05/10/2019		Cambio de kit de embrague reparado

Tabla 5 Formato donde se visualiza el tiempo que las unidades permanecen en el taller

ORDEN DE TRABAJO					
DATOS GENERALES					
O.T. #:	1010193	Fecha Inicio	10/10/2019	Fecha Final	
DATOS DEL TRACTO			DATOS DE LA CARRETA		
Placa:	AAP-788	Cód. Interno:	TN3-41	Placa:	
Marca:	INTER	Año:	2014	Marca:	
KM:		HR:		Km:	
DESCRIPCIÓN DE LOS DEFECTOS OBSERVADOS					
CAMBIO DE ZAPATA DE TRACTO					
REVISAR SOPORTE DE CABENA					
CAMBIO DE BOCINA DE MUELLES DE TRACTO					
SONIDO AL GIRAR					
TRABAJOS REALIZADOS			TÉCNICO	FECHA / H.INICIO / H.FINAL	
REPUESTOS UTILIZADOS			CANT.	REPUESTOS UTILIZADOS	
TRABAJOS PENDIENTES / OBSERVACIONES			REPUESTOS	CANT.	

Tabla 6 Formato de control del horómetro de las unidades

\* Se puede visualizar la D. mecánica de las unidades , tiempo que permanecen en taller y no i

\* Se puede visualizar la fiabilidad. Índice que indica la posibilidad de que un equipo falle.

\* Tiempo que se demorará, en solucionar los pendientes.

PLACA	CÓDIGO	M	H. Actual	AÑO	D. Mecánica	Estado	OCTUBRE		MAYO	
							Engrase	Mant. Preven	Pendientes	Importantes
C90-778	TN3-28	IN	16359	2012	100.00%	Operativo	-693	-393		
C9P-711	TN3-29	IN	15854	2012	100.00%	Operativo	-377	-77		
CSR-712	TN3-30	IN	15355	2012	100.00%	Operativo	-437	-137		
CSR-766	TN3-31	IN	15819	2012	100.00%	Operativo	-509	-209		
DSK-727	TN3-32	IN	14571	2013	100.00%	Operativo	-14421	-205		
DSK-731	TN3-33	IN	14260	2013	100.00%	Operativo	-321	-21		
DSK-784	TN3-34	IN	13881	2013	100.00%	Operativo	-391	-91		
DSK-788	TN3-35	IN	14123	2013	100.00%	Operativo	-219	81		
DSK-827	TN3-36	IN	13739	2013	100.00%	Operativo	-339	-39		
DSK-847	TN3-37	IN	14094	2013	100.00%	Operativo	-656	-356		
FOL-906	TN3-40	IN	10971	2014	100.00%	Operativo	-135	18		
AAP-788	TN3-41	IN	11555	2014	100.00%	Operativo	-196	104		
AAV-770	TN3-42	IN	12016	2014	100.00%	Operativo	-456	-156		
AAQ-705	TN3-43	IN	12537	2014	100.00%	Operativo	-398	-194		Pierde fuerza y se apaga (20/08/2019)
AAK-711	TN3-44	IN	11479	2014	100.00%	Operativo	-521	-106		
AAR-752	TN3-45	IN	12781	2014	100.00%	Operativo	-675	-375		
AAQ-794	TN3-46	IN	12740	2014	100.00%	Operativo	-381	-10		
AAQ-713	TN3-47	IN	12136	2014	100.00%	Operativo	-291	-40		
AAQ-755	TN3-48	IN	9054	2014	100.00%	Taller	-340	9		Inoperativo por accidente desde el 02/08/19

BDD Mantenimiento Preventivo y Correctivo de los equipos

BDD Carr. PM C

Pendientes Reportes PM Carreta

HISTORIAL DE MANTENIMIENTO

Registrar M. Historial Manto

Conductores Personal de Manto

Tabla 7 Formato del mantenimiento preventivo y/o correctivo

Borrar Filtro Registrar M. Principia

SOLO RELLENAMOS LOS CAMPOS DE KILOMETRAJE HORAS Y FECHA

ID	PLACA	Fecha Programa	N° INTERM	MAR C°	MODELO	AÑO	KM ACTUA	HR ACTUA	FECHA KM. HR	DIAS	HR ACTUA	frec mtto	KM MTTO	HR MTTO	FECHA MTTO	HD	Días	FALTA PIMITO (H)	HORAS PROX MTTO	FECHA PROX MTTO	Días que faltan para el Manto
1	C90-778		TN3-28	IN	1600 SBA	2012	437037	15831	10/10/2019	48	16359	450	427991	15516	20/08/2019	11	41	-393	15868	29/09/2019	-36
2	C9P-711		TN3-29	IN	1600 SBA	2012	429044	15380	07/10/2019	51	15854	450	428254	15327	24/09/2019	9	48	-77	15777	11/11/2019	-8
3	CSR-712		TN3-30	IN	1600 SBA	2012	425526	14905	07/10/2019	51	15355	450	422564	14768	16/09/2019	9	51	-137	15219	05/11/2019	-16
4	C9R-766		TN3-31	IN	1600 SBA	2012	486739	16406	07/10/2019	51	16819	450	481455	16160	01/09/2019	8	56	-209	16810	26/10/2019	-26
5	D9K-727		TN3-32	IN	1600 SBA	2013	393559	14106	03/10/2019	55	14571	450	390041	13916	12/09/2019	8	53	-205	14368	04/11/2019	-24
6	D9K-731		TN3-33	IN	1600 SBA	2013	391551	13789	07/10/2019	51	14260	450	391551	13789	01/10/2019	9	49	-21	14239	18/11/2019	-2
7	D9K-784		TN3-34	IN	1600 SBA	2013	368328	13485	02/10/2019	56	13881	450	365373	13340	13/09/2019	7	64	-91	13790	15/11/2019	-13
8	D9K-788		TN3-35	IN	1600 SBA	2013	379950	13883	11/10/2019	47	14123	450	3754965	13754	19/09/2019	5	88	81	14204	16/12/2019	16
9	D9K-827		TN3-36	IN	1600 SBA	2013	369135	13294	03/10/2019	55	13739	450	368009	13250	30/09/2019	8	56	-39	13700	24/11/2019	-5
10	D9K-847		TN3-37	IN	1600 SBA	2013	386058	13533	07/10/2019	51	14094	450	379323	13288	28/08/2019	11	41	-356	13738	07/10/2019	-32
11	FOL-906		TN3-40	IN	1600 SBA	2014	292230	10986	10/10/2019	48	10971	450	287510	10539	03/09/2019	6	76	18	10899	17/11/2019	3
12	AAP-788		TN3-41	IN	1600 SBA	2014	306194	11219	10/10/2019	48	11565	450	306194	11219	04/10/2019	7	63	104	10669	05/12/2019	14
13	AAV-770		TN3-42	IN	1600 SBA	2014	314825	11709	10/10/2019	48	12016	450	306680	11410	24/08/2019	6	70	-155	10860	02/11/2019	-24
14	AAQ-705		TN3-43	IN	1600 SBA	2014	349844	12042	07/10/2019	51	12537	450	345827	11899	19/09/2019	10	46	-194	12343	04/11/2019	-20
15	AAK-711		TN3-44	IN	1600 SBA	2014	307310	11185	04/10/2019	54	11479	450	302018	10923	27/08/2019	5	83	-106	10723	17/11/2019	-20

Servicio de Mantenimiento Preventivo y/o Correctivo

TRANSA TRANSPORTES NACIONALES S.A.

Tipo de Unidad: REMOLCADOR Modelo: 7600SBA Año: 2014 Placa: AAS-713

Marca: INTER Fecha: 10/10/2019 Kilometraje: 311490 Cod. Interno: TN3-47 Horometro: 12136

Tipo de Mantenimiento: PM1

Datos Acumulados Actuales: Fecha: KM: HR:

ID	Acéites y filtros	SD	Hr. Ser	U. Fecha	Hr Manto	Hr. Acum	ACCIÓN	C	R
1	Cambio de aceite y filtro al motor	ILC16504G	450	30/09/2019	11695	441	REALIZAR		
2	Cambio de filtro de combustible	FS19624	225	30/09/2019	11695	441	REALIZAR		
3	Cambio de filtro separador de agua	NA	-	-	-	-	-		
4	Cambio de aceite a caja de cambios	AS502833G	900	30/09/2019	11695	441	-		
5	Cambio de aceite de ruedas delanteras	ILC16528G	900	30/09/2019	11695	441	-		
6	Cambio de filtro refrigerante	WF2074	1350	02/05/2019	10716	1420	REALIZAR		
7	Cambio de aceite sistema dirección	ILC16504G	1350	05/09/2019	11583	553	-		
8	Cambiar filtro de aceite de dirección	2503221C1	1350	05/09/2019	11583	553	-		
9	Cambio de filtro de aire primario al motor	3551814C1	1350	27/02/2019	10238	1898	REALIZAR		
10	Cambio de filtro aire acondicionado	AF26430	1350	05/09/2019	11583	553	-		
11	Cambio de filtro cedazo	1350	30/09/2019	11695	441	-	-		
12	Revisión de aceite y filtro del sistema hidráulico	WF2074	1800	06/07/2019	11190	946	-		
13	Cambio de filtro de corona	NA	-	-	1	12135	-		
14	Cambio de aceite de eje posterior	ILC16528G	1800	02/05/2019	10716	1420	-		
15	Cambio de filtro de aire secundario al motor	3551815C1	2250	27/02/2019	10238	1898	-		
16	Cambio y manto de filtro elemento secador de aire	ZZ107796	2700	29/09/2018	9258	2878	REALIZAR		

Acilte Reparación

MOTOR (Hrs) 441 12135

EMBRAGUE

### 3.4.2. Instrumentos

Los instrumentos que se usaron son los registros de órdenes de trabajo, de mantenimiento, así como las facturas correspondientes, para luego procesarlas con nuestros indicadores y de esta manera medir la variable dependiente.

Los instrumentos que se utilizaron en la investigación fueron:

*Tabla 8 Instrumento de medición de la variable independiente*

<b>VI</b>	<b>LEAN MAINTENANCE</b> D1 * D2	<b>INSTRUMENTO</b> PORCENTUAL (%)
<b>D1: VI</b>	<b>Gestión del Mantenimiento Planeado</b>	<u>TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS.</u> T.M.E.F. + T.M.E..R
<b>D2: VI</b>	<b>Análisis del Modo y Efecto de Fallas</b>	<u>TIEMPOIMPRODUCTIVOXFALLACRITICA</u> TIEMPOIMPRODUCXFALLA.

*Tabla 9 Instrumento de medición de la variable dependiente*

<b>VD.</b>	<b>COSTOS DE MANTENIMIENTO</b> D1 + D2	<b>INSTRUMENTO</b> RAZÓN (Soles)
<b>D1:VD</b>	<b>Costos Mantenimiento Preventivo</b>	<u>C. TOTAL MANT. PREV.</u> HORAS TRABAJADAS
<b>D2:VD</b>	<b>Costos Mantenimiento Correctivo</b>	<u>C. TOTAL MANT. CORRECTIVO</u> HORAS TRABAJADAS

### 3.4.3. Validación y Confiabilidad del instrumento

#### Validez de Criterio

Así mismo se realizó la validez de constructo mediante el estadístico de prueba Pearson donde nos muestra que existe correlación positiva de las dimensiones con la variable dependiente, los resultados se muestran en el capítulo de análisis estadístico. (Anexo 07)

#### Confiabilidad.

El grado de confiabilidad requerido y cumplido fue de 95%, se demostró en pre prueba y post prueba los resultados, quedando así en evidencia la contratación de nuestras hipótesis.

Las dimensiones y la variable dependiente muestran un análisis de fiabilidad aceptable según el Alfa de Cronbach (anexo 07)

### **3.5. Procedimientos**

Luego de haber revisado y descrito las bases teóricas, se procedió a realizar la ejecución de los procedimientos en función de las variables independiente (Lean Maintenance) y dependiente (Costos totales de mantenimiento), para lo cual se recolecto y tabulo los datos de los Costos de Mantenimiento preventivo y Correctivo (Dimensiones de la variable dependiente), así como las horas de funcionamiento de cada unidad, determinando los costos promedios por hora, todo esto según los instrumentos de medición propuestos y validados.

Nuestra investigación fue de diseño experimental (pre experimental), tipo y nivel descriptivo, con enfoque cuantitativo, y plantea la hipótesis que la implementación de Lean Maintenance (Variable independiente) reduce los Costos totales de mantenimiento (Variable dependiente), por ende, se manipula (Implementa) la variable independiente y se mide la variable dependiente antes y después de la implementación de Lean Maintenance.

A continuación, se describe el detalle del procedimiento de manipulación de la Variable independiente (Lean Maintenance) y la medición de la Variable dependiente (Costos totales de mantenimiento), determinando la diferencia del Pre test y pos test, mediante la comparación de medias

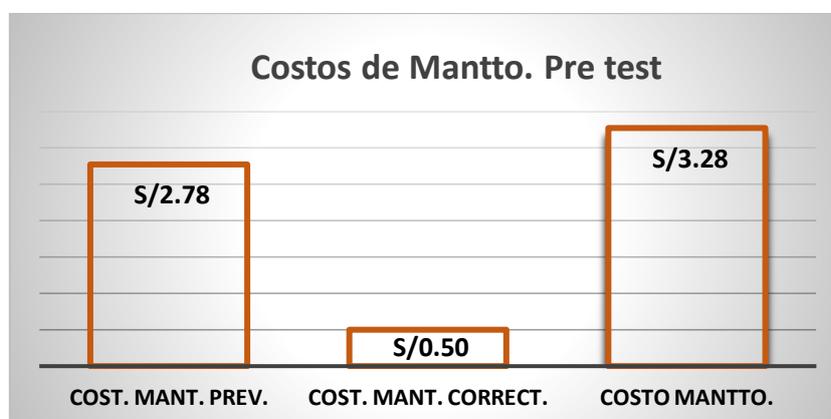
#### **3.5.1. Situación de los Costos totales de mantenimiento – Pretest**

Para determinar los costos totales de mantenimiento antes (Pretest), de la implementación del Lean Maintenance, se recopiló la información de los costos de mantenimiento preventivo, correctivo y las horas de funcionamiento de las 41 unidades, durante los meses de diciembre 2019 a febrero 2020, luego después del análisis de datos obtuvimos la siguiente información:

Tabla 10 Costos de Mantenimiento - PreTest

<b>Costo Total Mantenimiento</b> 41 Unidades - (Dic. 19 - Feb. '20)		<b>S/</b>		<b>84,746.59</b>			
	<b>Horas Trab.</b>	<b>Cost. M. Prev.</b>		<b>Cost. M. Corr.</b>		<b>Costo Total Mantto.</b>	
<b>Promedio</b>	<b>631</b>	<b>S/ 2.775</b>	<b>S/ 0.501</b>			<b>S/ 3.277</b>	
<b>Desv. STD</b>	8.07	S/ 0.035	S/ 0.303			S/ 0.303	
<b>CV</b>	1.28%	1.3%	60.4%			9.2%	
<b>Varianza</b>	65.095	0.001	0.092			0.092	

Figura 3 Situación de los Costos de Mantenimiento - Antes



De los cuadros mostrados podemos observar que los costos del pre test del mantenimiento preventivo fue S/.2.78 y correctivo S/.0.50, haciendo un costo total de mantenimiento (por hora) de S/. 3.28 soles.

### 3.5.2. Manipulación y control de Variables

Nuestra investigación planteo la reducción de Costos totales de Mantenimiento (Variable dependiente), la cual fue dimensionada por Costos de Mantenimiento correctivo y costos de mantenimiento preventivo.

Para reducir estos costos, se realizó el análisis causal, visto en el capítulo I, y en función de las causas raíces se tomó la decisión de aplicar el Lean Maintenance

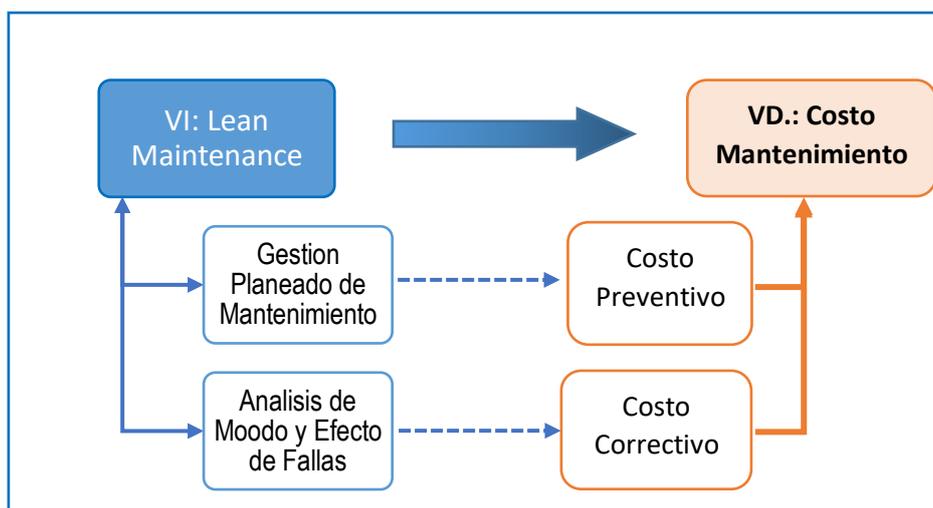
(Variable independiente), la cual fue dimensionada por Gestión del Mantenimiento Planeado y Análisis del Modo y Efecto de Fallas.

Luego se registraron, tabularon y analizaron los datos de los costos de mantenimiento antes de la aplicación de Lean Maintenance, y de igual forma para el después de la aplicación.

Finalmente se realizó el análisis comparativo de las diferencias de las medias de los costos de mantenimiento del antes de la aplicación con el después, utilizando la estadística descriptiva e inferencial, para concluir si la aplicación del Lean Maintenance reduce los costos de mantenimiento.

### 3.5.2.1. Esquema de Mejora

Figura 4 Interacción entre Variables. Independiente y dependiente



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2.2. Interacción de la Gestión del mantenimiento Planeado (D1: VI) y los Costos preventivos (D1: VD.)

De acuerdo a las bases teóricas, la Gestión del mantenimiento Planeado, se basó en la implementación de indicadores que permitieron la medición y el control del Tiempo Medio Entre Fallas y el tiempo medio entre reparaciones, es decir realizar gestión de la mantenibilidad. Así mismo esta metodología nos permitió identificar y/o determinar las horas trabajadas, total de fallas y el tiempo improductivo por cada unidad.

Con el uso de información histórica (Ver Anexo 9 Tabulación de datos de Lean Maintenance Antes), se pudo determinar la Gestión del mantenimiento planeado (mantenibilidad) en el Pretest y post test (antes y después de la aplicación de lean maintenance).

Tabla 11 Pre Test y Pos test Gestión de Mantenimiento Planeado

<b>PRE: PROMEDIOS DE DATOS ANALIZADOS (41 UNIDADES) – Dic. 19 – Feb. 20.</b>					
Horas Trabajadas	T. Fallas	Tot. Tiempo (H) Improductivo	T. Medio Entre Fallas MTBF (H)	T. Medio Entre Reparac. MTTR (H)	Tiempo Impr. Promedio
631	8.05	13.82	62.47	1.66	1.66
<b>TOTALES</b>					
25,864	330.00	566.5	----	----	----

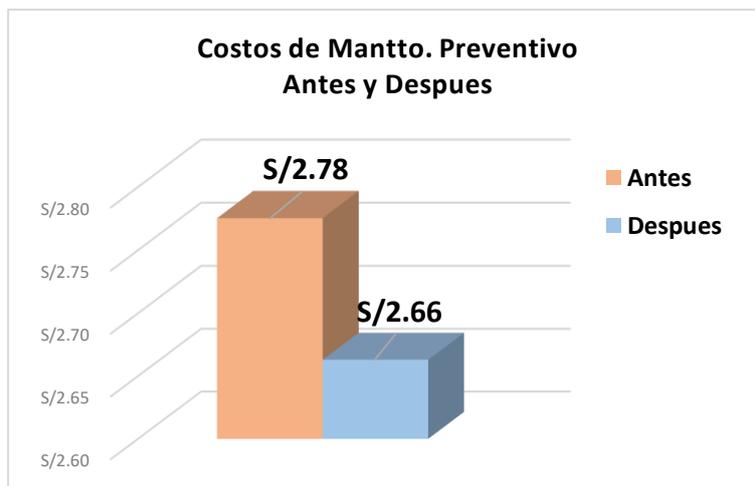
<b>POS: PROMEDIOS DE DATOS ANALIZADOS (41 UNIDADES) – Abr. – Jun 20.</b>					
Horas Trabajadas	T. Fallas	Tot. Tiempo (H) Improductivo	T. Medio Entre Fallas MTBF (H)	T. Medio Entre Reparac. MTTR (H)	Tiempo Impr. Promedio
639	3.12	3.23	214.91	1.04	1.04
<b>TOTALES</b>					
26,215	128.00	132.5	----	----	----

Del cuadro anterior debemos resaltar que, en el pre test sucedieron en total 330 fallas y el tiempo total improductivo fue de 566.5 horas. De manera comparativa podemos observar que en el pos test las fallas bajaron a 128 y el tiempo improductivo total bajo a 132.5 horas. Esta mejora de la gestión de mantenimiento planeado (mantenibilidad), tuvo un impacto positivo sobre los costos de mantenimiento preventivo (dimensión 1 – VD), puesto que, al tabular la información, se obtuvo los siguientes costos preventivos promedios por hora:

Tabla 12 Pretest y Postes de Costos de Mantto. Preventivo

41 unidades	Antes	Después
<b>Costo Mantto. Preventivo (€/h)</b>	<b>S/ 2.78</b>	<b>S/ 2.66</b>
Costo Total M. Prev.	S/ 71,772.14	S/ 71,772.14
Horas Trabajadas	25,877	26,956

Figura 5 Antes y Después de Costos de Mantto. Preventivo



FUENTE: SPSS

Podemos observar que existe una diferencia (reducción) entre los costos de mantenimiento preventivo antes S/. 2.78 y después S/. 2.66.

### 3.5.2.3. Interacción del Análisis del modo de efectos y fallas (D2: VI) y los Cotos correctivos (D2: VD.)

De la misma forma, y de acuerdo a las bases teóricas, el Análisis del modo de efecto y fallas, se basó justamente en el análisis de criticidad, que con el soporte de una tabla de pesos (Frecuencia de falla, Impacto operacional, Flexibilidad operacional, Costos de Mantto e Impacto SOMA), se determinó la consecuencia total de los tipos de fallas presentados.

Esta metodología nos permitió establecer, en función de su consecuencia total, las fallas no críticas, semi críticas y críticas. Así mismo preparar procedimientos (Ver Anexos del 12 al 15), específicos para las fallas críticas que son: Motor, Sist. de Lubricación, Sist. Refrigeración, Sist. Transmisión, Sist. Suspensión, Sist. Frenos, Sist. Dirección, Sist. Eléctrico, Sist. Combustible, Sist. Neumático, Accesorios y Llantas, con el objetivo de reducir los tiempos improductivos generados por este tipo de fallas.

Con el uso de información histórica (Ver Anexo 13 y 14), se pudo determinar el Análisis del modo de efectos y fallas, incluso del Pretest.

Tabla 13 Análisis del Modo de efecto y Fallas Antes y Después

T.IMP. X FALLAS Horas	T.I. X FALLA CRITICA (h)	ANÁLISIS DEL MODO EFECTO Y FALLAS
--------------------------	-----------------------------	--------------------------------------

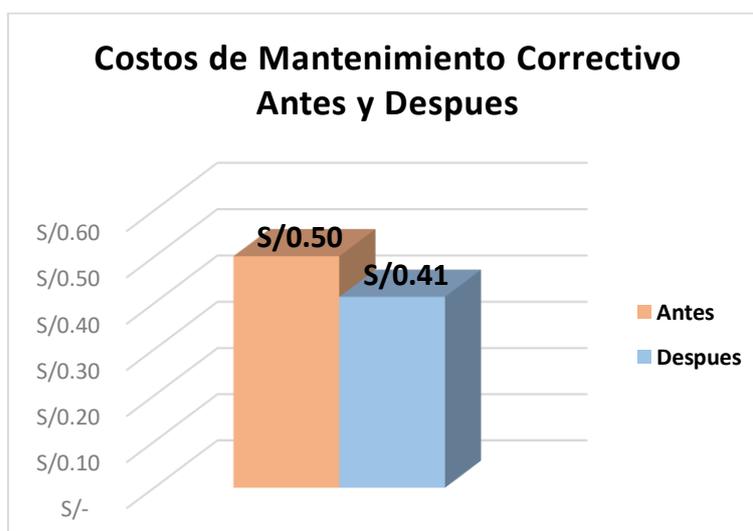
PRE	566.5	263.477	<b>53.07%</b>
POS	132.45	25.09	<b>82.15%</b>

En el cuadro anterior se observa que, en el pre test el tiempo improductivo por todas las fallas fue de 566.5 horas y el tiempo improductivo por fallas críticas fue de 263.477 horas. De manera comparativa podemos observar que en el pos test el tiempo improductivo por todas las fallas fue de 132.45 horas y el tiempo improductivo por fallas críticas fue de 25.09 horas. Esta mejora del análisis modal de efectos y fallas, tuvo un impacto positivo sobre los costos de mantenimiento correctivo (dimensión 2 – VD.), puesto que al tabular la información (Ver Anexos 8 y 9), se obtuvo los siguientes costos correctivos promedios por hora:

*Tabla 14 Análisis del Costo de Mantenimiento. Correctivo Antes y Después*

<b>41 Unidades</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>
<b>Costo Mantto. Correctivo (<math>\bar{X}/h</math>)</b>	<b>S/ 0.50</b>	<b>S/ 0.41</b>
Costo Total M. Correctivo	S/. 12,969	S/. 11,145
Horas Trabajadas	25,877	26,956

*Figura 6 Costos de Mantto. Correctivo Pre y Post*



De la información presentada, podemos observar que existe una diferencia (reducción) entre los costos de mantenimiento correctivo antes S/. 0.50 y después S/. 0.40. Ver tabulación completa de datos en los anexos 8 y 9.

### 3.5.3. Situación de los Costos totales de mantenimiento – Pos test

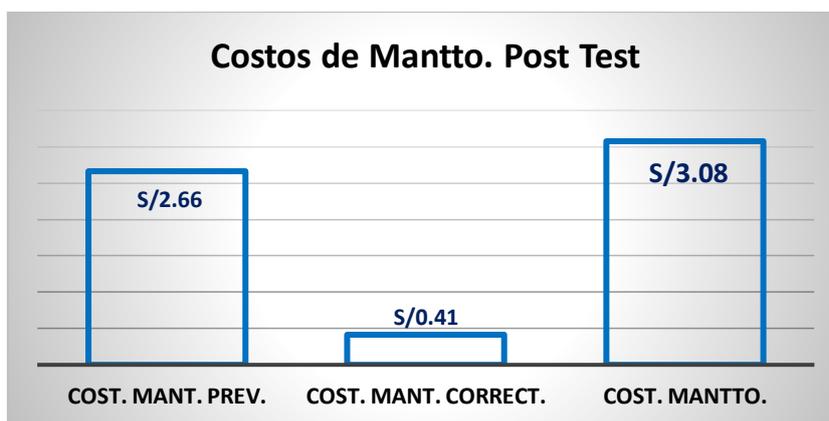
Con la información obtenida de la manipulación y control de las variables presentadas en el numeral anterior, podemos determinar la situación de los costos totales de mantenimiento después de la implementación del Lean Maintenance.

Con la recopilación y análisis de la información de los costos de mantenimiento preventivo, correctivo y las horas de funcionamiento de las 41 unidades, durante los meses de abril, mayo y junio 2020 (Ver tabulación completa los anexos 8 y 9), obtuvimos la siguiente información:

Tabla 15 Costos Totales de Mantenimiento Después

<b>Costo Total Mantenimiento</b> 41 Unidades - (Abril, mayo y junio 2020)				<b>S/. 82,917.14</b>
	<b>Horas Trab.</b>	<b>Cost. M. Prev.</b>	<b>Cost. M. Corr.</b>	<b>Costo Total Mantto.</b>
<b>Promedio</b>	<b>657.46</b>	<b>S/2.663</b>	<b>S/0.414</b>	<b>S/3.07</b>
<b>Desv. STD</b>	8.76	S/0.036	S/0.274	S/0.278
<b>CV</b>	1.33%	1.3%	66.2%	9.0%
<b>Varianza</b>	76.755	0.001	0.075	0.077

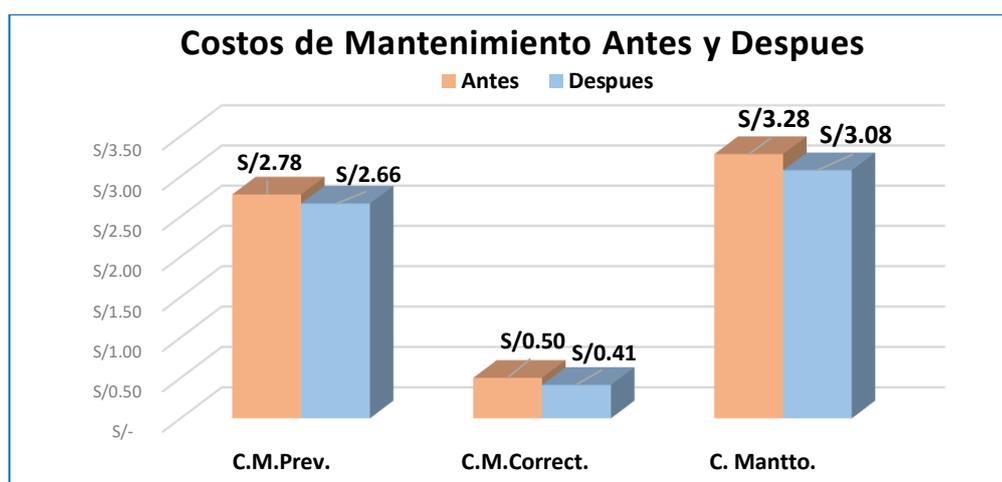
Figura 7 Costos Totales de Mantenimiento Después



Podemos observar que, en el pos test, el costo de mantenimiento preventivo fue S/.2.66 y correctivo S/.0.41, haciendo un costo total de mantenimiento (por hora) de S/. 3.08 soles.

**Comparativo Pretest vs postes, de los Costos de Mantenimiento preventivo, correctivo y totales:**

Figura 8 Costos Totales de Mantenimiento Antes y Después



Podemos concluir que los costos de mantenimiento preventivos, correctivos y en consecuencia los costos totales de mantenimiento presentan una diferencia (reducción), después de la implementación del Lean Maintenance.

Finalmente, para determinar si estas diferencias son significativas se debe realizar la contratación de las hipótesis, mediante el uso de la estadística inferencial.

### 3.6. Métodos de Análisis de Datos

Para la recolección, procesamiento y análisis de los datos se utilizaron:

#### 3.6.1. Método de recolección y análisis de datos

De acuerdo al enfoque de nuestra investigación (cuantitativo), se utilizó el método de recolección de datos de tipo y fuentes primarias, es decir se usaron los registros y facturas de la misma empresa, estos datos se tabularon para su análisis, en series cronológicas o temporales, es decir los datos se tabularon con un orden secuencial de valores tanto de la variable Lean Maintenance (Variable independiente), como los datos de Costos de Mantenimiento (Variable de estudio y/o dependiente). Este método conocido como tendencia a intervalos de tiempos iguales nos permitió hacer la comparación del Pretest y Pos Test de acuerdo al diseño de nuestra investigación pre experimental.

#### 3.6.2. Estadística descriptiva

La estadística descriptiva nos permitió realizar el procesamiento, análisis y caracterización de los datos de las variables, Lean Maintenance y los costos totales de mantenimiento. Mediante esta herramienta nos permitió determinar las medidas

de tendencia central tales como la media, mediana, su desviación estándar, varianza, error estándar entre otros.

### **3.6.3. Estadística Inferencial**

El análisis de esta investigación con enfoque cuantitativo se llevó a cabo con herramientas estadísticas, los cuales deben poder observarse o medirse en el mundo real y que se manifiestan o se presentan mediante números y todo procedimiento se realizan mediante procedimientos estadísticos. Baptista (2014).

Para la presente investigación los datos que se recolectaron y tabularon, de los registros de órdenes de mantenimiento, más facturas, más registros de seguimiento, fueron procesados por las fórmulas de las dimensiones y sus respectivos indicadores y de esta manera se realizaron las pruebas estadísticas respectivas, según el comportamiento de estos datos, con el objetivo de contrastar las hipótesis y a partir de los resultados hacer inferencia hacia la población a partir de la muestra.

Para el procesamiento y análisis de la estadística inferencial de las diversas contrastaciones de hipótesis (general y específicas) de la pre-prueba y post-prueba de los costos totales de mantenimiento (variable dependiente), utilizamos la herramienta informática SPSS.

### **3.7. Aspectos éticos**

La presente investigación esta direccionada por valores y principios éticos y morales, respetando los derechos de diversos autores.

#### **Credibilidad de los datos**

Se evidencia con documentos anexos que los datos recolectados son legítimamente proporcionados por la empresa, y autorizados para el procesamiento de los mismos.

#### **Confiabilidad de la información**

Así mismo, se evidencia que la información recolectada ha sido procesada sin alteraciones ni modificaciones, de manera tal que no altere los resultados, toda la información ha sido proporcionada por la empresa, y autorizados para el procesamiento de los mismos.

## **IV. RESULTADOS**

Para nuestra investigación de tipo descriptiva, con enfoque cuantitativo se planteó como hipótesis que la implementación de Lean Maintenance reduce los costos totales de mantenimiento de las unidades, y trazamos como objetivo demostrar de qué manera la implementación de Lean Maintenance optimiza estos costos totales de mantenimiento, para lo cual se procesó la información de la variable Costos de Mantenimiento (variable de estudio) con SPSS con el objetivo de realizar la contratación de las hipótesis planteadas.

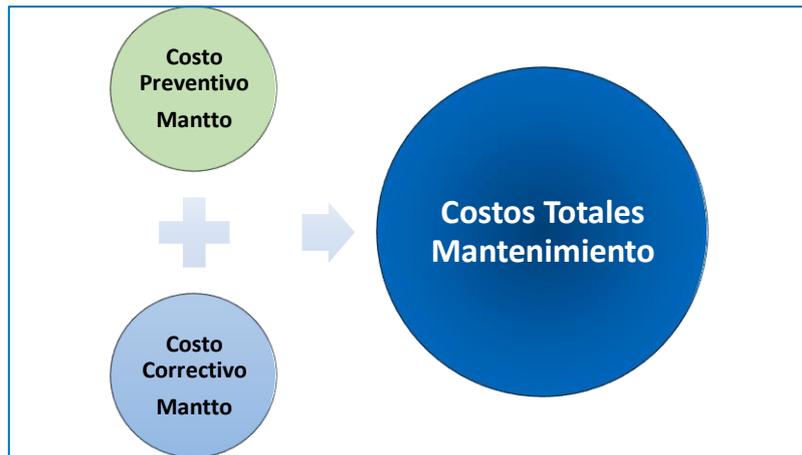
### **4.1. Análisis estadístico**

Para desarrollar el análisis de datos de nuestro trabajo de investigación se utilizó la estadística descriptiva para determinar las diferencias de las medidas de tendencia central de la variable dependiente antes y después.

Así mismo para determinar si estas diferencias de medidas de tendencia central son significativas se utilizó la estadística inferencial mediante el uso de la herramienta informática SPSS, teniendo en cuenta la aleatoriedad de las observaciones. Con la información obtenida se hace inferencias a partir de los resultados de los estadísticos de prueba contrastando tanto la hipótesis general como las hipótesis específicas.

### **Descriptivos de la Variable de estudio: Costos de mantenimiento**

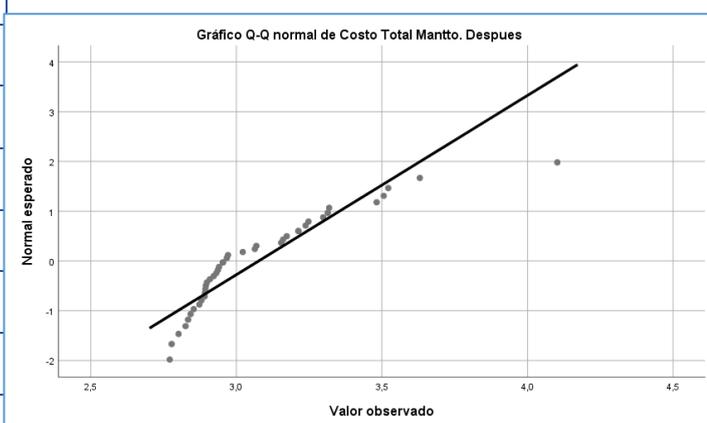
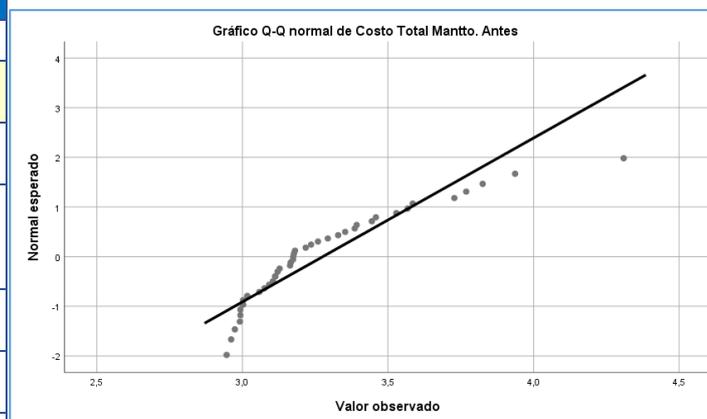
*Figura 9 Costos De Mantenimiento*



## Descriptivos de los Costos Totales de Mantenimiento

Tabla 16 Descriptivos de los costos totales de mantenimiento

Descriptivos Costos totales Mantenimiento		
Medidas	Antes	Después
<b>Media</b>	S/3.2766.	S/3.0766.
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	S/3.1810. S/2.9890.
	Límite superior	S/3.3723. S/3.1643.
Media recortada al 5%	S/3.2479.	S/3.050.
<b>Mediana</b>	S/3.1747.	S/2.9536.
Varianza	0.092	0.077
Desv. Desviación	S/.3030.	S/.2777.
Mínimo	S/2.9457.	S/2.7712.
Máximo	S/4.3097.	S/4.1024.
Rango	S/1.3639.	S/1.3312.
Rango intercuartil	S/.3517.	S/.3339.
Asimetría	1.488	1.643
Curtosis	2.335	3.410



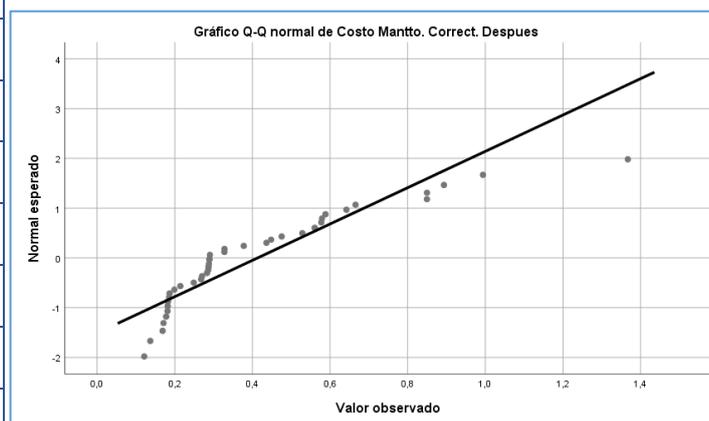
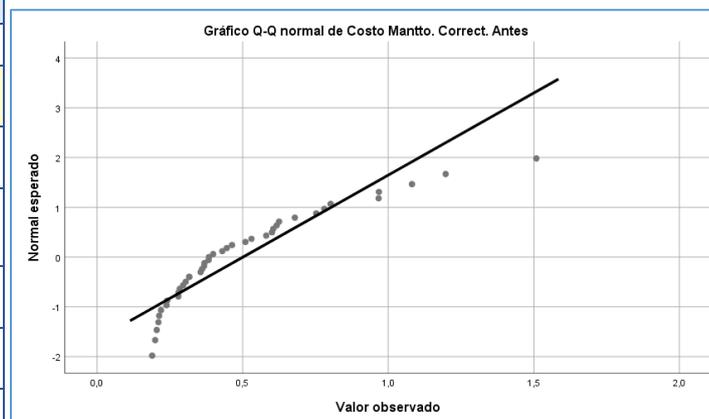
Podemos observar que las medias de los costos totales de mantenimiento antes están en S/. 3.27 y después están en S/. 307, existiendo una diferencia (reducción) favorable para la empresa.

Así mismo al analizar los gráficos Q-Q normal, podemos observar el comportamiento no normal de los datos.

## Descriptivos para los Costos preventivos de Mantenimiento

Tabla 17 Descriptivos de los Costos de Mantto. Correctivo.

Descriptivos Costos Mantenimiento Correctivo		
Medidas	Antes	Después
<b>Media</b>	S/.5012.	S/.4136.
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	S/.4056.
	Límite superior	S/.5968.
Media recortada al 5%	S/.4713.	S/.3871.
<b>Mediana</b>	S/.3840.	S/.2892.
Varianza	0.092	0.075
Dev. Desviación	S/.3030.	S/.2740.
Mínimo	S/.1890.	S/.1214.
Máximo	S/1.5088.	S/1.3672.
Rango	S/1.3198.	S/1.2458.
Rango intercuartil	S/.3393.	S/.3762.
Asimetría	1.481	1.530
Curtosis	2.151	2.539



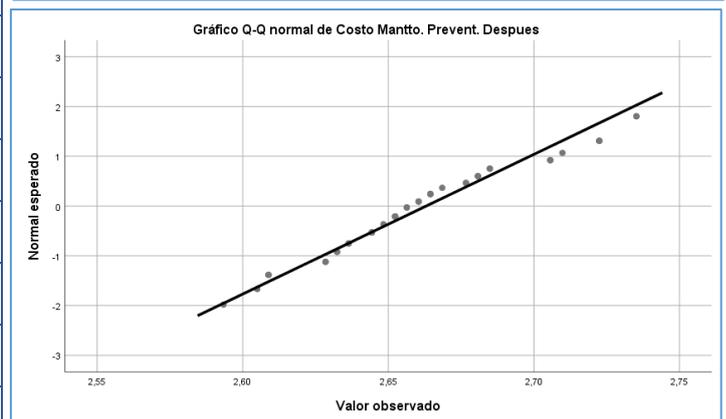
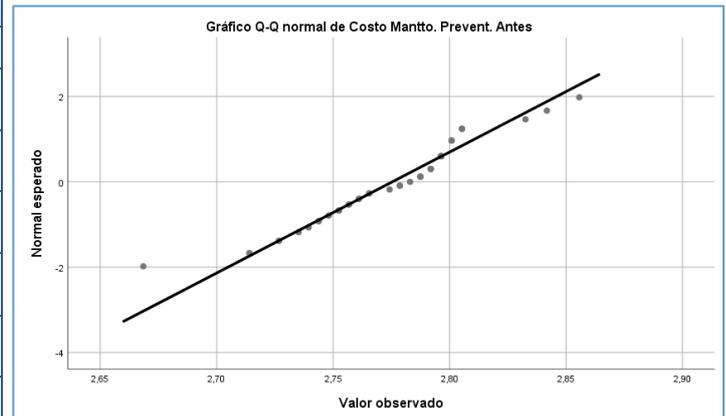
Podemos observar que las medias de los costos de mantenimiento correctivo antes están en S/. 0.50 y después están en S/. 0.41, existiendo una diferencia (reducción) favorable para la empresa.

Así mismo al analizar los gráficos Q-Q normal, podemos observar el comportamiento no normal de los datos.

## Descriptivos para los Costos Correctivos de Preventivo

Tabla 18 Descriptivos de los Costos de Mantto. Preventivo

Descriptivos Mantenimiento Preventivo		
Medidas	Antes	Después
<b>Media</b>	S/2.7754.	S/2.6630.
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	S/2.7643.
	Límite superior	S/2.7866.
Media recortada al 5%	S/2.7760.	S/2.6626.
<b>Mediana</b>	S/2.7831.	S/2.6564.
Varianza	0.001	0.001
Desv. Desviación	S/.0353.	S/.0356.
Mínimo	S/2.6685.	S/2.5934.
Máximo	S/2.8557.	S/2.7352.
Rango	S/.1872.	S/.1418.
Rango intercuartil	S/.0440.	S/.0425.
Asimetría	-0.450	0.355
Curtosis	1.257	-0.317



Podemos observar que las medias de los costos de mantenimiento Preventivo antes están en S/. 2.77 y después están en S/. 2.66, existiendo una diferencia (reducción) favorable para la empresa.

Así mismo al analizar los gráficos Q - Q podemos observar el comportamiento normal de los datos.

#### 4.1.1. Análisis de correlación Pearson (Validez de Constructo)

Antes de realizar la contratación de las hipótesis realizamos por buena práctica un análisis de correlación como para ver la validez del constructo (Instrumento de medición) de la variable dependiente. Es preciso mencionar que el constructo también fue sometido a validez por juicio de expertos.

Tabla 19 Prueba de Correlación de Pearson - Indicadores V. Dependiente

Correlaciones							
		Costo Total Mantto. Antes	Costo Mantto. Prevent. Antes	Costo Mantto. Correct. Antes	Costo Total Mantto. Después	Costo Mantto. Prevent. Después	Costo Mantto. Correct. Después
Costo Total Mantto. Antes	Correl. Pearson	1	,059	,993**	,966**	-,029	,983**
	Sig. (bilateral)		,716	,000	,000	,859	,000
	N	41	41	41	41	41	41
Costo Mantto. Prevent. Antes	Correl. Pearson	,059	1	-,058	-,074	-,114	-,060
	Sig. (bilateral)	,716		,720	,645	,480	,708
	N	41	41	41	41	41	41
Costo Mantto. Correct. Antes	Correl. Pearson	,993**	-,058	1	,975**	-,015	,990**
	Sig. (bilateral)	,000	,720		,000	,924	,000
	N	41	41	41	41	41	41
Costo Total Mantto. Después	Correl. Pearson	,966**	-,074	,975**	1	,167	,992**
	Sig. (bilateral)	,000	,645	,000		,296	,000
	N	41	41	41	41	41	41
Costo Mantto. Prevent. Después	Correl. Pearson	-,029	-,114	-,015	,167	1	,039
	Sig. (bilateral)	,859	,480	,924	,296		,806
	N	41	41	41	41	41	41
Costo Mantto. Correct. Después	Correl. Pearson	,983**	-,060	,990**	,992**	,039	1
	Sig. (bilateral)	,000	,708	,000	,000	,806	
	N	41	41	41	41	41	41

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Se observa en el cuadro de correlaciones que existe correlación positiva entre las dimensiones Costos de Mantenimiento Preventivo y Correctivo y la variable Costos totales de mantenimiento, por ende, podemos afirmar que el constructo mide (es válida) la variable dependiente.

#### 4.1.2. Análisis Inferencial de la hipótesis general

HG: La implementación del Lean Maintenance optimiza los costos de mantenimiento de las unidades, en una empresa de transporte de carga pesada.

#### Prueba de hipótesis general

Se trata de 41 datos, se realizó la prueba de normalidad mediante el estadígrafo Kolmogorov Smirnov y tomamos en cuenta la regla de decisión:

Tabla 20 Pruebas de Normalidad – Costos de Mantenimiento (Total) Antes y Después

		Costo Total Mantto. Antes	Costo Total Mantto. Después
N		41	41
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	S/.3.276623	S/.3.076619
	Desv. Desviación	S/..3029827	S/..2776582
Máximas diferencias extremas	Absoluto	,185	,209
	Positivo	,185	,209
	Negativo	-,137	-,136
Estadístico de prueba		,185	,209
Sig. asintótica(bilateral)		,001 <sup>c</sup>	,000 <sup>c</sup>
a. La distribución de prueba es normal. b. Se calcula a partir de datos. c. Corrección de significación de Lilliefors. d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.			

#### Interpretación:

Si  $p\text{-valor} \leq 0,05$ : datos de la serie tienen un comportamiento **no paramétrico**

Si  $p\text{-valor} > 0,05$ : datos de la serie tienen un comportamiento **paramétrico**

#### Contrastación de la hipótesis general:

Los datos de Costos de Mantenimiento son no paramétricos, se utilizó el estadístico de prueba de Wilcoxon y se aplicó una prueba no paramétrica a las respectivas muestras, puesto que se trata de un diseño pre experimental.

Se planteó las respectivas hipótesis para los resultados de la hipótesis general:

- (Ho): El Lean Maintenance no optimiza los Costos de Mantenimiento de unidades en una empresa de carga pesada.
- (Ha): El Lean Maintenance optimiza los Costos de Mantenimiento de unidades en una empresa de carga pesada.

Luego en función de las medias de los costos de mantenimiento antes y después, se planteó las hipótesis estadísticas:

$$H_0: \mu_{\text{CostosMantto\_Despues}} \leq \mu_{\text{CostosMantto\_Antes}}$$

$$H_a: \mu_{\text{CostosMantto\_Despues}} > \mu_{\text{CostosMantto\_Antes}}$$

Donde:

$\mu_{\text{CostosMantto\_Despues}}$ : costo de mantenimiento después de implementar Lean Maintenance.

$\mu_{\text{CostosMantto\_Antes}}$  Costo de mantenimiento antes de implementar Lean Maintenance.

Tabla 21 Estadístico de Prueba Wilcoxon - Para muestra relacionada

Rangos de Wilcoxon				
		N	Rango promedio	Suma de rangos
Costo Total Mantto. Después - Costo Total Mantto. Antes	Rangos negativos	40 <sup>a</sup>	21,50	860,00
	Rangos positivos	1 <sup>b</sup>	1,00	1,00
	Empates	0 <sup>c</sup>		
	Total	41		

a. Costo Total Mantto. Después < Costo Total Mantto. Antes  
b. Costo Total Mantto. Después > Costo Total Mantto. Antes  
c. Costo Total Mantto. Después = Costo Total Mantto. Antes

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	
	Costo Total Mantto. Después - Costo Total Mantto. Antes
Z	-5,566 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	,000

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon  
b. Se basa en rangos positivos.

### Interpretación:

Si  $p\text{-valor} \leq 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula y acepta la hipótesis alterna.

Si  $p\text{-valor} > 0.05$ , se acepta la hipótesis nula.

### Se concluye que:

La implementación del Lean Maintenance optimiza los costos de mantenimiento de las unidades, en una empresa de transporte de carga pesada, existiendo una diferencia significativa de los costos de mantenimiento antes (S/.3.276) y los costos de mantenimiento después (S/.3.076), siendo esta diferencia de S/. 0.20 soles menos representando una mejora del 6.1%.

### 4.1.3. Análisis Inferencial de las hipótesis específicas

#### Hipótesis Específica 1

H<sub>1</sub>: La Gestión del Mantenimiento Planeado, herramienta del Lean Maintenance, reduce los costos promedios de mantenimiento preventivo de las unidades en una empresa de transportes de carga pesada.

Tabla 22 Prueba de Kolmogorov - Cumplimiento de Especificaciones Antes y Después

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra			
		Costo Mantto. Prevent. Antes	Costo Mantto. Prevent. Después
N		41	41
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	S/.2.775422	S/.2.663030
	Desv. Desviación	S/..0352805	S/..0356329
Máximas diferencias extremas	Absoluto	,125	,118
	Positivo	,125	,118
	Negativo	-,122	-,079
Estadístico de prueba		,125	,118
Sig. asintótica(bilateral)		,108 <sup>c</sup>	,160 <sup>c</sup>
a. La distribución de prueba es normal. b. Se calcula a partir de datos. c. Corrección de significación de Lilliefors.			

Si  $\rho$ -valor  $\leq 0,05$ : datos de la serie tienen un comportamiento no paramétrico

Si  $\rho$ -valor  $> 0,05$ : datos de la serie tienen un comportamiento paramétrico

#### **Contrastación de la hipótesis específica 1:**

Se utilizó el estadístico de prueba T-Student.

Para el análisis de la prueba de hipótesis específica 1 se plantea la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y alterna (H<sub>a</sub>):

- (H<sub>0</sub>): La Gestión del Mantenimiento Planeado, herramienta del Lean Maintenance, **no reduce** los costos promedios de mantenimiento preventivo de las unidades en una empresa de transportes de carga pesada
- (H<sub>a</sub>): La Gestión del Mantenimiento Planeado, herramienta del Lean Maintenance, **reduce** los costos promedios de mantenimiento preventivo de las unidades en una empresa de transportes de carga pesada

Así mismo, tomando en cuenta los costos promedios de mantenimiento preventivo antes y después se plantean las hipótesis estadísticas:

$$H_0: \mu_{\text{Costo\_M.PhDsps}} \leq \mu_{\text{Costo\_M.PhAnts}}$$

$$H_a: \mu_{\text{Costo\_M.PhDsps}} > \mu_{\text{Costo\_M.PhAnts}}$$

Donde:

$\mu_{\text{Costo\_M.PhAnts}}$  = Media de los Costos de mantenimiento preventivo Antes de aplicar la herramienta de Lean Maintenance, Gestión del mantenimiento planeado.

$\mu_{\text{Costo\_M.PhDsps}}$  = Media de los Costos de mantenimiento preventivo Después de aplicar la herramienta de Lean Maintenance, Gestión del mantenimiento planeado.

Tabla 23 T-Student - Cumplimiento Especificaciones Antes y Después

Estadísticas de muestras relacionada					
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Costo Mantto. Prevent. Antes	S/.2.775422	41	S/..0352805	S/..0055099
	Costo Mantto. Prevent. Después	S/.2.663030	41	S/..0356329	S/..0055649

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Costo Mantto. Prevent. Antes - Costo Mantto. Prevent. Después	,1124	,0529	,0083	,0957	,1291	13,601	40	,000

### Interpretación:

Si  $p\text{-valor} \leq 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula y acepta la hipótesis alterna.

Si  $p\text{-valor} > 0.05$ , se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alterna.

### Se concluye que:

La aplicación de la gestión de mantenimiento planeado (herramienta de Lean Maintenance), reduce los costos de mantenimiento preventivo de las unidades, en una empresa de transporte de carga pesada, existiendo una diferencia significativa de los costos de mantenimiento preventivo antes (S/.2.775) y los

costos de mantenimiento preventivo después (S/.2.663). Esto representa una reducción 4.04% favorable a la empresa.

## **Contrastación de la Hipótesis Específica 2**

H<sub>2</sub>: El Análisis y Modo de Efecto de Fallas, metodología del Lean Maintenance minimiza los costos promedios de mantenimiento correctivo de las unidades en una empresa de transportes de carga pesada.

Tabla 24 Prueba de normalidad - Cumplimiento de Especificaciones Antes y Después

<b>Prueba de Kolmogorov-Smirnov</b>		Costo Mantto. Correct. Antes	Costo Mantto. Correct. Después
N		41	41
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	S/.0,501	S/.0,414
	Desv. Desviación	,303	,274
Máximas diferencias extremas	Absoluto	,169	,210
	Positivo	,169	,210
	Negativo	-,151	-,143
Estadístico de prueba		,169	,210
Sig. asintótica(bilateral)		,005 <sup>c</sup>	,000 <sup>c</sup>
<small>a. La distribución de prueba es normal.  b. Se calcula a partir de datos.  c. Corrección de significación de Lilliefors.</small>			

Si  $\rho\text{-valor} \leq 0,05$ : datos de la serie tienen un comportamiento no paramétrico

Si  $\rho\text{-valor} > 0,05$ : datos de la serie tienen un comportamiento paramétrico

## **Contrastación de la hipótesis específica 2**

Se utilizó el estadístico de prueba Wilcoxon.

Para el análisis de la prueba de hipótesis específica 2 se plantea la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y alterna (H<sub>a</sub>):

- (H<sub>0</sub>): El Análisis y Modo de Efecto de Fallas, metodología del Lean Maintenance **no minimiza** los costos promedios de mantenimiento correctivo de las unidades en una empresa de transportes de carga pesada
- (H<sub>a</sub>): El Análisis y Modo de Efecto de Fallas, metodología del Lean Maintenance **minimiza** los costos promedios de mantenimiento correctivo de las unidades en una empresa de transportes de carga pesada

Así mismo, tomando en cuenta los costos promedios de mantenimiento preventivo antes y después se plantean las hipótesis estadísticas:

$$H_0: \mu_{\text{Costo\_M.ChDsps}} \leq \mu_{\text{Costo\_M.ChAnts}}$$

$$H_a: \mu_{\text{Costo\_M.ChDsps}} < \mu_{\text{Costo\_M.ChAnts}}$$

Donde:

$\mu_{\text{Costo\_M.ChAnts}}$  = Media de los Costos de mantenimiento correctivo **antes** de aplicar la herramienta de Lean Maintenance, Análisis y Modo de Efecto de Fallas.

$\mu_{\text{Costo\_M.ChDsps}}$  = Media de los Costos de mantenimiento preventivo **después** de aplicar la herramienta de Lean Maintenance, Análisis y Modo de Efecto de Fallas.

Tabla 25 T-Student - Cumplimiento Especificaciones Antes y Después

Rangos de Wilcoxon				
		N	Rango promedio	Suma de rangos
Costo Mantto. Correct. Después - Costo Mantto. Correct. Antes	Rangos negativos	41 <sup>a</sup>	21,00	861,00
	Rangos positivos	0 <sup>b</sup>	,00	,00
	Empates	0 <sup>c</sup>		
	Total	41		

a. Costo Mantto. Correct. Después < Costo Mantto. Correct. Antes  
b. Costo Mantto. Correct. Después > Costo Mantto. Correct. Antes  
c. Costo Mantto. Correct. Después = Costo Mantto. Correct. Antes

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	
	Costo Mantto. Correct. Después - Costo Mantto. Correct. Antes
Z	-5,579 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	,000

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon  
b. Se basa en rangos positivos.

**Interpretación:**

Si  $p\text{-valor} \leq 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula y acepta la hipótesis alterna.

Si  $p\text{-valor} > 0.05$ , se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alterna.

### **Se concluye que:**

La aplicación del Análisis del modo de efecto de fallas (metodología de Lean Maintenance), minimiza los costos de mantenimiento correctivo de las unidades, en una empresa de transporte de carga pesada, dado que existe una diferencia significativa de los costos de mantenimiento preventivo antes (S/. 0,501) y los costos de mantenimiento correctivo después (S/.0, 414).Esto representa una minimización del 17.4% esto es favorable para la empresa

## **V. DISCUSIÓN**

En nuestra investigación de título “La Aplicación de Lean Maintenance reduce los costos totales de mantenimiento de unidades en una empresa de carga pesada. Podemos observar que antes del uso de las herramientas de Lean Maintenance estaban en casi S/. 84,746, y esto medido en una fracción de 03 meses, es decir si proyectamos a un año sería S/. 338,984 soles, por las 41 unidades. Si los comparamos con los costos después de la aplicación que son S/. 82,933 igualmente si los proyectamos a 1 año sería S/. 331,733 soles, habría una reducción de casi S/.7, 252 soles por año, siendo esta diferencia significativa según los estadísticos de prueba, y favorables para la empresa. Esta mejora representa un 2.14% de reducción de los costos totales después de la implementación.

Estos resultados coinciden con la investigación realizada por Arce Rodríguez, (2017). Logró demostrar que la aplicación de la manufactura esbelta incrementa la (utilidad) total en la empresa donde aplico la metodología y de acuerdo a los datos obtenidos en la empresa (ratios de productividad), los cuales al ser medidos resulto que tuvo una mejora del 36% mientras que los incrementos de las productividades parciales obtenidas fueron, en recursos humanos 206%, capital 173%, materia prima 2% y energía 81%, comprobando que las herramientas lean mejoran la rentabilidad.

Cuando analizamos los costos totales de mantenimiento, en función de sus dimensiones, costo de mantenimiento de preventivo y correctivo, en antes y después de la aplicación de herramientas Lean, vemos que presentan diferencias favorables (reducción) en ambos casos. Específicamente en Mantenimiento preventivo antes era S/. 2.77 y después fue de S/. 2.66 soles,

esto representa una mejora (reducción) de estos costos en un 4%. Así mismo los costos de mantenimiento correctivo antes eran S/. 0.50 y después fue de S/. 0.41 soles, representando una mejora (reducción) del 18%. En ambos casos favorables para la empresa, pudiendo recuperar los costos que se invirtieron en la investigación.

Esto acorde a la investigación de Castro, Jesús (2016). Que en su investigación desarrolla la implementación de la metodología Lean Manufacturing para mejorar el proceso productivo de la línea de envasado PET de la empresa AJEPER S.A. En su análisis financiero llega a conclusiones sobre la inversión que se necesita para la implementación de estas propuestas de mejoras y que son justificables, puesto que presentan un VAN positivo y una TIR por encima del 20% (rentabilidad mínima esperada por la empresa). Así mismo manifiesta que el tiempo de ciclo se redujo de 4 seg. a 3.6 seg., tomando la problemática identificada por la aplicación de la eficiencia global (OEE) por equipo, obteniendo un aumento del 9.99% en OEE de la línea 1 PET (paso de 63.1% a 73.09%). Este trabajo demuestra que la inversión que demanda la aplicación de las metodologías lean, son rentables y recuperables en el tiempo.

## VI. CONCLUSIONES

- ▶ La aplicación de Lean Maintenance (mantenimiento esbelto) optimiza los costos de mantenimiento de las unidades, en una empresa de transportes de carga pesada. SJL 2020, puesto que al realizar la comparación de su media de costos de mantenimiento por hora antes era de S/. 3.27 soles y después fue de S/. 3.07 soles, existiendo una diferencia de S/.0.20 soles menos, representando una mejora del 6.1% respecto del costo de mantenimiento antes.
- ▶ El uso de la herramienta de Lean Maintenance, Gestión del Mantenimiento Planeado, reduce el costo de mantenimiento preventivo de las unidades, en una empresa de transportes de carga pesada, en tanto que los costos de mantenimiento preventivo antes eran S/. 2.77 soles y después fue S/. 2.66 soles, existiendo una reducción de S/. 0.11 soles menos, representando una mejora del 3.97% respecto del costo de mantenimiento preventivo antes.
- ▶ El uso de la herramienta de Lean Maintenance, a través del Análisis y Modo de Efecto de Fallas, reduce el costo de mantenimiento correctivo de las unidades, en una empresa de transportes de carga pesada, en tanto que los costos de mantenimiento correctivo antes eran S/. 0.50 soles y después fue S/. 0.41 soles, existiendo una reducción de S/. 0.09 soles menos, representando una mejora del 18% respecto del costo de mantenimiento correctivo antes.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Dado que los costos totales de mantenimiento dependen de la cantidad y tipos de fallas, es decir dependiendo del sistema que falle si es crítico, semi crítico o no crítico, se recomienda mantener el monitoreo y análisis de las fallas tanto en cantidad como su tipo, realizar análisis causales por las fallas más frecuentes o las que más costo registren.

Igualmente, para el caso de los costos de mantenimiento preventivo se recomienda dar mayor jerarquía a la gestión del mantenimiento planeado, esto permitirá evaluar de manera constante la ampliación de la cantidad de horas promedio para realizar el mantenimiento preventivo.

Para el caso de los costos de mantenimiento correctivo, se recomienda controlar el registro de las frecuencias de fallas, es decir asegurarse de que estas fallas generen el menor tiempo improductivo, para asegurar la reducción a mediano y largo plazo.

## Referencias

- Seiichi Nakajima. 1988.** *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. USA : Productivity Pr; Edición: Eleventh Printing, 1988. 978-0915299232.
- A. Shahin, H. Shirouyehzad, E. Pourjavad. 2012.** *Optimum maintenance strategy: a case study in the mining industry*. USA : International Journal of Services and Operations Management, 2012.
- A.J.J. Braaksma , W. Klingenberg & J. Veldman. 2012.** *Failure mode and effect analysis in asset maintenance: a multiple case study in the process industry*. Enschede, Países Bajos : International Journal of Production Research, 2012. 0020-7543.
- ACOSTA H., GUSTAVO. 2014.** *Beneficios De Un Mantenimiento Lean Para Una Organización Y Contribución Del Ejército En Aviación*. Bogotá – Colombia : Universidad Militar Nueva Granada, 2014.
- Alvaro, C. . 2008.** *Mantenimiento Preventivo, la diferencia entre reaccionar y anteponerse a una falla*. Chile : Electroindustria., 2008.
- B,S, Blanchrad. 1997.** *An enhanced a*. USA : Journal of Quality in Maintenance Engineering, 1997.
- BALUCH, NAZIM. 2017.** *Evaluación del desempeño de la gestión de mantenimiento: medición de la efectividad general de los equipos en las plantas de beneficio de aceite de palma de Malasia*. MALASIA : Universiti Utara Malasia, 2017.
- Bannister Moreno, D., Castro Castro, A., Flores García, I.,. 2006.** *Mantenimiento Predictivo, la ventaja de anticiparse a las fallas*. Chile : Electroindustria, 2006.
- Barfield, J., Raiborn, C., & Kinney, M. 2011.** *Contabilidad de Costos Tradiciones e Innovaciones (Vol. 5)*. Mexico : International Thomson Editores, S.A. , 2011.
- Benítez Montalvo, R. I. . 2011.** *Influencia de los costos de Mantenimiento en la toma de decisiones*. Habana Cuba : Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, 2011.
- Botero G., C. 1991.** *Manual de mantenimiento*. Colombia : Grupo de Publicaciones SENA Digeneral., 1991.
- Cárdenas, R. 2016.** *Contabilidad de Costos 2. . México : ANFECA (5ª ed.), 2016.*
- CASTRO V. JESÚS. 2016.** *Propuesta De Implementación De La Metodología Lean Manufacturing Para La Mejora Del Proceso Productivo En La Línea De Envasado Pet De La Empresa Ajeper S.A.* Trujillo - Perú : Universidad Nacional de Trujillo, 2016.
- Cem Keskin, Umut Asan, Gulgun Kayakutlu. 2013.** *Value Stream Maps for Industrial Energy Efficiency*. Istanbul Technical University, Energy Institute, Turkey : Springer, Editors: Fausto Cavallaro, 2013. 10.1007/978-1-4471-5143-2\_17.
- Cigolini, R., Fedele, L., Garetti, M., y Macchi, M. 2008.** *Recent advances in maintenance and facility management*. Milan : Production Planning & Control, 2008.
- Davies, C., & Greenough, R. M. 2010.** *Measuring the effectiveness of lean thinking activities*. USA : Production & Manufacturing Research, 2010. 2169-3277 .

*Determinación de la Vida Económica de un Equipo. Análisis de Sensibilidad de las Variables Intervinientes.* Dr. J.M. Izar, Dr. J. Garnica, Dra. C. Ynzunza. 2017. 2017, CONCIENCIA TECNOLÓGICA, págs. 43-53.

**Díaz, Carrasco. 2005.** *Metodología de la Investigación Científica.* Lima : San Marcos, 2005.

**ECHEGARAY M., WALTER. 2018.** *Propuesta De Mejora De Los Procesos Del Área De Mantenimiento De Equipos De Una Empresa Dedicada Al Rubro De La Construcción.* Lima - Perú : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2018.

**Espinoza Fuentes, F. . 2013.** *Aspectos Financieros en el Mantenimiento.* Talca - Chile : Talca, 2013.

**Fabiana Becerra. 2008.** *Gestión del mantenimiento.* Argentina : Mantenimiento Mundial, 2008.

**García Garrido, S. 2004.** *Organización y gestión integral de mantenimiento.* España : Ediciones Díaz de Santos, 2004. 9788479785482.

**Gonzales, M. 2014.** *PLAN DE MANTENIMIENTO A UNA FLOTA DE CAMIONES.* Valencia : Valencia, 2014.

**Gosavi, A. . 2006.** *A risk-sensitive approach to total productive maintenance.* USA : Automatica, Vol. 42 No.8,, 2006.

**H. Soltan, S. Mostafa. 2014.** *Leanness and Agility within Maintenance Process.* USA : International Journal of Engineering Research and Technology, 2014.

**I.P.S. Ahuja\* and J.S. Khamba . 2006.** *Total productive maintenance implementation in a manufacturing organisation.* USA : International Journal of Productivity and Quality Management, 2006. 10.1504/IJPQM.2008.017504.

**Juan Gregorio Arrieta Posada. 2010.** *Benchmarking sobre manufactura esbelta (lean manufacturing) en el sector de la confección en la ciudad de Medellín.* Colombia : Journal of Economics, Finance and Administrative Science, 2010. 2077-1886.

**JUNETH, ESPEJO A. 2016.** *Aplicación Del Lean Maintenance Para Aumentar La Productividad De Envases Plásticos En La Empresa Laboratorios SMA S.A.C.* LIMA - ATE : Universidad Cesar Vallejo – ATE – Lima – Perú., 2016.

**K. Fraser. 2014.** *Facilities management: the strategic selection of a maintenance system.* USA : Journal of Facilities Management, 2014.

**Laura Swanson. 2001.** *Linking maintenance strategies to performance.* USA : International Journal of Production Economics, 2001. 10.1016/S0925-5273(00)00067-0 .

**M. Holweg. 2007.** *The genealogy of lean production.* USA : Journal of Operations Management, 2007.

**M. Jasiulewicz-Kaczmarek,. 2013.** *Golinska (Eds.), EcoProduction and Logistics.* London : Springer Berlin Heidelberg,, 2013.

**MALDONADO M. ANA; SUMNER DE BARI YSIQUE. 2017.** *Sistema de mejora continua basado en Mantenimiento Productivo Total para reducir desperdicios.* Lambayeque - Perú : Universidad Señor de Sipan, 2017.

- Martos F, Navarro J, Bullejos M, Gassó T, Barros M. 2006.** *Gestión de la Función Administrativa del Servicio Gallego de Salud*. España : Vol. 4. 1ª ed. Mad. España. 170 pp., 2006.
- Mobley, R. K. 2004.** *Maintenance Fundamentals, 2nd ed.* . Amsterdam : The Netherlands: Elsevier, 2004.
- MONGE, REYES Y RODRÍGUEZ. 2007.** *Diseño De Un Programa De Reducción De Desperdicios Apoyado Con Manufactura Esbelta*. El Salvador : Universidad De El Salvador, 2007.
- NAKAJIMA, S. 1989.** *TPM development program: implementing total productive maintenance*. USA : USA, 1989.
- Navarro Elola, L., Pastor Tejedor, A. C., & Mugaburu Lacabrera, J. M. 2009.** *Gestión integral de mantenimiento*. España : Marcombo, 2009. 84-267-1121-9.
- Ollila, A. and Malmipuro, M. 2007.** *Maintenance has a role in quality*. USA : The TQM Magazine, Vol. 11 No. 1,, 2007.
- P. Potes Ruiz, B. Kamsu Foguem, B. Grabot. 2014.** *Generating knowledge in maintenance from Experience Feedback*. USA : Knowledge-Based Systems, 2014.
- PARDO R., MARIA. 2016.** *Mejores Prácticas Lean En Un Proyecto De Minería Subterránea Caso Aplicado Proyecto Nuevo Nivel Mina*. Santiago de Chile : Universidad Técnica Federico Santa María, 2016.
- Pino. 2007.** *Metodología de la investigación*. Lima : Editorial San Marcos E.I.R.L, 2007.
- Pistarelli, A. J. . 2011.** *Manual de Mantenimiento*. . Jujuy - Argentina : Ingeniería del Mantenimiento, 2011.
- Polimeni, R., Fabozzi, F., Adelberg, A., & Kole, M. 2011.** *Contabilidad de costos: Coceptos y aplicaciones para la toma de decisiones gerenciales*. Colombia : M artha Edna Suárez R., 2011. 9 5 8 -6 0 0 -1 9 5 -4.
- Primera Marín, E. E. 2002.** *El Mantenimiento Predictivo como Parte de la Confiabilidad Operacional*. . Colombia : Mantenimiento Mundial., 2002.
- R. Smith. 2015.** *What is Lean maintenance Elements that need to be in place for success*,. Canada : Maintenance Technology, 2015. Vol. 2.
- RAÚL S., VICENTE. 2015.** *Aplicación De Herramientas Lean En El Área De Mantenimiento De Una Empresa Minera*. Sevilla – España : Universidad de Sevilla, 2015.
- RENTERIA S., JOSE. 2016.** *Implementación De Pensamiento Esbelto: Impacto En Instituciones De Salud Y En La Generación De Capacidades Dinámicas*. España : Universidad Autónoma de Barcelona , 2016.
- Rivera Rubio, E. M. 2011.** *Sistema de gestión del Mantenimiento Industrial*. Lima : Lima, 2011.
- Robertson, R. y Jones, A. 2004.** *“Pay day”, en Plant Engineering Maintenance*,. USA : Engineering Maintenance, 2004.
- Rodríguez Lopez, J. 2007.** *Gestión del Mantenimiento Industrial*. El Salvador : Universidad Albert Einstein., 2007.

- RODRÍGUEZ, ARCE. 2015.** *Manufactura Esbelta Para Aumentar La Productividad En Una Empresa Línea Blanca.* Lurín - Lima - Perú : Universidad Cesar Vallejo, 2015.
- S. Mostafa, J. Dumrak, H. Soltan. 2013.** *A framework for lean manufacturing implementation.* USA : Production & Manufacturing Research. , 2013.
- Singh y Sharma, . 2009.** *Value stream mapping as a versatile tool for lean implementation: An Indian case study of a manufacturing firm.* USA : Measuring Business Excellence, 2009. 10.1108/13683040910984338.
- Smith y Hawkins. 2004.** *Lean Maintenance: Reduce Costs, Improve Quality, and Increase Market Share.* USA : Butterworth-Heinemann, 2004. 978-0750677790.
- Sotuyo Blanco, S. 2008.** *Mantenimiento Industrial.* Colombia : Revista Virtual Pro, 7., 2008.
- T. Qiang, B. Zhu, L. Li, . 2011.** *A study on Military Equipment Lean Maintenance, .* USA : International Conference on Quality, Reliability, Risk,, 2011.
- T. Tinga. 2013.** *Maintenance Concepts, in Principles of Loads and Failure Mechanisms.* London : Springer-Verlag, 2013.
- Venkatesh, J. 2007.** *Una introducción al Mantenimiento Productivo Total (TPM).* India : [http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm\\_intro.shtml](http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.shtml), 2007.
- W.J. Hopp, and M.L. Spearman. 2004.** *Commissioned Paper To Pull or Not to Pull: What Is the Question?* USA : Manufacturing & Service Operations Management., 2004.
- W.Truscott. 2003.** *Six sigma: Continual improvement for business: A practical guide, .* USA : Elsevier, MA., 2003.
- Widman, R. 2014.** *Mantenimiento Proactivo.* Colombia : Mantenimientomundial, 2014.
- Willmott, P. 1994.** *Total quality with teeth.* USA : The TQM Magazine, Vol. 6 No.4, pp.48-50, 1994.

## ANEXOS

### Anexo 1 Cuadro de Costos de Mantenimiento Antes de la Mejora

INTERNATIONAL CAMIONES DEL PERÚ		WORKSTAR		
WORKSTAR 7600 / 9800 /TRANSTAR				
MOTOR CUMMINS ISM (7600 Y 9800)				
Código	Descripción	Cantidad	Precio Venta	Precio Total
ILC16503	ACEITE DE MOTOR INTERNATIONAL( BD )	2	\$ 65.75	\$ 131.50
ILC16548	GRASA RETINAX HD2 (KG)	3	\$ 8.73	\$ 26.19
LF14000NN	FILTRO DE ACEITE	1	\$ 31.33	\$ 31.33
FS19624	FILTRO DE COMBUSTIBLE	1	\$ 13.94	\$ 13.94
SUB TOTAL				\$ 202.96
SERV. DE MANT.(M.O)		1	\$ 21.24	\$ 21.24
ENGRASE GENERAL		1	\$ 17.70	\$ 17.70
MATERIALES		1	\$ 11.80	\$ 11.80
				\$ 50.74
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 253.70</b>
Tipo de cambio SUNAT S/. 3.38				<b>S/. 875.27</b>

Año 2018	HORAS	FREC. CAMBIO	M. PREVENTIVO	COSTO M. PREV.	COSTO M. COR.
ENERO	13284	310	43	S/ 37,507	S/ 1,125
FEBRERO	11275	305	37	S/ 32,356	S/ 971
MARZO	14268	315	45	S/ 39,646	S/ 1,189
ABRIL	13776	320	43	S/ 37,680	S/ 1,130
MAYO	14924	309	48	S/ 42,274	S/ 1,268
JUNIO	13284	330	40	S/ 35,234	S/ 1,057
JULIO	12792	335	38	S/ 33,422	S/ 1,003
AGOSTO	12177	325	37	S/ 32,794	S/ 984
SETIEMBRE	13284	320	42	S/ 36,335	S/ 1,090
OCTUBRE	14268	335	43	S/ 37,279	S/ 1,118
NOVIEMBRE	14391	329	44	S/ 38,286	S/ 1,149
DICIEMBRE	12628	328	39	S/ 33,698	S/ 1,011
<b>Sub Totales</b>				<b>S/ 436,510</b>	<b>S/ 13,095</b>
<b>Costo Total de Mantenimiento</b>				<b>S/449,605</b>	

Fuente: Base de datos de la empresa.

## ANEXO 2: MATRIZ DE CONSISTENCIA – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

### Implementación de Lean Maintenance para Optimizar los Costos de Mantenimiento de las Unidades en una Empresa de Transportes de Carga Pesada. SJL 2020

Problema	Objetivos	Marco Teórico Conceptual	Hipótesis	Variables e Indicadores	Metodología
<p><b>General</b></p> <p>¿De qué manera la implementación de Lean Maintenance optimiza los costos de mantenibilidad de las unidades de una empresa de Transportes de carga Pesada? SJL 2020.</p> <p><b>Específicos</b></p> <p>PE1: ¿En qué medida la Gestión del Mantenimiento Planeado reduce los Costos Promedios de Mantenimiento Preventivo de motor, de las unidades en una empresa de transportes de carga pesada? SJL 2020..</p> <p>PE2: ¿En qué medida el Análisis y Modo de Efecto de Fallas reduce los costos promedios de mantenimiento correctivo de motor, de las unidades en una empresa de transportes de carga pesada? SJL 2020.</p>	<p><b>General</b></p> <p>Determinar de qué manera la aplicación de Lean Maintenance optimiza los costos de mantenibilidad de las unidades, en una empresa de transportes de carga pesada. SJL 2020.</p> <p><b>Específicos</b></p> <p>OE1: Determinar en qué medida la Gestión del Mantenimiento Planeado reduce los costos promedios de mantenimiento preventivo d en una empresa de transportes de carga pesada. SJL 2020.</p> <p>OE2: Determinar en qué medida el Análisis y Modo de Efecto de Fallas reduce los costos promedios de mantenimiento correctivo de una empresa de transportes de carga pesada. SJL 2020.</p>	<p><b>“Lean Maintenance”</b> o Mantenimiento esbelto es una operación de mantenimiento proactivo que emplea actividades de mantenimiento planificadas y programadas a través de prácticas de mantenimiento productivo total utilizando estrategias de mantenimiento desarrolladas mediante la aplicación de la lógica de decisión de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Nazim Baluch. (2016).</p> <p><b>Los costos que tienen relación directa con las operaciones de mantenimiento</b> (costos administrativos, de mano de obra, de materiales, de repuestos, de subcontratación, de almacenamiento, y costos de capital), y Los costos por pérdidas de producción a causa de las fallas de los equipos, por disminución de la tasa de producción, y pérdidas por fallas en la calidad producto al mal funcionamiento de los equipos. Espinoza (2013).</p>	<p><b>General</b></p> <p>La implementación de Lean Maintenance optimiza los costos de mantenibilidad de las unidades, en una empresa de transporte de carga pesada. SJL 2020.</p> <p><b>Específicos</b></p> <p>HE1: La Gestión del Mantenimiento Planeado reduce los costos promedios de mantenimiento preventivo de motor, de las unidades en una empresa de transportes de carga pesada. SJL 2020.</p> <p>HE2: El Análisis y Modo de Efecto de Fallas reduce los costos promedios de mantenimiento correctivo de motor, de las unidades en una empresa de transportes de carga pesada. SJL 2020.</p>	<p>Para demostrar y comprobar la hipótesis anteriormente formulada, la operacionalizamos, determinando las variables e indicadores que a continuación se mencionan:</p> <p><b>Variable X = Variable Independiente:</b> Teorías de Mantenimiento esbelto que demuestran la reducción de los costos de mantenimiento.</p> <p><b>Indicadores de X:</b>  <b>Gestión Mantenimiento Planeado</b>  <math display="block">\frac{T.M.E.F.}{T.M.E.F. + T.M.P.R.} \%</math></p> <p><b>Análisis Modo y Efecto de Fallas</b>  <math display="block">\frac{TIEMPOIMPRODUCTIVOXFALLACRIITICA}{TIEMPOIMPROXFALLA}</math></p> <p><b>Variable Y = Variable Dependiente:</b> Costos de Mantenimiento.</p> <p><b>Indicadores de Y:</b>  <b>Costos Mantenimiento Preventivo</b>  <math display="block">\frac{C. TOTAL MANT. PREV.}{TOTAL HORAS TRABAJADAS} \%</math>  <b>Costos Mantenimiento Correctivo</b>  <math display="block">\frac{C. TOTAL MANT. CORRECT}{TOTAL HORAS TRABAJADAS} \%</math></p>	<p><b>Metodología</b></p> <p><b>Tipo de Investigación:</b> Por el tipo de investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación pre experimental.</p> <p><b>Nivel de la Investigación:</b> De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio descriptivo, explicativo.</p> <p><b>Método de la Investigación:</b> El método de la presente investigación es hipotético-deductivo el cual será empleado para que, a partir de lo observado en el área de mantenimiento de la Empresa se formularan las correspondientes hipótesis.</p> <p><b>Diseño de la Investigación:</b> Experimental – Pre experimental.</p> <p><b>Muestreo:</b> No probabilístico – Conveniencia.</p> <p><b>Técnicas:</b> Análisis de Registros.</p> <p><b>Instrumentos:</b> Registros de Investigación y de campo, guías de Observación.</p>

## Anexo 2 CÁLCULO DE TAMAÑO DE MUESTRA

Año 2018	HORAS	REC. CAMBIO	# M. PREV.	COSTOS	
				MANT. PREVENTIVO	MANT. CORRECTIVO
ENERO	13284	310	43	S/ 37,507	S/ 1,125
FEBRERO	11275	305	37	S/ 32,356	S/ 971
MARZO	14268	315	45	S/ 39,646	S/ 1,189
ABRIL	13776	320	43	S/ 37,680	S/ 1,130
MAYO	14924	309	48	S/ 42,274	S/ 1,268
JUNIO	13284	330	40	S/ 35,234	S/ 1,057
JULIO	12792	335	38	S/ 33,422	S/ 1,003
AGOSTO	12177	325	37	S/ 32,794	S/ 984
SEPTIEMBRE	13284	320	42	S/ 36,335	S/ 1,090
OCTUBRE	14268	335	43	S/ 37,279	S/ 1,118
NOVIEMBRE	14391	329	44	S/ 38,286	S/ 1,149
DICIEMBRE	12628	328	39	S/ 33,698	S/ 1,011
<b>Sub Totales</b>				<b>S/ 436,510</b>	<b>S/ 13,095</b>
<b>Costo Total de Mantenimiento</b>				<b>S/449,605</b>	
<b><math>\bar{X}</math> =</b>				<b>S/36,376</b>	

<b>N =</b>	<b>41</b>
<b>S = <math>\delta</math> =</b>	<b>S/ 2,874</b>
<b>d = error = 0.05% =</b>	<b>S/ 548</b>
<b>Z = 95% =</b>	<b>1.96</b>
<b>n =</b>	<b>30</b>

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{E^2 (N-1) + Z^2 \sigma^2}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

$X_i - \bar{X}$ -->	S/1,131	-S/4,020	S/3,270	S/1,305	S/5,898	-S/1,142	-S/2,954	-S/3,581	-S/41	S/903	S/1,910	-S/2,678
$\wedge^2$ -->	S/1,278,994	S/16,156,482	S/10,691,316	S/1,701,898	S/34,783,490	S/1,304,642	S/8,723,487	S/12,826,843	S/1,694	S/815,153	S/3,647,875	S/7,171,203
$\Sigma$ -->	S/99,103,077											
/ 41 -->	S/8,258,590											
$\delta$ =	S/2,874											

Anexo 3 INSTRUMENTO RECOLECCIÓN VARIABLE INDEPENDIENTE

UNIDADES	TMEF	TMEF + TMPR	Gest. M. Planeado	Proce. Prev.	Fallas Criticas	AMEF
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
<b>n = 30</b>						

Anexo 4 INSTRUMENTO RECOLECCIÓN VARIABLE DEPENDIENTE

UNIDADES	Dic-19			Ene-20			Feb-20		
	Costo Mant. Prev.	Costo Mant. Correct.	Costo de Mantto.	Costo Mant. Prev.	Costo Mant. Correct.	Costo de Mantto.	Costo Mant. Prev.	Costo Mant. Correct.	Costo de Mantto.
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
n = 30									

Es necesario que los propios transportistas tengan conocimiento de cuáles son las **averías de camiones** más habituales y por eso, desde **Academia del Transportista**, elaboramos en este post un listado con las **averías de camión** más habituales.

1. **Sistema de refrigeración:** el sistema de refrigeración está formado por diversos elementos: radiador, termostato, ventilador, etcétera. Para evitar averías en carretera de alguno de los elementos mencionados es necesario que todo el sistema de refrigeración se revise periódicamente, sobre todo antes de emprender un largo viaje en carretera. Este sistema se encarga de mantener el motor en su temperatura correspondiente.
2. **Bomba de agua:** esta avería está relacionada con el sistema de refrigeración y es una avería muy común en camiones y otros vehículos, sobre todo en los meses de verano. La bomba de agua es la parte del camión que se encarga de que el líquido refrigerante circule para que el motor se encuentre siempre en la temperatura óptima para trabajar adecuadamente.
3. **Correa de ventilador:** muchas personas confunden la correa de ventilador con la de distribución y sus funciones son completamente distintas. La de ventilador es la encargada de refrigerar el agua del radiador cuando este no puede enfriarse con el aire natural que entra en el camión por la parte frontal. Esto puede suceder cuando el vehículo se encuentra parado o circula a velocidad muy baja.
4. **Batería:** la batería es una de las partes del camión más importantes. Es el elemento del vehículo encargado de almacenar toda la energía necesaria para que un vehículo, en este caso para que un camión, arranque. Puede ser que la batería nos de fallos por diversos motivos, como por ejemplo: una avería en el alternador, un mal uso en el camión (como que la batería sufra continuamente al arrancar el camión), una descarga ocasionada por dejarse las luces encendidas, etcétera.
5. **Líquido anticongelante y refrigerante:** ya te hemos hablado de algunos elementos encargados de mantener la temperatura del motor. El líquido refrigerante y anticongelante es otro de los elementos que tiene este objetivo y hay que cuidar que esté siempre en los niveles óptimos.
6. **Neumáticos:** el estado de los neumáticos es muy importante para evitar accidentes en carretera. Hay que revisar su estado continuamente porque una presión inadecuada, un clima caluroso, el peso del camión, la velocidad en la conducción, etcétera, pueden ocasionar averías en este elemento.
7. **Correa de distribución:** los fallos en la correa de distribución suponen una de las averías más costosas en los camiones y en otros vehículos. Si empiezas a notar ruidos de fricción entre piezas metálicas, descenso en el nivel del aceite y otras pérdidas de líquido del vehículo.
8. **Catalizador:** el catalizador es la parte del vehículo encargada de disminuir los elementos contaminantes de los gases de escape de un vehículo. El catalizador es una de las averías más caras de un camión por ello es importante evitar que sufra averías. Algunas de las más habituales se dan por la llegada de aceite del motor o por colocar un catalizador de mala calidad.
9. **Caja manual:** es la caja de cambios que necesita de la intervención del conductor. En los vehículos pesados, en la actualidad es más habitual que éstas sean automáticas o semi-automáticas.
10. **Bobinas de encendido:** las bobinas de encendido son las encargadas de repartir la chispa que quema la mezcla entre el aire y el gasoil. Es sencillo darse cuenta de esta avería porque normalmente lo que sucede es que el motor comienza a dar tirones.
11. **Bujías mojadas:** es otra de las averías de camión más habituales. Las bujías, tal y como te hemos mencionado, se encargan de producir la chispa que quema la mezcla entre el aire y el combustible. Este elemento del camión puede mojarse y cuando esto sucede la chispa se vuelve mucho menos potente y eficaz.
12. **Bomba de combustibles:** este elemento es el que se ocupa de bombear el combustible desde el depósito hasta los conductos de inyección del vehículo. Cuando la bomba de combustible se estropea lo que sucede es que el combustible del vehículo no puede llegar hasta los inyectores y por tanto el motor empieza a fallar, e incluso a pararse.
13. **Centralita:** la centralita es el elemento del motor encargado de gestionar la electrónica de todo el motor. Esta parte del camión suele fallar por un problema de comunicación entre los sensores del vehículo.
14. **Sistema ABS:** el sistema ABS es el sistema electrónico de los vehículos encargados de evitar que (en caso de que el camión realice una frenada brusca) las ruedas se bloqueen. Es muy fácil detectar una avería en este sistema porque se encenderá el testigo 'ABS'.
15. **Sistema de navegación GPS:** el sistema GPS (Global Positioning System) es el que permite al conductor llegar a su destino sin problemas y es que como todos sabemos hoy en día, el GPS es un sistema que permite ubicar en todo el mundo la posición de una ciudad, objeto, etcétera.

<b>Correlaciones</b>				
		Costo tal	CostoPrev	CostCorrec
CosTotal	Correlación de Pearson	1	1,000**	,999**
	Sig. (bilateral)		,000	,000
	N	12	12	12
CostoPrev	Correlación de Pearson	1,000**	1	,999**
	Sig. (bilateral)	,000		,000
	N	12	12	12
CostCorrec	Correlación de Pearson	,999**	,999**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	
	N	12	12	12

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

<b>Estadísticas de fiabilidad</b>	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,858	3

## Anexo 7 Tabulación de datos de los Costos de Mantenimiento – Antes

PRE: COSTOS DE MANTENIMIENTO -VARIABLE DEPENDIENTE						
DIMENSION 1			DIMENSION 2			
C. TOTAL MANT. PREV.	HORAS TRABAJADAS	Costo Mantto Preventivo xHora	C. TOTAL MANT. CORRECT	HORAS TRABAJADAS	Costo Mantto Correctivo xHora	Costo Prom de Mantenimiento xHora
S/ 1,750.54	618	S/ 2.83	S/ 465.00	618	S/ 0.75	S/ 3.59
S/ 1,750.54	638	S/ 2.74	S/ 690.00	638	S/ 1.08	S/ 3.83
S/ 1,750.54	628	S/ 2.79	S/ 490.00	628	S/ 0.78	S/ 3.57
S/ 1,750.54	636	S/ 2.75	S/ 382.00	636	S/ 0.60	S/ 3.35
S/ 1,750.54	642	S/ 2.73	S/ 327.00	642	S/ 0.51	S/ 3.24
S/ 1,750.54	640	S/ 2.74	S/ 285.00	640	S/ 0.45	S/ 3.18
S/ 1,750.54	628	S/ 2.79	S/ 270.00	628	S/ 0.43	S/ 3.22
S/ 1,750.54	625	S/ 2.80	S/ 943.00	625	S/ 1.51	S/ 4.31
S/ 1,750.54	633	S/ 2.77	S/ 430.00	633	S/ 0.68	S/ 3.44
S/ 1,750.54	625	S/ 2.80	S/ 605.00	625	S/ 0.97	S/ 3.77
S/ 1,750.54	624	S/ 2.81	S/ 225.00	624	S/ 0.36	S/ 3.17
S/ 1,750.54	634	S/ 2.76	S/ 613.00	634	S/ 0.97	S/ 3.73
S/ 1,750.54	642	S/ 2.73	S/ 515.00	642	S/ 0.80	S/ 3.53
S/ 1,750.54	630	S/ 2.78	S/ 251.00	630	S/ 0.40	S/ 3.18
S/ 1,750.54	628	S/ 2.79	S/ 380.00	628	S/ 0.61	S/ 3.39
S/ 1,750.54	639	S/ 2.74	S/ 765.00	639	S/ 1.20	S/ 3.94
S/ 1,750.54	656	S/ 2.67	S/ 410.00	656	S/ 0.63	S/ 3.29
S/ 1,750.54	633	S/ 2.77	S/ 225.00	633	S/ 0.36	S/ 3.12
S/ 1,750.54	624	S/ 2.81	S/ 230.00	624	S/ 0.37	S/ 3.17
S/ 1,750.54	616	S/ 2.84	S/ 380.00	616	S/ 0.62	S/ 3.46
S/ 1,750.54	627	S/ 2.79	S/ 125.00	627	S/ 0.20	S/ 2.99
S/ 1,750.54	626	S/ 2.80	S/ 198.00	626	S/ 0.32	S/ 3.11
S/ 1,750.54	613	S/ 2.86	S/ 325.00	613	S/ 0.53	S/ 3.39
S/ 1,750.54	627	S/ 2.79	S/ 132.00	627	S/ 0.21	S/ 3.00
S/ 1,750.54	627	S/ 2.79	S/ 240.00	627	S/ 0.38	S/ 3.17
S/ 1,750.54	635	S/ 2.76	S/ 130.00	635	S/ 0.20	S/ 2.96
S/ 1,750.54	631	S/ 2.77	S/ 179.00	631	S/ 0.28	S/ 3.06
S/ 1,750.54	626	S/ 2.80	S/ 290.00	626	S/ 0.46	S/ 3.26
S/ 1,750.54	637	S/ 2.75	S/ 370.00	637	S/ 0.58	S/ 3.33
S/ 1,750.54	638	S/ 2.74	S/ 245.00	638	S/ 0.38	S/ 3.13
S/ 1,750.54	626	S/ 2.80	S/ 230.00	626	S/ 0.37	S/ 3.16
S/ 1,750.54	645	S/ 2.71	S/ 180.00	645	S/ 0.28	S/ 2.99
S/ 1,750.54	626	S/ 2.80	S/ 175.00	626	S/ 0.28	S/ 3.08
S/ 1,750.54	625	S/ 2.80	S/ 190.00	625	S/ 0.30	S/ 3.10
S/ 1,750.54	626	S/ 2.80	S/ 185.00	626	S/ 0.30	S/ 3.09
S/ 1,750.54	626	S/ 2.80	S/ 198.00	626	S/ 0.32	S/ 3.11
S/ 1,750.54	634	S/ 2.76	S/ 135.00	634	S/ 0.21	S/ 2.97
S/ 1,750.54	636	S/ 2.75	S/ 153.00	636	S/ 0.24	S/ 2.99
S/ 1,750.54	629	S/ 2.78	S/ 138.00	629	S/ 0.22	S/ 3.00
S/ 1,750.54	630	S/ 2.78	S/ 150.00	630	S/ 0.24	S/ 3.02
S/ 1,750.54	635	S/ 2.76	S/ 120.00	635	S/ 0.19	S/ 2.95
<b>Promedios</b>	<b>631</b>	<b>S/ 2.78</b>	<b>S/ 316.32</b>	<b>631</b>	<b>S/ 0.50</b>	<b>S/ 3.28</b>

Costo Total (Dic.'19 - Feb.'20)		S/ 84,746.59	
	Horas Trab.	Cost. M. Prev.	Cost. M. Corr.
<b>Promedio</b>	<b>630.83</b>	<b>S/ 2.775</b>	<b>S/ 0.501</b>
<b>Desv. STD</b>	<b>8.07</b>	<b>S/ 0.035</b>	<b>S/ 0.303</b>
<b>CV</b>	<b>1.28%</b>	<b>1.3%</b>	<b>60.4%</b>
<b>Varianza</b>	<b>65.095</b>	<b>0.001</b>	<b>0.092</b>

Anexo 8 Tabulación de datos de los Costos de Mantenimiento – Después

POS: COSTOS DE MANTENIMIENTO - VARIABLE DEPENDIENTE						
COSTO MANTTO.PREVENTIVO (D1VD)			COSTO DE MANTTO. CORRECTIVO (D1VD)			Costo Prom de Mantenimiento xHora
C. TOTAL MANT. PREV.	HORAS TRABAJADAS	Costo Mantto Preventivo xHora	C. TOTAL MANT. CORRECT	HORAS TRABAJADAS	Costo Mantto Correctivo xHora	
S/ 1,750.54	656	S/ 2.67	S/ 380.00	656	S/ 0.58	S/ 3.25
S/ 1,750.54	666	S/ 2.63	S/ 595.00	666	S/ 0.89	S/ 3.52
S/ 1,750.54	654	S/ 2.68	S/ 420.00	654	S/ 0.64	S/ 3.32
S/ 1,750.54	662	S/ 2.64	S/ 350.00	662	S/ 0.53	S/ 3.17
S/ 1,750.54	647	S/ 2.71	S/ 290.00	647	S/ 0.45	S/ 3.15
S/ 1,750.54	662	S/ 2.64	S/ 250.00	662	S/ 0.38	S/ 3.02
S/ 1,750.54	654	S/ 2.68	S/ 190.00	654	S/ 0.29	S/ 2.97
S/ 1,750.54	640	S/ 2.74	S/ 875.00	640	S/ 1.37	S/ 4.10
S/ 1,750.54	658	S/ 2.66	S/ 380.00	658	S/ 0.58	S/ 3.24
S/ 1,750.54	659	S/ 2.66	S/ 560.00	659	S/ 0.85	S/ 3.51
S/ 1,750.54	666	S/ 2.63	S/ 180.00	666	S/ 0.27	S/ 2.90
S/ 1,750.54	665	S/ 2.63	S/ 565.00	665	S/ 0.85	S/ 3.48
S/ 1,750.54	661	S/ 2.65	S/ 440.00	661	S/ 0.67	S/ 3.31
S/ 1,750.54	662	S/ 2.64	S/ 190.00	662	S/ 0.29	S/ 2.93
S/ 1,750.54	660	S/ 2.65	S/ 370.00	660	S/ 0.56	S/ 3.21
S/ 1,750.54	664	S/ 2.64	S/ 660.00	664	S/ 0.99	S/ 3.63
S/ 1,750.54	646	S/ 2.71	S/ 380.00	646	S/ 0.59	S/ 3.30
S/ 1,750.54	657	S/ 2.66	S/ 190.00	657	S/ 0.29	S/ 2.95
S/ 1,750.54	671	S/ 2.61	S/ 220.00	671	S/ 0.33	S/ 2.94
S/ 1,750.54	660	S/ 2.65	S/ 370.00	660	S/ 0.56	S/ 3.21
S/ 1,750.54	660	S/ 2.65	S/ 120.00	660	S/ 0.18	S/ 2.83
S/ 1,750.54	672	S/ 2.60	S/ 180.00	672	S/ 0.27	S/ 2.87
S/ 1,750.54	652	S/ 2.68	S/ 310.00	652	S/ 0.48	S/ 3.16
S/ 1,750.54	647	S/ 2.71	S/ 120.00	647	S/ 0.19	S/ 2.89
S/ 1,750.54	671	S/ 2.61	S/ 190.00	671	S/ 0.28	S/ 2.89
S/ 1,750.54	657	S/ 2.66	S/ 90.00	657	S/ 0.14	S/ 2.80
S/ 1,750.54	659	S/ 2.66	S/ 80.00	659	S/ 0.12	S/ 2.78
S/ 1,750.54	664	S/ 2.64	S/ 190.00	664	S/ 0.29	S/ 2.92
S/ 1,750.54	665	S/ 2.63	S/ 290.00	665	S/ 0.44	S/ 3.07
S/ 1,750.54	640	S/ 2.74	S/ 210.00	640	S/ 0.33	S/ 3.06
S/ 1,750.54	660	S/ 2.65	S/ 190.00	660	S/ 0.29	S/ 2.94
S/ 1,750.54	662	S/ 2.64	S/ 120.00	662	S/ 0.18	S/ 2.83
S/ 1,750.54	675	S/ 2.59	S/ 120.00	675	S/ 0.18	S/ 2.77
S/ 1,750.54	653	S/ 2.68	S/ 140.00	653	S/ 0.21	S/ 2.90
S/ 1,750.54	643	S/ 2.72	S/ 160.00	643	S/ 0.25	S/ 2.97
S/ 1,750.54	657	S/ 2.66	S/ 190.00	657	S/ 0.29	S/ 2.95
S/ 1,750.54	658	S/ 2.66	S/ 120.00	658	S/ 0.18	S/ 2.84
S/ 1,750.54	653	S/ 2.68	S/ 130.00	653	S/ 0.20	S/ 2.88
S/ 1,750.54	652	S/ 2.68	S/ 110.00	652	S/ 0.17	S/ 2.85
S/ 1,750.54	643	S/ 2.72	S/ 120.00	643	S/ 0.19	S/ 2.91
S/ 1,750.54	643	S/ 2.72	S/ 110.00	643	S/ 0.17	S/ 2.89
<b>Promedios</b>	<b>657</b>	<b>S/ 2.66</b>	<b>S/ 271.83</b>	<b>657</b>	<b>S/ 0.41</b>	<b>S/ 3.08</b>

<b>Costo Total (Dic. '19 - Feb. '20)</b>	<b>S/ 82,933.35</b>
--	---------------------

	<b>Horas Trab.</b>	<b>Cost. M. Prev.</b>	<b>Cost. M. Corr.</b>	<b>Costo Total Mto.</b>
<b>Promedio</b>	<b>657.46</b>	<b>S/ 2.663</b>	<b>S/ 0.414</b>	<b>S/ 3.077</b>
<b>Desv. STD</b>	<b>8.76</b>	<b>S/ 0.036</b>	<b>S/ 0.274</b>	<b>S/ 0.278</b>
<b>CV</b>	<b>1.33%</b>	<b>1.3%</b>	<b>66.2%</b>	<b>9.0%</b>
<b>Varianza</b>	<b>76.755</b>	<b>0.001</b>	<b>0.075</b>	<b>0.077</b>

LEAN MAINTENANCE - (VD)					
GESTION DEL MANTENIMIENTO PLANEADO (D1-VD)			ANALISIS DEL MODO DE EFECTO Y FALLAS (D2)		
T. Medio Entre Fallas MTBF (H)	T. Medio Entre Reparac. MTTR (H)	Gest. Mantto Planeado	T.IMP. X FALLAS	T.I. X FALLA CRITICA	ANALISIS DEL MODO EFECTO Y FALLAS
22.07	2.50	0.8983	27.50	15.00	0.5455
23.22	2.45	0.9044	27.00	14.73	0.5455
26.26	2.14	0.9248	23.50	12.82	0.5455
25.00	2.27	0.9167	25.00	6.82	0.2727
28.68	2.00	0.9348	22.00	8.00	0.3636
25.63	2.04	0.9262	24.50	10.21	0.4167
34.28	1.64	0.9544	18.00	8.18	0.4545
29.24	1.91	0.9387	21.00	11.45	0.5455
34.56	1.64	0.9548	18.00	8.18	0.4545
27.24	1.88	0.9356	22.50	7.50	0.3333
31.44	1.77	0.9466	19.50	7.09	0.3636
27.30	1.75	0.9398	22.75	10.50	0.4615
34.11	1.68	0.9530	18.50	11.77	0.6364
30.95	1.82	0.9445	20.00	9.09	0.4545
38.56	1.45	0.9637	16.00	7.27	0.4545
42.00	1.67	0.9618	15.00	8.33	0.5556
41.48	1.19	0.9721	15.50	7.15	0.4615
52.08	1.50	0.9720	12.00	6.00	0.5000
47.38	1.63	0.9668	13.00	4.88	0.3750
36.73	1.65	0.9570	16.50	6.60	0.4000
39.87	1.72	0.9586	15.50	6.89	0.4444
39.74	1.55	0.9625	15.50	6.20	0.4000
38.97	1.72	0.9577	15.50	8.61	0.5556
51.50	1.33	0.9748	12.00	5.33	0.4444
62.20	2.00	0.9688	10.00	4.00	0.4000
59.71	1.31	0.9785	10.50	6.56	0.6250
96.46	1.63	0.9834	6.50	3.25	0.5000
95.69	1.63	0.9833	6.50	4.88	0.7500
93.78	1.69	0.9823	6.75	1.69	0.2500
97.54	1.63	0.9836	6.50	1.63	0.2500
95.54	1.30	0.9866	6.50	3.90	0.6000
106.83	1.50	0.9862	6.00	3.00	0.5000
124.40	1.25	0.9901	5.00	2.50	0.5000
124.40	1.67	0.9868	5.00	3.33	0.6667
113.09	1.38	0.9880	5.50	2.75	0.5000
88.57	1.17	0.9870	7.00	4.67	0.6667
140.22	1.50	0.9894	4.50	1.50	0.3333
126.40	1.25	0.9902	5.00	2.50	0.5000
125.20	1.67	0.9869	5.00	0.00	0.0000
77.88	1.14	0.9855	8.00	5.71	0.7143
105.17	1.50	0.9859	6.00	3.00	0.5000

<b>Promedio</b>	<b>0.96249</b>
Desv. STD	0.02502
CV	3%
Varianza	0.000625921

<b>Promedio</b>	<b>0.46928</b>
Desv. STD	0.13904
CV	30%
Varianza	0.01933243

Anexo 10 Tabulación de datos de Lean Maintenance Después

LEAN MAINTENANCE - (VD)					
GESTION DEL MANTENIMIENTO PLANEADO (D1-VD)			ANALISIS DEL MODO DE EFECTO Y FALLAS (D2)		
T. Medio Entre Fallas MTBF (H)	T. Medio Entre Reparac. MTTR (H)	Gest. Mantto Planeado	T.IMP. X FALLAS	T.I. X FALLA CRITICA	Análisis del Modo y Efecto de Fallas
233.09	0.92	0.9961	2.75	0.92	0.6667
148.94	1.06	0.9929	4.25	2.13	0.5000
155.25	1.00	0.9936	4.00	0.00	1.0000
199.69	1.08	0.9946	3.25	1.08	0.6667
156.75	1.00	0.9937	4.00	2.00	0.5000
126.00	1.25	0.9902	5.00	0.00	1.0000
121.80	1.00	0.9919	5.00	2.00	0.6000
139.78	1.13	0.9920	4.50	0.00	1.0000
158.00	1.00	0.9937	4.00	1.00	0.7500
213.00	1.00	0.9953	3.00	1.00	0.6667
160.25	1.00	0.9938	4.00	3.00	0.2500
161.25	1.00	0.9938	4.00	0.00	1.0000
160.25	1.00	0.9938	4.00	0.00	1.0000
153.75	1.00	0.9935	4.00	2.00	0.5000
142.00	1.13	0.9921	4.50	2.25	0.5000
125.60	1.25	0.9901	5.00	0.00	1.0000
158.00	1.00	0.9937	4.00	0.00	1.0000
210.33	1.00	0.9953	3.00	0.00	1.0000
214.00	1.00	0.9953	3.00	1.00	0.6667
217.33	1.00	0.9954	3.00	0.00	1.0000
212.33	1.00	0.9953	3.00	0.00	1.0000
209.67	1.00	0.9953	3.00	0.00	1.0000
214.33	1.00	0.9954	3.00	1.00	0.6667
208.00	1.00	0.9952	3.00	0.00	1.0000
151.43	1.05	0.9931	4.20	1.05	0.7500
259.60	0.83	0.9968	2.50	1.67	0.3333
212.33	1.50	0.9930	3.00	0.00	1.0000
316.50	1.00	0.9969	2.00	1.00	0.5000
209.00	1.00	0.9952	3.00	0.00	1.0000
216.33	1.00	0.9954	3.00	0.00	1.0000
324.50	1.00	0.9969	2.00	0.00	1.0000
255.20	1.25	0.9951	2.50	0.00	1.0000
323.00	1.00	0.9969	2.00	0.00	1.0000
316.00	1.00	0.9968	2.00	1.00	0.5000
211.33	1.00	0.9953	3.00	1.00	0.6667
316.50	1.00	0.9969	2.00	0.00	1.0000
316.50	1.00	0.9969	2.00	0.00	1.0000
325.50	1.00	0.9969	2.00	0.00	1.0000
215.00	1.00	0.9954	3.00	0.00	1.0000
317.00	1.00	0.9969	2.00	0.00	1.0000
326.00	1.00	0.9969	2.00	0.00	1.0000

<b>Promedio</b>	<b>0.99472</b>
Desv. STD	0.00183
CV	0.18%
Varianza	3.34435E-06

<b>Promedio</b>	<b>0.82154</b>
Desv. STD	0.23200
CV	28%
Varianza	0.0538

Anexo 11 Análisis de criticidad

$$CT = FF \times \text{Consecuencia}$$

$$\text{Consecuencia} = [ (IO \times FO) + CM + ISAH ]$$

SISTEMAS	F.F.	I.O.	F.O.	C.M.	SOMA	CONSECUENCIA	CT	ESTADO
Motor	3	8	4	2	4	38	114	CRITICO
Sist. Lubricacion	2	6	4	1	0	25	50	SEMI CRITICO
Sist. Refrigeración	2	6	4	1	0	25	50	SEMI CRITICO
Sist. Transmision	3	8	4	2	4	38	114	CRITICO
Sist. Suspensión	2	6	4	1	0	25	50	SEMI CRITICO
Sist. Frenos	3	8	4	1	8	41	123	CRITICO
Sist. Dirección	2	6	4	1	0	25	50	SEMI CRITICO
Sist. Electrico	3	8	4	1	4	37	111	CRITICO
Sist. Combustible	2	6	4	1	0	25	50	SEMI CRITICO
Sist. Neumatico	1	6	4	1	0	25	25	NO CRITICO
Accesorios	2	2	2	1	2	7	14	NO CRITICO
Llantas	4	8	4	2	6	40	160	CRITICO
Chasis	1	6	4	1	0	25	25	NO CRITICO

Fuente: Información de Moubray, J. (1997). - Elaboración Propia

C.T

NO CRITICO	< 40
SEMI CRITICO	>40; <90
CRITICO	>90

Tabla de pesos y/o calificaciones

Frecuencia de falla (FF)		Impacto operacional IO		Flexibilidad operacional FO		Costos de Mantto CM		Impacto SOMA		
MUY ALTA: falla casi Inevitable	4	Parada inmediata	10	No hay opción alterna	4	Mayor o igual a S/. 6,000	2	Afecta la seguridad humana	8	
ALTA: Fallas repetidas	3	Impacto en niveles de Servicio o calidad de servicio	8	Opcion alterna de operación	2	Inferior a S/. 6,000	1	Afecta al ambiente daños irreversibles	6	
MODERADA: Fallas ocasionales	2	Parada de la Maquina o efectos en otros	6	Hay respaldo	1			Afecta daño severo a las instalaciones	4	
BAJA: Pocas fallas	1	Costos operacionales por parada	2					Provoca Daños	2	
		Sin efectos en operación	1							
									<b>Fallas Criticas</b>	<b>5</b>
									<b>Fallas Semi Criticas</b>	<b>5</b>
									<b>Fallas No Criticas</b>	<b>3</b>
									<b>Totala de Fallas de Sistemas</b>	<b>13</b>

Anexo 12 Análisis de Criticidad - Fallas y Tiempos Improductivos - Antes

	PLACA	T. Improd	Motor	Lubric.	Refrig.	Transm.	Suspensión	S. Frenos	Dirección	Elect.	Combust.	Neumatico	Accesorios	Llantas	Chasis	T.IMP. X FALLAS	T.I. X FALLA CRITICA	ANALISIS DEL MODO EFECTO Y FALLAS
			10.1%	6.6%	6.6%	10.1%	6.6%	10.9%	6.6%	9.8%	6.6%	6.6%	1.9%	10.6%	6.6%			
1	C9O-778	2.75	0.00	0.00	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	0.00	0.92	0.00	0.00	2.75	0.92	66.7%
2	C9P-711	4.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	0.00	1.06	0.00	0.00	1.06	0.00	1.06	4.25	2.13	50.0%
3	C9R-712	4.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	4.00	0.00	100.0%
4	C9R-766	3.25	1.08	0.00	0.00	0.00	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	0.00	0.00	0.00	3.25	1.08	66.7%
5	D9K-727	4.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	4.00	2.00	50.0%
6	D9K-731	5.00	0.00	1.25	1.25	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	5.00	0.00	100.0%
7	D9K-784	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	5.00	2.00	60.0%
8	D9K-788	4.50	0.00	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	0.00	1.13	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	100.0%
9	D9K-827	4.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	4.00	1.00	75.0%
10	D9K-847	3.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	3.00	1.00	66.7%
11	F0L-906	4.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	4.00	3.00	25.0%
12	AAP-788	4.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	4.00	0.00	100.0%
13	AAN-770	4.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	100.0%
14	AAO-705	4.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	4.00	2.00	50.0%
15	AAX-711	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13	0.00	0.00	0.00	1.13	1.13	1.13	0.00	4.50	2.25	50.0%
16	AAR-752	5.00	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	1.25	0.00	1.25	5.00	0.00	100.0%
17	AAO-794	4.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	4.00	0.00	100.0%
18	AAS-713	3.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	100.0%
19	AAQ-755	3.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	3.00	1.00	66.7%
20	AAL-746	3.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	100.0%
21	AAS-724	3.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	100.0%
22	AJQ-871	3.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	100.0%
23	AJM-812	3.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	1.00	66.7%
24	AJM-905	3.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	100.0%
25	AJP-912	4.20	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	0.00	4.20	1.05	75.0%
26	AJP-914	2.50	0.83	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00	2.50	1.67	33.3%
27	AMR-702	3.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	100.0%
28	AMP-869	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	1.00	50.0%
29	AMP-923	3.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	100.0%
30	AMQ-811	3.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	100.0%
31	AMQ-894	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	100.0%
32	ART-705	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	0.00	100.0%
33	ART-816	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	100.0%
34	ART-791	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	1.00	50.0%
35	ART-855	3.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	3.00	1.00	66.7%
36	ART-859	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	100.0%
37	AWD-734	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	100.0%
38	AWD-736	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	100.0%
39	AWD-744	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	100.0%
40	AWD-781	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	100.0%
41	AWD-784	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	100.0%
	<b>PROMEDIO</b>	<b>3.23</b>	<b>0.14</b>	<b>0.33</b>	<b>0.44</b>	<b>0.12</b>	<b>0.32</b>	<b>0.18</b>	<b>0.38</b>	<b>0.07</b>	<b>0.39</b>	<b>0.30</b>	<b>0.33</b>	<b>0.10</b>	<b>0.13</b>	<b>132.45</b>	<b>25.09</b>	<b>82.15%</b>

Anexo 13 Análisis de Criticidad - Fallas y Tiempos Improductivos – Después

PLACA	T. Improd	Motor	Lubric.	Refrig.	Transm.	Suspensión	S. Frenos	Dirección	Elect.	Combust.	Neumatico	Accesorios	Llantas	Chasis	T.IMP.X FALLAS	T.I.X FALLA CRITICA	ANÁLISIS DEL MODELO OBJETO Y FALLAS	
1	C90-778	27.50	5.00	2.50	5.00	0.00	0.00	2.50	2.50	5.00	0.00	2.50	0.00	2.50	0.00	27.50	15.00	45.5%
2	C9P-711	27.00	2.45	2.45	0.00	2.45	0.00	2.45	0.00	2.45	0.00	4.91	2.45	4.91	2.45	27.00	14.73	45.5%
3	C9R-712	23.50	2.14	2.14	2.14	0.00	0.00	4.27	2.14	4.27	2.14	0.00	2.14	2.14	0.00	23.50	12.82	45.5%
4	C9R-766	25.00	0.00	0.00	2.27	2.27	0.00	2.27	4.55	0.00	4.55	0.00	4.55	2.27	2.27	25.00	6.82	72.7%
5	D9K-727	22.00	4.00	4.00	2.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	22.00	8.00	63.6%
6	D9K-731	24.50	0.00	2.04	0.00	4.08	0.00	2.04	2.04	0.00	2.04	4.08	4.08	4.08	0.00	24.50	10.21	58.3%
7	D9K-784	18.00	0.00	1.64	3.27	3.27	1.64	3.27	0.00	0.00	0.00	1.64	1.64	1.64	0.00	18.00	8.18	54.5%
8	D9K-788	21.00	1.91	0.00	1.91	1.91	1.91	1.91	0.00	3.82	1.91	1.91	0.00	1.91	1.91	21.00	11.45	45.5%
9	D9K-827	18.00	3.27	3.27	1.64	3.27	1.64	0.00	1.64	0.00	0.00	0.00	0.00	1.64	1.64	18.00	8.18	54.5%
10	D9K-847	22.50	0.00	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	22.50	7.50	66.7%
11	FOL-906	19.50	1.77	1.77	0.00	0.00	1.77	1.77	3.55	1.77	0.00	1.77	0.00	1.77	3.55	19.50	7.09	63.6%
12	AAP-788	22.75	1.75	1.75	0.00	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	3.50	0.00	1.75	3.50	1.75	22.75	10.50	53.8%
13	AAN-770	18.50	5.05	5.05	0.00	0.00	0.00	3.36	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	18.50	11.77	36.4%
14	AAO-705	20.00	1.82	0.00	1.82	3.64	1.82	1.82	0.00	0.00	1.82	0.00	3.64	1.82	1.82	20.00	9.09	54.5%
15	AAX-711	16.00	1.45	1.45	0.00	2.91	1.45	1.45	0.00	1.45	2.91	0.00	1.45	0.00	1.45	16.00	7.27	54.5%
16	AAR-752	15.00	0.00	0.00	1.67	3.33	0.00	3.33	0.00	0.00	0.00	1.67	1.67	3.33	15.00	8.33	44.4%	
17	AAO-794	15.50	1.19	0.00	2.38	0.00	1.19	2.38	1.19	2.38	0.00	1.19	1.19	1.19	1.19	15.50	7.15	53.8%
18	AAS-713	12.00	1.50	0.00	1.50	1.50	0.00	0.00	1.50	1.50	1.50	0.00	1.50	0.00	1.50	12.00	6.00	50.0%
19	AAQ-755	13.00	1.63	3.25	3.25	0.00	0.00	1.63	0.00	0.00	1.63	0.00	0.00	1.63	0.00	13.00	4.88	62.5%
20	AAL-746	16.50	0.00	0.00	0.00	1.65	1.65	1.65	0.00	0.00	4.95	1.65	0.00	3.30	1.65	16.50	6.60	60.0%
21	AAS-724	15.50	0.00	1.72	0.00	1.72	0.00	1.72	3.44	1.72	0.00	0.00	3.44	1.72	0.00	15.50	6.89	55.6%
22	AJQ-871	15.50	1.55	0.00	1.55	0.00	0.00	1.55	1.55	1.55	3.10	1.55	0.00	1.55	1.55	15.50	6.20	60.0%
23	AJM-812	15.50	0.00	0.00	0.00	3.44	0.00	1.72	0.00	1.72	1.72	3.44	1.72	0.00	0.00	15.50	8.61	44.4%
24	AJM-905	12.00	1.33	0.00	2.67	1.33	1.33	1.33	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33	1.33	12.00	5.33	55.6%
25	AJP-912	10.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	10.00	4.00	60.0%
26	AJP-914	10.50	1.31	0.00	0.00	1.31	1.31	1.31	2.63	1.31	0.00	0.00	0.00	1.31	0.00	10.50	6.56	37.5%
27	AMR-702	6.50	0.00	0.00	1.63	1.63	0.00	0.00	0.00	1.63	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	3.25	50.0%
28	AMP-869	6.50	1.63	0.00	1.63	1.63	0.00	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	4.88	25.0%
29	AMP-923	6.75	0.00	1.69	1.69	0.00	0.00	1.69	0.00	0.00	0.00	1.69	0.00	0.00	0.00	6.75	1.69	75.0%
30	AMQ-811	6.50	0.00	0.00	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.63	1.63	0.00	1.63	0.00	6.50	1.63	75.0%
31	AMQ-894	6.50	0.00	0.00	0.00	1.30	1.30	0.00	1.30	2.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	3.90	40.0%
32	ART-705	6.00	1.50	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	3.00	50.0%
33	ART-816	5.00	0.00	1.25	0.00	1.25	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	5.00	2.50	50.0%
34	ART-791	5.00	1.67	1.67	0.00	0.00	0.00	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	3.33	33.3%
35	ART-855	5.50	0.00	0.00	0.00	1.38	0.00	0.00	1.38	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38	1.38	5.50	2.75	50.0%
36	ART-859	7.00	1.17	0.00	1.17	1.17	0.00	1.17	0.00	0.00	0.00	1.17	0.00	1.17	0.00	7.00	4.67	33.3%
37	AWD-734	4.50	0.00	1.50	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	4.50	1.50	66.7%
38	AWD-736	5.00	1.25	0.00	0.00	1.25	1.25	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	2.50	50.0%
39	AWD-744	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67	0.00	1.67	1.67	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	100.0%
40	AWD-781	8.00	0.00	0.00	1.14	1.14	0.00	1.14	1.14	2.29	0.00	0.00	0.00	1.14	0.00	8.00	5.71	28.6%
41	AWD-784	6.00	1.50	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	6.00	3.00	50.0%
	<b>PROMEDIO</b>	<b>13.82</b>	<b>1.17</b>	<b>1.05</b>	<b>1.11</b>	<b>1.33</b>	<b>0.61</b>	<b>1.38</b>	<b>1.03</b>	<b>1.07</b>	<b>1.06</b>	<b>0.88</b>	<b>0.91</b>	<b>1.48</b>	<b>0.76</b>	<b>566.50</b>	<b>263.48</b>	<b>53.07%</b>

## Anexo 14 Procedimientos - Sistemas de Unidades en Función de Fallas

Tabla 26 Sistemas de una Tracto camión (Unidades)

SISTEMAS - TRACTO CAMION	ESTADO
Motor	CRITICO
Sistema de Lubricacion	SEMI CRITICO
Sistema de Refrigeración	SEMI CRITICO
Sistema de Transmision	CRITICO
Sistema de Suspensión	SEMI CRITICO
Sistema de Frenos	CRITICO
Sistema de Dirección	SEMI CRITICO
Sistema Electrico	CRITICO
Sistema de Combustible	SEMI CRITICO
Sistema de Neumatico	NO CRITICO
Accesorios	NO CRITICO
Llantas	CRITICO
Chasis	NO CRITICO

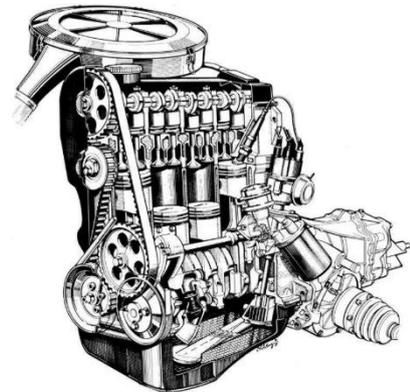
### Sistema Motor

Es el sistema de un vehículo que a través de piezas y componentes convierte la energía de combustión interna en energía mecánica, este sistema cuenta con componentes y partes como bloque del motor o monoblock, cigüeñal, culata, pistones, camisas, segmentos o anillos, bielas, cojinetes, válvulas, eje de levas, balancines, varillas, engranajes de distribución, compresora, dámper, turbo alimentador, inyectores, y cárter. Fuente: aporte por la experiencia del autor

Figura n.º 1. Motor Cummins ISX de motor



Figura n.º 2. Corte seccional de motor

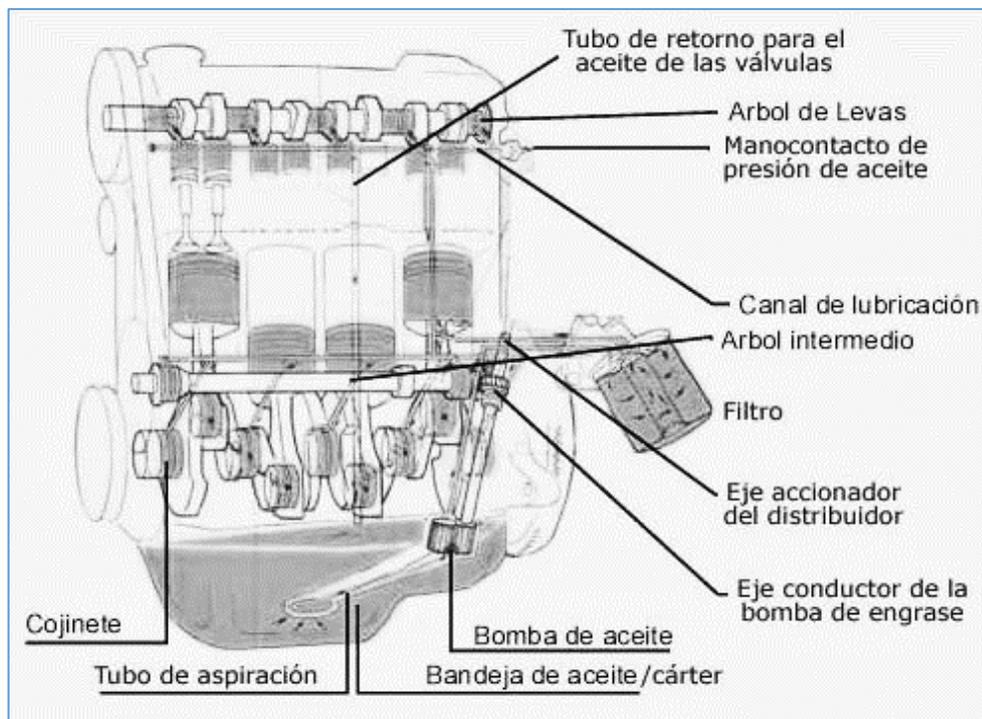


Fuente: Página Oficial de Motores Cummins Inc. <http://cumminsengines.com>  
Fuente: Página de Contenidos: <https://www.thinglink.com/scene/516289667461545984>

## Sistema de Lubricación

La función principal del sistema de lubricación es evitar el desgaste de las piezas ya sea en el motor, caja de cambios o diferenciales creando una capa de lubricante ya sea a través de presión generada por una bomba de aceite o por salpicado entre las piezas que se encuentran siempre rozando y en constante movimiento. Este sistema está compuesto por una bomba de aceite, colador, válvulas de presión y de desfogue, filtros de aceites, enfriadores de aceite, manómetro de aceite, sensor de presión de aceite, luz de testigo y conductos de aceite. Fuente: aporte por la experiencia del autor

Figura n.º 3. Elementos susceptibles a lubricación dentro del motor



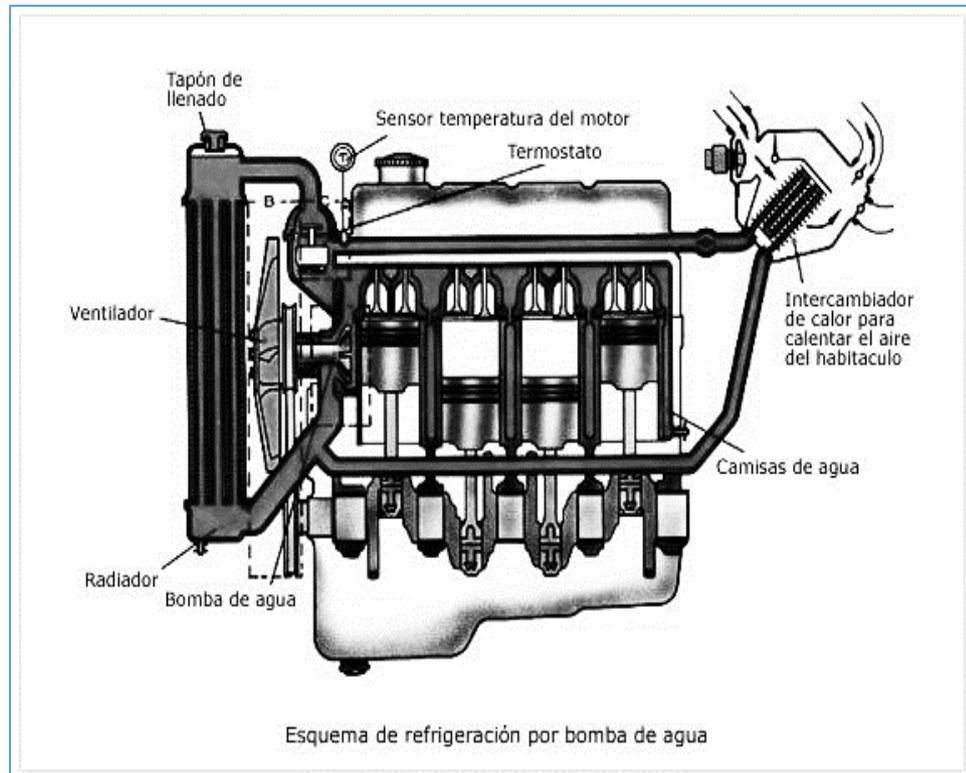
Fuente: Blog de Mecánica Diésel. <http://mecanicadiesellive.blogspot.pe/p/textos.html>

## Sistema de refrigeración

Este sistema cumple la función de eliminar el calor y mantener la temperatura dentro de los rangos seguros de operación tanto en exteriores e interiores para obtener un óptimo desempeño del motor o caja de cambios, regulando la temperatura ideal de los lubricantes y de demás líquidos para que no pierdan sus propiedades y así disminuir el desgaste de partes o piezas por calor, grietas, etc. En nuestra flota vehicular dicho sistema cuenta con los siguientes

componentes: Líquido refrigerante, bomba de agua, contenedora de agua, filtro de agua, ventilador fandutch o térmica, radiador, tapa de radiador, intercooler, termostato, poleas y bandas, intercambiadores de calor (aceite para los motores diésel y caja de cambios). Fuente: aporte por la experiencia del autor.

Figura n.º 4. Sistema de refrigeración del motor

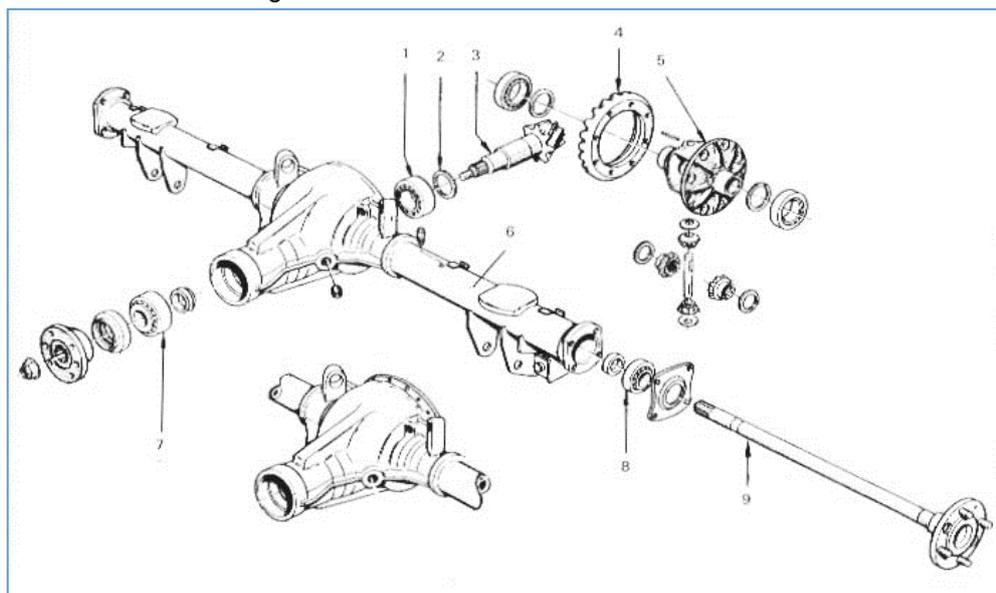


Fuente: Página Técnica Mecánica. <http://www.aficionadosalamecanica.com/refrigeracion-motor.htm>

### **Sistema de Transmisión:**

Es el conjunto de elementos que tiene misión de hacer llegar el giro del motor a las ruedas motrices, con este sistema también se consigue variar la relación de transmisión entre el cigüeñal y las ruedas. Esta relación puede variar en función de las circunstancias del momento (carga transportada y trazado de la carretera). Este sistema está compuesto por elemento como un conjunto de embrague, una caja de cambios de velocidades (puede ser mecánica o automática), árbol de transmisión, bridas, soporte de árbol de transmisión con rodamiento, crucetas o juntas cardánicas, diferencial, palieres o árbol rígidos. Fuente: aporte por la experiencia del autor.

Figura n.º 5. Diferencial de transmisión.

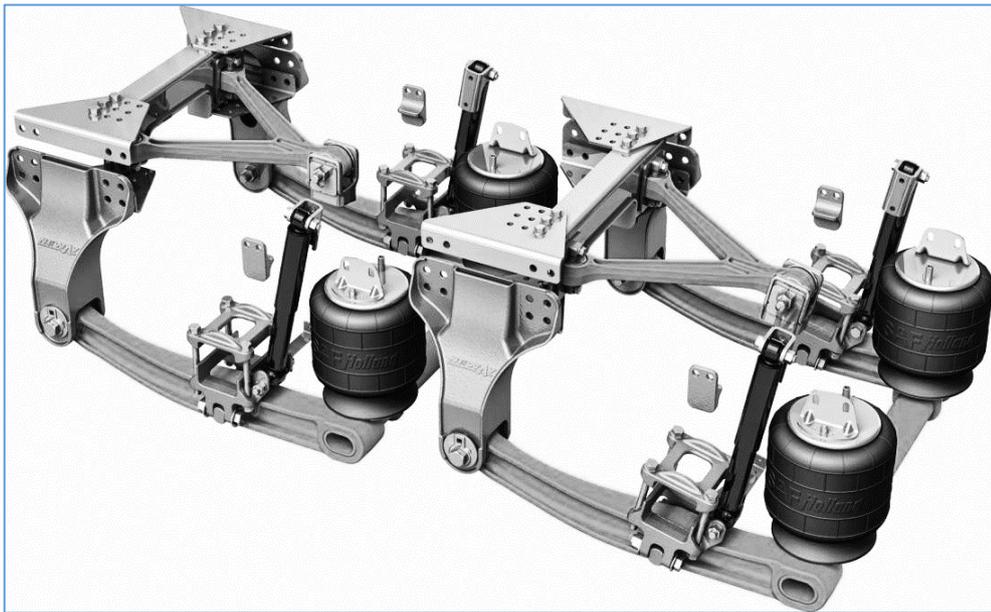


Fuente: Revista Electrónica Todo Mecánica <http://www.todomecanica.com/blog/34-puente-trasero-y-diferencial.html>

### **Sistema de Suspensión**

Se constituye como el conjunto de piezas cuya función principal es mantener los neumáticos en contacto con el piso, reduciendo las vibraciones y movimientos que se generen por el desplazamiento del vehículo o tráiler en los diferentes terrenos de forma que se afecte lo menos posible el chasis y toda la estructura vehicular, al igual que la carga y el conductor. Forman parte de este grupo de actividades los componentes como muelles del cabezote, los amortiguadores, soporte de muelles, barras estabilizadoras en el tándem, bolsas de aire, regulador de presión de aire, mangueras de presión de aire. Fuente: Cano (2011) y aporte por la experiencia del autor.

Figura n.º 6. Suspensión neumática en un tracto camión



Fuente: Revista Post Venta Automotriz <http://talleractual.com/pesados/850-volvo-trucks-presenta-su-nueva-suspension-neumatica>

### **Sistema de frenos**

Consiste en un conjunto de dispositivos que tienen como función principal disminuir, desacelerar o detener el vehículo que se encuentra en marcha. En nuestra flota de tracto camiones se emplean frenos de tambor en que un elemento de fricción (pastillas o zapatas) es presionado contra la superficie inferior del tambor que gira y este a su vez se encuentra acoplado a las ruedas. Conforman este sistema las piezas y componentes como tambores, zapatas de freno, levas y rodillos, pulmones de freno, machine brakes, resortes, raches o martillos, rodajes y boca masa. Fuente: Cano (2011) y complementado por la experiencia del autor.

Figura n.º 7. Frenos con ABS para un tracto camión

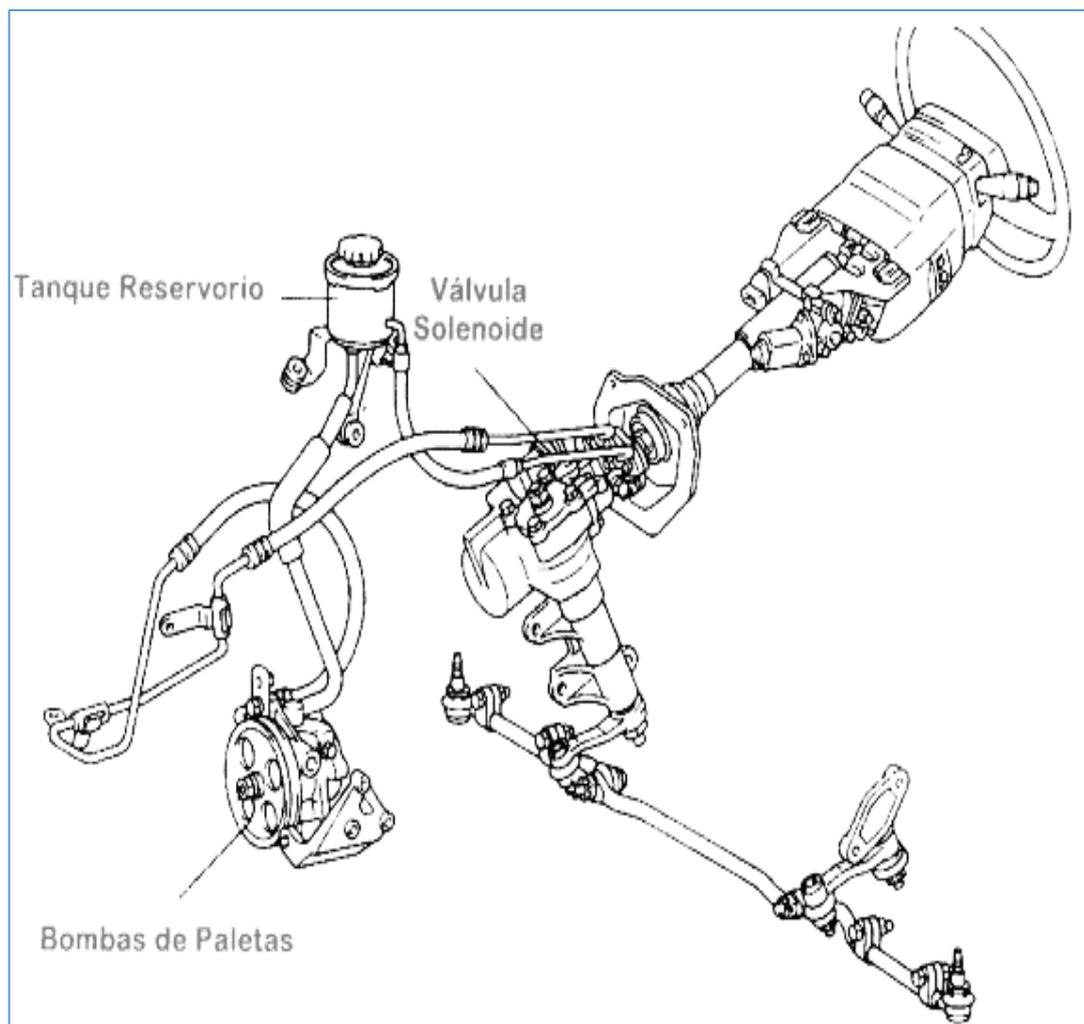


Fuente: Blog de Ingeniería Mecánica. <http://imgmecanica.blogspot.pe/2014/11/sistema-de-frenos-abs-para-camiones.html>

## Sistema de dirección

Tiene como función principal orientar las ruedas delanteras (o directrices) en el vehículo según el requerimiento del conductor y consta de elementos como la caja de dirección, bomba hidráulica, crucetas y terminales de dirección, caña o columna de dirección, timón del vehículo. Fuente: Cano (2011)

Figura n.º 8. Dirección de piñón y cremallera



Fuente: Página de Contenidos varios. <http://cintados.uphero.com/143/direccion-de-pinion-y-cremallera.html>

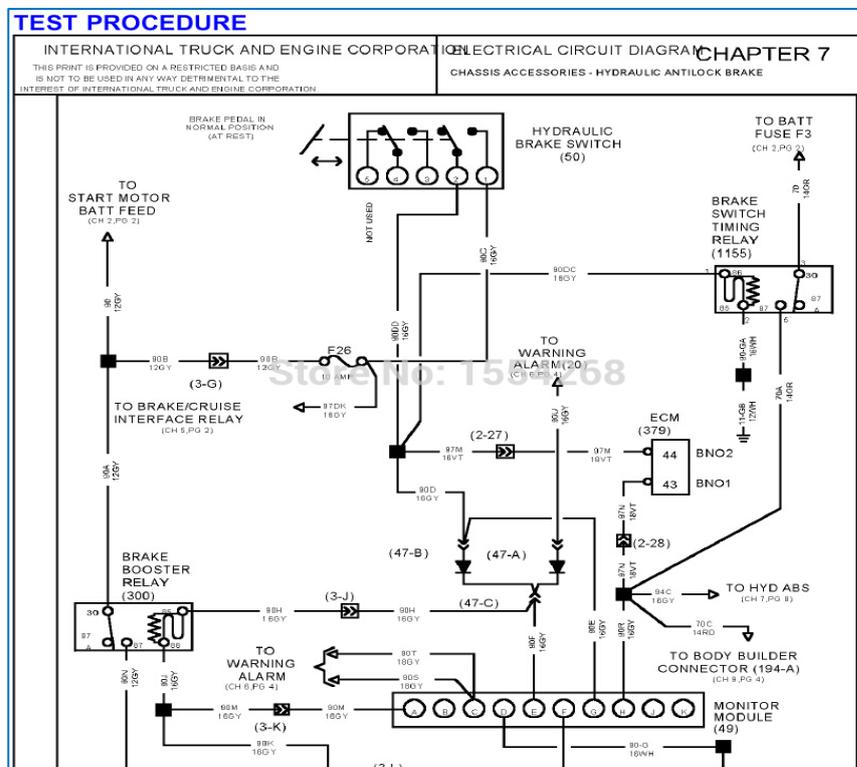
## Sistema eléctrico

Consiste en todo el conjunto de componentes por medio de los cuales se realizan los fenómenos eléctricos generados en el vehículo y que cumplen funciones de comunicación y transmisión de señales en diferentes componentes del vehículo o tráiler, integra las actividades o piezas relacionadas con el sistema de luces, el de arranque, el alternador, las baterías, funcionamiento de piezas eléctricas y electrónicas en el tablero como relojes de medición, switches, sensores, módulo de control eléctrico (ECU) del motor y del tablero. Fuente: Cano (2011) y aporte por la experiencia del autor.

Figura n.º 9. Tablero con instrumentación de tractocamión International



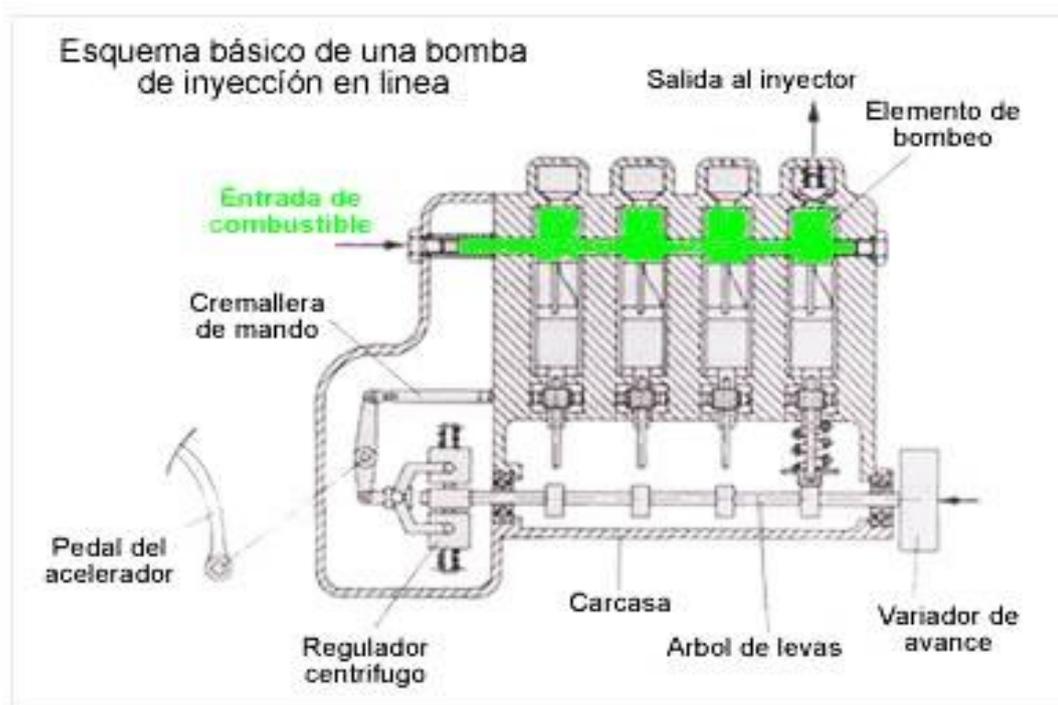
Fuente: Magazine Transporte Latino. <http://www.transportelatino.net/2014/01/04/guia-vocacionales-multifuncionales/>



## Sistema de combustible

Conocido también como sistema de alimentación de combustible y tiene como función suministrar el combustible necesario para el funcionamiento del motor. Este sistema está dividido en circuito de alta presión (encargado de impulsar el combustible a una presión determinada para ser introducidos en la cámara de combustión) y circuito de baja presión (que es el encargado de llevar el combustible desde el depósito en el que se encuentra almacenado hasta la bomba de inyección). Dicho sistema se encuentra compuesto por los siguientes elementos: depósito de combustible (tanque de combustible), bomba de alimentación, filtros de combustible, inyector bomba (en caso de vehículos de carga pesada), conductos y mangueras de ingreso y retorno de combustible. Fuente: aporte por la experiencia del autor.

Figura n.º 10. Bomba de combustible y su operación.



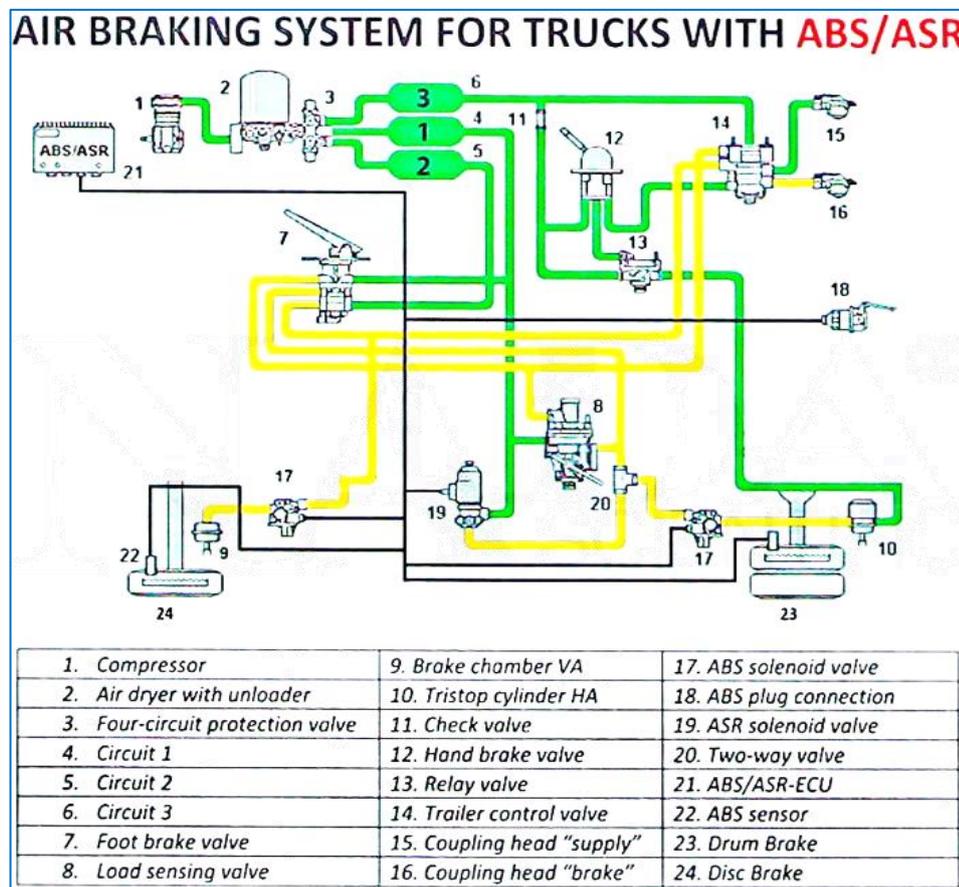
Fuente: Página Técnica Mecánica. <http://www.aficionadosalamecanica.net/curso-bomba-linea.htm>

## Sistema neumático:

Tiene como función principal alimentar de aire comprimido a los diferentes sistemas y accesorios que lo necesiten, siendo generado por una compresora engranada en la distribución del motor, va de la mano con el sistema de frenos

y son la fuente de energía para que realicen el trabajo útil de forma que sea efectiva detener el tracto camión y tráiler o remolque, también sirve como alimentación del sistema de suspensión de bolsa de aire. Este sistema se usa básicamente en vehículos de transporte de carga pesada y se conoce como sistema de aire comprimido y forman de parte de este sistema el compresor de aire, el gobernador (regulador de aire), válvulas de aire, cámaras de freno de seguridad, secador de aire, pulpo de distribución de mangueras de aire, tanques de almacenamiento de aire comprimido, purgadores de aire, válvulas de desfogue de sobrepresión de aire. Fuente: aporte por la experiencia del autor.

Figura n.º 11. Sistema Neumático Tracto camion.



### Accesorios

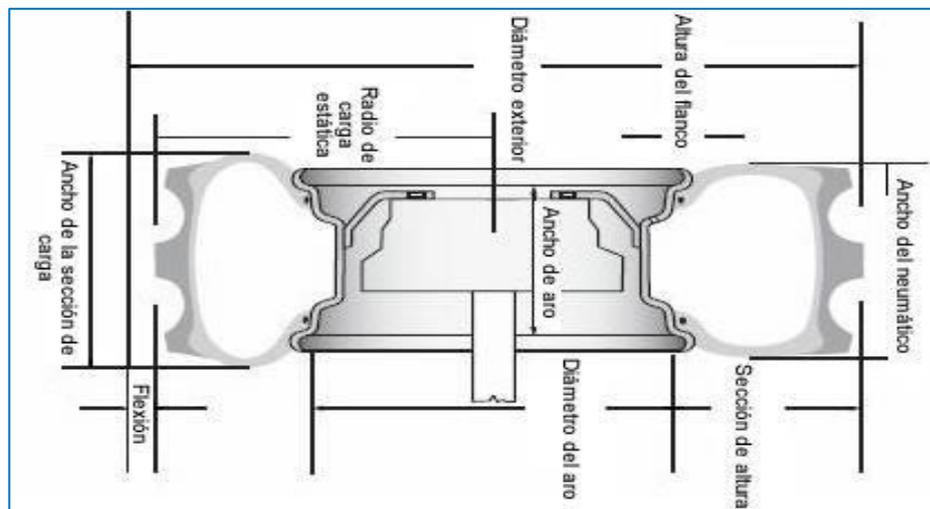
Tiene como objetivo mejorar el rendimiento del vehículo, mejorar y facilitar el estado de manejo del conductor en base a la comodidad, proteger al conductor, al peatón o usuarios de las carreteras y las cargas transportadas, existe una amplia gama de estos componentes los cuales detallaremos los más importantes como, limpia parabrisas, claxon, cinturones de seguridad,

bosas de aire anti-impacto, alarma de retroceso, GPS, espejos laterales y retrovisores, hubudómetros, radio y camarote. Fuente: aporte por la experiencia del autor.

## Neumáticos

Conocidos como llantas y se concibe como un cuerpo negro, cilíndrico compuesto por tejidos, fibras de acero, cauchos y compuestos químicos que en conjunto con un rin (específicamente llantas radiales que son los que usa la empresa) permiten absorber impactos de la superficie del camino, soportar cargas, permitir tracción y frenado a la superficie de camino, así como permitir apoyado en el sistema de dirección el cambio de rumbo del vehículo. En este conjunto se encuentran los neumáticos originales para el eje delantero o de dirección del vehículo y originales y reencauchadas para los ejes posteriores o de tracción. Tiene como componentes el neumático en sí, aros del neumático y pitones. Fuente: Cano (2011).

Figura n.º 12. Partes de un neumático



## Chasis y quinta rueda:

Este sistema consiste en un conjunto de viguetas o listones metálicos paralelos unidos por puentes metálicos y aletas de ajuste de la estructura que van de punta a punta del cabezote (específicamente en el caso de transporte pesado) o tráiler en el cual se apoyan los demás elementos constitutivos del cabezote o vehículo y del tráiler. La quinta rueda consiste en la base sobre la que se apoya

el tráiler o remolque a enganchar y que permite el correcto acople con el tracto camión y un seguro desplazamiento de los mismos.

Este grupo funcional está compuesto por vigas principal del chasis, puentes de soporte de viga a viga, aletas de los puentes y como parte del chasis incluiremos a la cabina del vehículo. Fuente: aporte por la experiencia del autor.

Figura n.º 13. Chasis y quinta rueda en un tracto camión



Fuente: Portal del Transporte Mexicano. <http://www.transporte.mx/que-es-la-quinta-rueda-del-tractocamion/>