



Análisis mecánico estructural del sistema de transmisión de potencia de una tricimoto marca CUSHMAN mediante el uso de herramientas CAE

Carrillo Vivanco, Ronny Alexander y Melo Recalde, Cristian David

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio

Latacunga, 2 de agosto del 2021



DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, **“ANÁLISIS MECÁNICO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA DE UNA TRICIMOTO MARCA CUSHMAN MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS CAE”**, fue realizado por los señores **CARRILLO VIVANCO, RONNY ALEXANDER** y **MELO RECALDE, CRISTIAN DAVID** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 30 de julio de 2021.



Firmado electrónicamente por:
**GUILLERMO
MAURICIO CRUZ
ARCOS**

ING. CRUZ ARCOS, GUILLERMO MAURICIO

C.C.: 0503010555

Urkund

Document Information

Analyzed document	ANÁLISIS MECÁNICO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA DE UNA TRICI MOTO MARCA CUSHMAN.pdf (D110881355)
Submitted	7/30/2021 6:03:00 PM
Submitted by	Cruz Arcos Guillermo Mauricio
Submitter email	gmcruz@espe.edu.ec
Similarity	5%
Analysis address	gmcruz.espe@analysis.orkund.com





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autoría de Responsabilidad

Nosotros, **Carrillo Vivanco, Ronny Alexander** y **Melo Recalde, Cristian David**, manifestamos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS MECÁNICO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA DE UNA TRICIMOTO MARCA CUSHMAN MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS CAE”**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 30 de julio de 2021.

.....
Carrillo Vivanco, Ronny Alexander

C.C.: 1752836567

.....
Melo Recalde, Cristian David

C.C.: 1003853973



DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autorización

Nosotros, **Carrillo Vivanco, Ronny Alexander y Melo Recalde, Cristian David**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS MECÁNICO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA DE UNA TRICIMOTO MARCA CUSHMAN MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS CAE”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 30 de julio de 2021.

.....
Carrillo Vivanco, Ronny Alexander

C.C.: 1752836567

.....
Melo Recalde, Cristian David

C.C.: 1003853973

Agradecimiento

Quiero agradecer a mi familia, por todo el apoyo brindado y la oportunidad que me dieron de desenvolverme en otra ciudad.

A mis amigos por su genial compañía e incondicional fraternidad durante toda esta trayectoria.

A Erika por llegar a mi vida y enseñarme que el amor es importante.

A los exiguos ingenieros que verdaderamente desarrollan apropiadamente su labor como docente y lograron plasmar en mí su conocimiento, aportando a mi desarrollo académico y personal.

Agradezco a mi tutor el Ingeniero Mauricio Cruz quien siempre estuvo dispuesto a compartir sus conocimientos, experiencia y tiempo para guiar el desarrollo de este proyecto.

RONNY ALEXANDER CARRILLO VIVANCO

Dedicatoria

Esta tesis la dedico a mi padre Carlos y a mi madre Clarita, por enseñarme que con paciencia se pueden lograr grandes cosas.

A mi abuelita Susana y Abuelito Carlos, por darme sus consejos y sabiduría a lo largo de este camino.

A mi tía Katty por brindarme su ayuda con mi estado de salud, que representó un desafío en la trayectoria de mi formación académica.

A mi prima Susy por ayudarme en la transición de ciudad, abrirme las puertas de su hogar y por estar junto a mí desde el comienzo hasta la culminación de mi carrera universitaria.

Y a mi querido Ecuador, que espero con el desarrollo de este trabajo ayudar a su desarrollo y el de su gente.

RONNY ALEXANDER CARRILLO VIVANCO

Agradecimiento

Llegar a culminar mi carrera universitaria no fue fácil, existieron muchas personas durante este trayecto, que con sus consejos me ayudaron a motivarme y continuar, es por eso que agradezco a mis padres, hermanos, amigos y profesores que, gracias a sus consejos, fomentaron en mí esa inspiración para lograr esta meta.

A Gabriela mi mujercita bella, te agradezco por estar ahí junto a mí, ayudándome en lo que más podías, afrontando juntos dificultades y alegrías, ahora podemos decir juntos lo logramos corazón seré el Ingeniero de nuestro pequeño hogar.

Doy las gracias a mi tutor Ingeniero Mauricio Cruz por brindarnos su valiosa colaboración durante el desarrollo del presente proyecto.

Gracias a mi colega y compañero de tesis Ronny, por aportar su tiempo y conocimiento para lograr culminar el proyecto.

CRISTIAN DAVID MELO RECALDE

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación, que me permitirá alcanzar una nueva meta en mi vida académica y será el cimiento principal para emprender en el campo laboral profesional, se lo dedico a mi familia.

A mi madre Magolita y mi padre José que desde el comienzo me supieron brindar su confianza y apoyo incondicional en todos los aspectos para jamás desmayar en este trayecto para obtener mi título de Ingeniero Automotriz, aquel que de niño fue un sueño y ahora pasa a ser parte de mi realidad

A Yuliana mi hijita quien fue mi principal enfoque para poder seguir adelante con mis estudios universitarios y mostrarle desde pequeña que todo esfuerzo y dedicación tiene al final su valiosa recompensa.

CRISTIAN DAVID MELO RECALDE

Tabla de contenido

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Urkund.....	3
Autoría de Responsabilidad	4
Autorización.....	5
Agradecimiento	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento	8
Dedicatoria.....	9
Tabla de contenido.....	10
Índice de tablas	18
Índice de Figuras.....	20
Índice de ecuaciones	23
Resumen	24
Abstract.....	25
Marco metodológico de la investigación.....	26
Antecedentes investigativos	26
Planteamiento del problema.....	29
Descripción resumida de la investigación	31

Justificación e importancia	33
Objetivos generales y específicos	35
<i>Objetivo general</i>	35
<i>Objetivos específicos</i>	35
Metas	36
Hipótesis	37
Variables de investigación.....	37
<i>Variable independiente</i>	37
<i>Variable dependiente</i>	38
Marco teórico.....	40
Introducción al Sistema de Transmisión de Potencia Automotriz.....	40
Trenes de Potencia Mecánica según la transmisión de potencia hacia las ruedas.....	40
<i>Tipo de Transmisión 2WD (Two Wheel Drive)</i>	40
<i>Tipo de Transmisión 4WD (Four Wheel Drive)</i>	41
Tren de potencia de la tricimoto CUSHMAN modelo 898454-8710	42
Partes del Sistema de Transmisión de Potencia de la tricimoto CUSHMAN.....	43
<i>Embrague</i>	44
<i>Caja de cambios</i>	45

<i>Árbol de transmisión</i>	46
<i>Diferencial</i>	46
<i>Palieres</i>	47
Circuito de funcionamiento cinemático del sistema	48
<i>Fase de Generación de Potencia (Motor)</i>	48
<i>Torque del motor</i>	48
<i>Fase inicial (Embrague)</i>	49
<i>Fase inicial de reducción (Caja de Cambios)</i>	50
<i>Relación de transmisión de la caja de cambios</i>	50
<i>Velocidad de rotación</i>	52
<i>Torque de la marcha</i>	53
<i>Potencia de la marcha</i>	53
<i>Relación de la distancia entre ejes de la caja de cambios</i>	54
<i>Fase intermedia (Árbol de Transmisión)</i>	55
<i>Fase final (Diferencial/Palieres/Ruedas)</i>	56
Funciones que cumplen cada una de las partes que componen el sistema de transmisión	56
<i>Función del embrague</i>	56
<i>Función de la caja de cambios</i>	57

<i>Función del diferencial</i>	57
<i>Función del árbol de transmisión y palieres</i>	59
Mantenimiento del sistema de transmisión	59
<i>Mantenimiento del sistema del embrague</i>	60
<i>Mantenimiento de la caja de cambios manual</i>	61
Normativas	62
<i>Manual desensamble del vehículo CUSHMAN modelo 898454-8710</i>	62
Ensayos para determinar propiedades mecánicas y químicas del eje palier del sistema de transmisión de potencia.	64
<i>Ensayo de tracción según la Norma NTE INEN 109</i>	64
<i>Ensayo de espectrometría</i>	67
Tratamientos térmicos para mejorar las propiedades mecánicas del eje palier del sistema de transmisión de potencia.	67
<i>Tratamiento térmico T6 para aluminio</i>	67
<i>Tratamiento térmico de cementación para aceros</i>	67
Materiales empleados en la fabricación de ejes	68
<i>AISI 1018 - Cementado</i>	68
<i>AISI 4340</i>	70
<i>Aluminio 7075 – T6</i>	72
Software de simulación	73

<i>Software CAD</i>	73
<i>Software CAE</i>	74
Análisis matemático realizado por el software CAE en los elementos motrices	79
<i>Resistencias de los engranes</i>	79
<i>Resistencia a la falla por contacto superficial σ_H</i>	79
<i>Esfuerzo de contacto admisible $\sigma_H a$</i>	80
<i>Potencia máxima para la resistencia a la picadura</i>	81
<i>Factores y valores comunes</i>	82
Dimensiones representativas de los engranajes	83
<i>Diámetro principal</i>	84
<i>Diámetro exterior</i>	85
<i>Diámetro de raíz</i>	85
<i>Paso circular</i>	86
<i>Distancia entre centros</i>	86
Pruebas y ensayos	88
Introducción	88
Equipos	88
<i>Maquina universal de ensayos</i>	88

<i>Espectrómetro de chispa</i>	89
Ensayo de resistencia a la tracción	90
<i>Probetas para realizar el ensayo de tracción</i>	90
<i>Desarrollo del ensayo de tracción</i>	92
<i>Resultados ensayo de tracción</i>	93
Ensayo de espectrometría	94
<i>Muestra para la ejecución del ensayo de espectrometría</i>	94
<i>Desarrollo del ensayo de espectrometría</i>	94
<i>Resultados ensayo de espectrometría</i>	95
Cálculo de las cargas en el sistema de transmisión	96
Introducción	96
Datos proporcionados por el manual del fabricante	96
Datos obtenidos mediante investigación de campo	96
Datos obtenidos mediante teoría de diseño	98
Desarrollo del cálculo del sistema	98
<i>Torque del motor</i>	98
<i>Cálculo caja de cambios</i>	98
<i>Cálculo de las velocidades</i>	101
Análisis del tren de potencia en software de simulación CAD/CAE	110

Introducción	110
Software CAD	110
<i>Caja de cambios representada en software CAD.....</i>	<i>111</i>
<i>Árbol de transmisión representado en software CAD.....</i>	<i>112</i>
<i>Diferencial representado en software CAD.....</i>	<i>113</i>
<i>Eje palier representado en software CAD</i>	<i>113</i>
<i>Sistema del tren de potencia representado en software CAD.....</i>	<i>114</i>
Software CAE.....	115
<i>Valores obtenidos en el software CAE de los elementos que componen el sistema del tren de potencia.</i>	<i>116</i>
<i>Análisis del eje de salida o palier en software CAE.....</i>	<i>120</i>
Análisis de resultados	126
Introducción	126
Análisis de ensayos	126
<i>Análisis del ensayo de tracción.....</i>	<i>126</i>
<i>Análisis del ensayo de espectrometría.....</i>	<i>126</i>
Análisis software CAE	128
<i>Análisis del factor de seguridad.....</i>	<i>128</i>
<i>Análisis del ciclo de vida.....</i>	<i>129</i>

<i>Análisis del esfuerzo de Von Mises</i>	<i>129</i>
<i>Análisis de la deformación total.....</i>	<i>130</i>
<i>Análisis de la fabricación del eje palier.....</i>	<i>131</i>
Marco administrativo	133
Introducción	133
<i>Recursos humanos.....</i>	<i>133</i>
<i>Recursos tecnológicos.....</i>	<i>133</i>
<i>Recursos materiales</i>	<i>134</i>
<i>Costo total de la investigación</i>	<i>135</i>
Conclusiones y recomendaciones	136
Conclusiones.....	136
Recomendaciones.....	138
Bibliografía.....	140
Anexos	145

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Variable independiente</i>	37
Tabla 2 <i>Variable dependiente</i>	38
Tabla 3 <i>Símbolos y unidades del ensayo de resistencia interna al corte.</i>	65
Tabla 4 <i>Propiedades Acero AISI 1018 – Cementado</i>	69
Tabla 5 <i>Propiedades Acero AISI 4340</i>	71
Tabla 6 <i>Propiedades Aluminio 7075 – T6</i>	72
Tabla 7 <i>Resistencias admisibles, σF y σFP, para engranajes de acero</i>	82
Tabla 8 <i>Resultados del ensayo de tracción</i>	93
Tabla 9 <i>Resultados del ensayo de espectrometría</i>	95
Tabla 10 <i>Resultados cálculo de las velocidades</i>	109
Tabla 11 <i>Resultados obtenidos en software CAE de los componentes del tren de potencia de la tricimoto CUSHMAN</i>	117
Tabla 12 <i>Tipos materiales con sus propiedades utilizados en la simulación CAE para el eje palier</i>	120
Tabla 13 <i>Resultados obtenidos en CAE del eje palier utilizando acero AISI 1018 - Cementado</i>	121
Tabla 14 <i>Resultados obtenidos en CAE del eje palier utilizando acero AISI 4340</i>	123
Tabla 15 <i>Resultados obtenidos en CAE del eje palier utilizando Aluminio 7075 – T6</i> ..	124
Tabla 16 <i>Comparación de la composición química del material original con el que está fabricado el eje palier del sistema de transmisión CUSHMAN vs el acero AISI 1018 - Cementado, acero AISI 4340 y aluminio 7075 T6</i>	127
Tabla 17 <i>Resultados del factor de seguridad del eje palier en los diferentes tipos de materiales obtenidos en la simulación CAE</i>	129

Tabla 18 <i>Resultados de la deformación total del eje palier en los diferentes tipos de materiales obtenidos en la simulación CAE</i>	130
Tabla 19 <i>Presupuestos para la fabricación del eje palier según el tipo de material</i>	131
Tabla 20 <i>Recursos humanos</i>	133
Tabla 21 <i>Recursos tecnológicos</i>	134
Tabla 22 <i>Recursos materiales</i>	134
Tabla 23 <i>Costo total de la investigación</i>	135

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Árbol de problemas</i>	31
Figura 2 <i>Transmisión 2WD trasera</i>	41
Figura 3 <i>Transmisión 4WD</i>	42
Figura 4 <i>Tricimotor CUSHMAN</i>	43
Figura 5 <i>Componentes del sistema de transmisión CUSHMAN</i>	43
Figura 6 <i>Componentes del del Embrague CUSHMAN</i>	44
Figura 7 <i>Caja de cambios CUSHMAN</i>	45
Figura 8 <i>Árbol de transmisión CUSHMAN</i>	46
Figura 9 <i>Diferencial CUSHMAN</i>	47
Figura 10 <i>Palieres CUSHMAN</i>	48
Figura 11 <i>Relación de transmisión de la caja de cambios</i>	51
Figura 12 <i>Distancia entre ejes de la caja de cambios</i>	54
Figura 13 <i>Función del embrague</i>	56
Figura 14 <i>Recorrido de las ruedas de un vehículo girando hacia la derecha.</i>	58
Figura 15 <i>Árbol de transmisión y palieres.</i>	59
Figura 16 <i>Mantenimiento de la caja de cambios</i>	62
Figura 17 <i>Manual de servicio CUSHMAN</i>	63
Figura 18 <i>Definiciones de límite de fluencia superior y límite de fluencia inferior para diferentes tipos de curvas</i>	66
Figura 19 <i>Árbol de levas en acero AISI 1018</i>	69
Figura 20 <i>Ejes en acero AISI 4340</i>	70
Figura 21 <i>Eje aluminio 7075 – T6</i>	72
Figura 22 <i>Boceto F1 realizado en software CAD</i>	74

Figura 23 <i>Visualización de una simulación MEF de la Carrocería de un vehículo.....</i>	76
Figura 24 <i>Tipos de elementos finitos</i>	77
Figura 25 <i>Método de mallado en Software CAE</i>	78
Figura 26 <i>Dimensiones en un engranaje</i>	84
Figura 27 <i>Máquina universal de ensayos.....</i>	89
Figura 28 <i>Espectrómetro de chispa marca BRUKER modelo Q2 ION</i>	90
Figura 29 <i>Probetas maquinadas.....</i>	91
Figura 30 <i>Dimensiones de la probeta de sección circular bajo la norma ASTM E8.....</i>	91
Figura 31 <i>Probeta montada en máquina universal de ensayos.....</i>	92
Figura 32 <i>Probetas después del ensayo de tracción.....</i>	93
Figura 33 <i>Ensayo de espectrometría</i>	95
Figura 34 <i>Piñones y engranes de la caja de cambios de la tricimoto CUSHMAN</i>	97
Figura 35 <i>Configuración de engranajes en primera velocidad</i>	103
Figura 36 <i>Configuración de engranajes en segunda velocidad.....</i>	104
Figura 37 <i>Configuración de engranajes en tercera velocidad</i>	106
Figura 38 <i>Configuración de engranajes en marcha reversa.....</i>	108
Figura 39 <i>Secuencia para realizar el proceso del modelado en general</i>	111
Figura 40 <i>Caja de cambios modelada en software CAD.....</i>	112
Figura 41 <i>Árbol de transmisión modelado en software CAD.....</i>	112
Figura 42 <i>Diferencial modelado en software CAD</i>	113
Figura 43 <i>Eje palier modelado en software CAD</i>	114
Figura 44 <i>Sistema del tren de potencia representado en software CAD</i>	115
Figura 45 <i>Secuencia para ejecutar la simulación en software CAE</i>	115
Figura 46 <i>Diagrama de cuerpo libre del eje palier aplicado en software CAE</i>	116

Figura 47 <i>Simulación CAE eje palier utilizando acero AISI 1018 - Cementado</i>	121
Figura 48 <i>Simulación CAE eje palier con acero AISI 4340</i>	122
Figura 49 <i>Simulación CAE eje palier con Aluminio 7075 – T6</i>	124

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 <i>Torque del motor</i>	49
Ecuación 2 <i>Relación de transmisión de la caja de cambios</i>	51
Ecuación 3 <i>Velocidad de rotación</i>	52
Ecuación 4 <i>Torque de la marcha</i>	53
Ecuación 5 <i>Potencia de la marcha</i>	53
Ecuación 6 <i>Relación de la distancia entre ejes</i>	55
Ecuación 7 <i>Resistencia a la rodadura</i>	79
Ecuación 8 <i>Esfuerzo de contacto admisible</i>	80
Ecuación 9 <i>Potencia máxima para la resistencia a la picadura</i>	81
Ecuación 10 <i>Diámetro principal</i>	84
Ecuación 11 <i>Diámetro exterior</i>	85
Ecuación 12 <i>Diámetro de raíz</i>	85
Ecuación 13 <i>Paso circular</i>	86
Ecuación 14 <i>Distancia entre centros</i>	86

Resumen

En la presente investigación, se analiza de manera ingenieril el funcionamiento del sistema de transmisión de potencia de la tricimoto marca CUSHMAN y, con este conocimiento alcanzado, poder brindar soluciones estratégicas a posibles fallas dentro del sistema. De acuerdo a la normativa CPE INEN 003, se procederá, a obtener la representación y modelado en 2D y en 3D de los componentes mecánicos del sistema de transmisión en un entorno CAD. Con la ayuda de las normas NTE INEN 109 establecida para ensayos de tracción en materiales metálicos y la ASTM E415 – 17 enfocada a ensayos de espectrometría, se realizará estudios en uno de los ejes perteneciente al sistema de transmisión, adquiriendo sus propiedades más representativas. A través del uso del software CAE se analizará el eje según el tipo de material seleccionado y parámetros externos reales, con el objetivo de conseguir datos ingenieriles fundamentales, con la finalidad de conocer la naturaleza propia del componente simulado bajo sus condiciones reales de trabajo. Como resultado de la investigación, se establecerá una tabla de costos de fabricación por mecanizado CNC o procesos de manufactura, que servirá de referencia para la construcción del eje seleccionado, de acuerdo a todas sus características obtenidas durante el estudio.

Palabras clave:

- **TRICIMOTO - SISTEMAS DE TRANSMISIÓN**
- **SOFTWARE CAE**
- **TRICIMOTO - TRACCIÓN**
- **ESPECTROMETRÍA**

Abstract

In this research, the operation of the power transmission system of the CUSHMAN brand tricimoto is analyzed in an engineering manner and, with this knowledge achieved, to be able to provide strategic solutions to possible failures within the system. According to the CPE INEN 003 standard, the representation and modeling in 2D and 3D of the mechanical components of the transmission system will be obtained in a CAD environment. With the help of the NTE INEN 109 standards established for tensile tests on metallic materials and ASTM E415 - 17 focused on spectrometry tests, studies will be carried out on one of the axes belonging to the transmission system, acquiring its most representative properties. Through the use of the CAE software, the axis will be analyzed according to the type of material selected and real external parameters, in order to obtain fundamental engineering data, in order to know the nature of the simulated component under its real working conditions. As a result of the research, a table of manufacturing costs will be established by CNC machining or manufacturing processes, which will serve as a reference for the construction of the selected axis, according to all its characteristics obtained during the study.

Keywords:

- **TRICIMOTO - TRANSMISSION SYSTEMS**
- **SOFTWARE CAE**
- **TRICIMOTO – TRACTION**
- **SPECTROMETRY**

Capítulo I

1. Marco metodológico de la investigación

1.1 Antecedentes investigativos

El sector automotriz siempre se encuentra en constante innovación, es por ello que muchos vehículos fabricados años atrás no cuentan con un amplio stock de repuestos, de ahí surge la necesidad para el dueño del automotor, es por ello que, gracias a los estudios ingenieriles, hoy en día se puede dar solución a posibles alternativas de reposición dentro de los diferentes sistemas automotrices.

(Cushman, Sistema de Transmisión, 2008) declara que “el modelo de tricimoto 898454-8710 se encuentra descontinuado en todas sus partes tanto del motor, transmisión y de carrocería a partir del año 1994.”

El hecho de que en el año 1994, la empresa CUSHMAN, haya dejado de producir elementos de repuesto para la serie 898454, hace que en el eventual caso de rotura o desgaste de un elemento motriz del tren de potencia, no exista una fuente fidedigna de reemplazo de piezas, lo que genera la necesidad de una obtención paralela que emule los mismos resultados, con el objetivo de poder hacer que el sistema funcione con la misma eficacia y eficiencia, cuidando costos de construcción y/o reposición, para la empresa Fuentes San Felipe S.A.

(Sallo Guerra, 2020) establece que “la resistencia necesaria para soportar esfuerzos de carga afecta la selección de los materiales y sus tratamientos térmicos. Varios ejes y engranes destinados a transmitir potencia, se encuentran fabricados en

acero de bajo carbono, estirado en frío o laminado en caliente, como son los aceros AISI 1020 - 1050.”

Los materiales definidos, son un elemento limitante de la simulación, además del planteamiento de posibles alternativas de fabricación, se establece que los componentes funcionales del tren estén fabricados en acero, sirve como un facilitador tentativo dentro del ambiente simulado.

El acero es un elemento de mecanizado y tratado térmico bastante común, lo que definiría una facilidad de poder dar opciones de una reposición adecuada, que sea factible para que la empresa, pueda obtener servicios a costos reducidos.

(Pérez Oropeza, 2015) define que “el costo de fabricar y/o importar elementos de un mecanismo automotriz varía de ciudad en ciudad y de una planta a otra, debido a las diferencias entre los gastos generales, mano de obra, movilidad, impuestos y las ligeras variaciones en la manufactura.”

Los costos de fabricación y/o obtención de órganos motrices del tren de potencia, serán variables si se considera que la única opción de obtener un repuesto del sistema propio de la tricimoto, es la de una búsqueda minuciosa en la sucursal principal, estando ubicada en el extranjero, con el riesgo de que no se encuentre el elemento deseado, generando costos más elevados en materia de búsqueda, movilidad e importación hacia la ciudad de Latacunga, convirtiéndose en un inconveniente económico para el departamento de mantenimiento de la empresa Fuentes San Felipe S.A.

(Budynas & Nisbett, 2008) dice que “la Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes (AGMA) ha sido durante muchos años la autoridad responsable de la difusión del conocimiento sobre el diseño y análisis de engranes.”

(Cushman M. , 1977) establece que “la transmisión de la tricimoto CUSHMAN, modelo 898454-8710, es de tracción trasera y está compuesta de una caja de cambios de 3 velocidades más reversa, un árbol de transmisión o eje cardan, un diferencial con mecanismo de tornillo sinfín – corona y ejes palier.”

La definición de que el sistema de transmisión de potencia del vehículo, hace que el dibujado y simulado se focalice únicamente en el tren de potencia tipo 2WD, elemento que es de naturaleza completamente mecánica, siendo aptos para la posibilidad de un análisis en un software CAD/CAE.

(Kutsuma Ogata, 2011) Define que “un sistema mecánico, tanto estático como dinámico, se debe utilizar un sistema de simulación CAE, si se desea tener un alto nivel de precisión, convirtiéndose así, en una herramienta útil si no se desea o no se puede generar un sistema de estudio experimental de prueba, error en un mecanismo transmisor de potencia.”

(Cushman, Sistema de Transmisión, 2008) Establece que “el sistema de transmisión de potencia es un sistema mecánico importante para el funcionamiento de las tricimotos Cushman”

(Ramírez, 2020) determina que “la tricimoto marca CUSHMAN modelo 898454-8710 perteneciente a la Empresa Fuentes San Felipe S.A., se repotenció los sistemas de transmisión, eléctrico y motor, adicionalmente con su carrocería en el año 2019 en el

laboratorio de Mecánica de Patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, donde existieron dificultades para la obtención de repuestos dentro del mercado regional, debido a que este vehículo se encuentra descontinuado en el parque automotor.”

(Cháfuel Ortega, 2017) afirma que “el software de simulación que se encuentra integrado como CAD/CAE, magnifica los esfuerzos y deformación a los que se encuentra sometido un mecanismo simulado, en función a la cantidad de datos que aporte el usuario para mejorar su precisión, con el objetivo de determinar la ubicación exacta de los lugares donde los sistemas pueden presentar roturas.”

1.2 Planteamiento del problema

Debido a que la empresa Fuentes San Felipe S.A., al contar con la tricimoto CUSHMAN Modelo 898454-8710, establece que el modelo del vehículo se encuentra fuera de producción dentro del mercado automotriz nacional y extranjero, generando una ausencia de disponibilidad mercantil de autopartes como: caja de cambios, diferencial, árbol de transmisión y palieres; surgiendo la necesidad de la ejecución de un mantenimiento correctivo o preventivo del tren de transmisión de potencia del vehículo, que economice costos de adquisición de los repuestos y se adapte dentro del mercado vehicular que se encuentra vigente en la actualidad.

En vista en que la empresa Fuentes San Felipe S.A., no realizó un mantenimiento preventivo adecuado a la tricimoto CUSHMAN, el vehículo superó su fecha de vigencia, además que la integridad mecánica del tren de potencia se vio notablemente deteriorada, dejándolo fuera de servicio y sucesivamente la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, procedió a recuperar el funcionamiento

del sistema. En el proceso, se denotó que no existe mercado de piezas de la tricimoto, dificultando de manera importante la ejecución del mantenimiento correctivo, surgiendo así la necesidad de definir una fuente de obtención de piezas mecánicas que permitan que el vehículo continúe su función en tiempos óptimos de reparación.

Ante la presencia de esta problemática, se establece que primero, es necesario determinar el tipo de material del que se encuentra elaborado uno de los componentes pertenecientes al sistema, con el objeto, de utilizar sus propiedades mecánicas como químicas representativas, determinadas mediante ensayos, para realizar una simulación, mediante el uso de software CAE aplicando condiciones de trabajo reales, obteniendo resultados acorde a la práctica; y además, proponer una tabla de valores para el proceso de mecanizado del elemento analizado, que desempeñe un funcionamiento lo más cercano posible a los componentes que inicialmente integran el mecanismo.

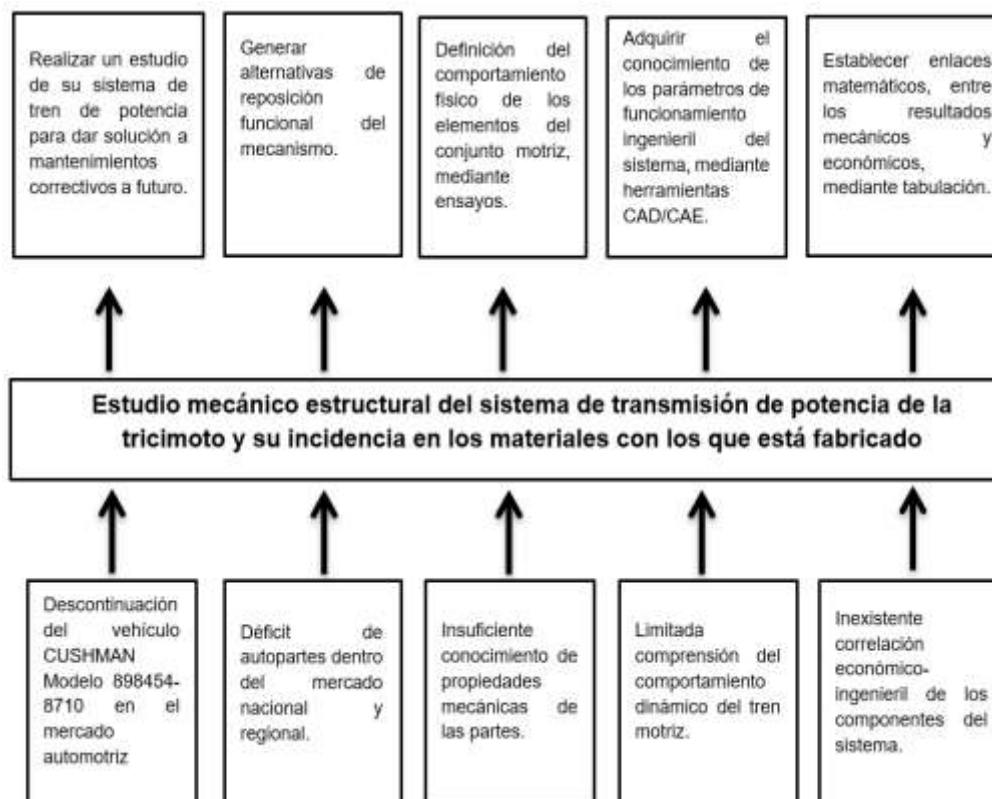
Por la ausencia de una herramienta que establezca los puntos y órganos críticos en el tren donde podría generarse una rotura, se entabla la necesidad de la creación de una simulación en un ambiente virtual confiable, tomando en cuenta la mayor cantidad de factores existentes en un ambiente real, pueda dar la ubicación y la naturaleza de los elementos que podrían someterse a rotura, en las diferentes marchas que la caja de cambios limite, del par motor hacia las ruedas.

El costo de obtención de los elementos del mecanismo conductor de potencia, en vista de la inexistente fabricación de vehículos de esta marca, es elevado en comparación a manufacturar dentro del país, mediante la presente investigación, se busca establecer una tabla de valores, optimizando así precios selectivos que faciliten a

la empresa poder obtener los recursos que sean necesarios, sin la necesidad que el coste de la reparación del tren de potencia, se vea elevado y se llegue a una economía recomendable para la empresa.

Figura 1

Árbol de problemas



1.3 Descripción resumida de la investigación

La presente investigación, propone analizar de manera científica el funcionamiento estático - dinámico del sistema de transmisión de potencia y, con este conocimiento obtenido, definir un tipo de mantenimiento correctivo al sistema, perteneciente al vehículo CUSHMAN, que optimice de manera mecánica y económica,

el desempeño del mismo para la oficina de mantenimiento de la empresa Fuentes San Felipe S.A., en la Universidad de las fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, en el laboratorio de mecánica de patio.

Utilizando, los procedimientos técnicos y científicos, detallados en el manual de desensamble del vehículo CUSHMAN, modelo 898454-8710, se desmontará el sistema de transmisión de potencia, siguiendo medidas de seguridad definidas en la normativa RTE INEN 034, y hermetizando cada uno de los subsistemas existentes, siendo estos: la caja reductora de par o caja de velocidades, el árbol correspondiente a la transmisión y el sistema de tornillo sin fin correspondiente al diferencial, así como cada elemento correspondiente a los mismos.

Con los elementos mecánicos de los 3 subsistemas correspondientes al tren de potencia, se determinará longitudes representativas de cada uno de los componentes, a través de medición automotriz, definiendo su funcionalidad en el mecanismo.

Obtener bocetos en dos dimensiones descriptivos de los componentes mecánicos, aplicando la normativa CPE INEN 003, especificando la representación y modelado en 2D y en 3D, en un entorno CAD.

En base a normativas de Ensayos Destructivos se extrae uno de los ejes del sistema de transmisión, para ejecutar un ensayo de espectrometría de acuerdo a la norma ASTM E415 – 17, más un ensayo de tracción de materiales metálicos a temperatura ambiente basado en la norma NTE INEN 109, realizando probetas a partir del mismo, obteniendo propiedades representativas, que permitan seleccionar otro tipo de alternativas de material para su fabricación.

A través del uso de software CAE, siguiendo un proceso algorítmico propio del mismo, se simulará de uno de los elementos mecánicos del sistema, de acuerdo a medidas, tipos de materiales y cargas existentes, con el objetivo de determinar a través de una tabla de datos ingenieril, parámetros de diseño fundamentales con la finalidad de conocer la naturaleza propia del componente simulado bajo sus condiciones de trabajo.

Se analizará costos de producción y/o obtención de uno de los componentes perteneciente al cuerpo distribuidor de potencia, a través de una comparación de costos de materiales, con la capacidad de trabajar con valores propios de resistencia a la fluencia, factor de seguridad, distribución del par motor, cantidad de ciclos antes del punto de fatiga, componente mecánico y tratamientos térmicos, optimizando parámetros de mantenimiento correctivo del vehículo CUSHMAN perteneciente a la empresa Fuentes San Felipe S.A., generando como producto final tablas para el elemento donde se aplican las cargas, proponiendo procesos de manufactura o formas de obtención alternas a las predefinidas.

Se construirá el elemento analizado del sistema del tren de potencia del vehículo CUSHMAN a escala real de acuerdo a procedimientos y procesos de manufactura acordes a las necesidades de funcionamiento y operación en condiciones ideales de trabajo.

1.4 Justificación e importancia

La facultad de Ingeniería Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, con el objetivo de establecer una alianza técnica y científica con la empresa Fuentes San Felipe S.A., genera la necesidad, mediante la conjunción de

conocimientos de los estudiantes pertenecientes a la carrera, el estudio mecánico del tren de potencia de la tricimoto CUSHMAN modelo 898454-8710, que es el vehículo insigne de la empresa.

La necesidad de generar la capacidad de acción inmediata ante un imprevisto mecánico en el funcionamiento constante de la tricimoto, es una prioridad del departamento de mantenimiento de la empresa, que desea devolver a los días en los que la tricimoto CUSHMAN circulaba sobre las calles laticungueñas para distribuir su célebre producto.

El sistema de transmisión de potencia distribuye el movimiento de manera segura, eficaz y precisa, desde el motor a las ruedas, por lo que la necesidad de una corrección es esencial para que el vehículo pueda funcionar en los tiempos que se requiere, evitando lapsos de demoras innecesarias por la ejecución de un mantenimiento correctivo sobre el mismo.

La economía no es un campo alejado de la Ingeniería Automotriz, de hecho, son ciencias que van de la mano, porque una variable que limita la ingeniería de un sistema mecánico, es la capacidad económica de obtención, por eso es necesario definir un medio de producción de repuestos, sea por comparativa de elementos mecánicos sustituibles dentro del país, o por procesos de construcción, que no afecte el bolsillo a sobre manera de la Empresa Fuentes San Felipe S.A.

Además, es un incentivo para el conocimiento mecánico dentro de la Carrera de Ingeniería Automotriz, el diseño, modelado y simulación del funcionamiento, que en concordancia con la realidad del medio sobre el que se desempeña el CUSHMAN, generando una simulación que sea didáctico para que cada persona que le interese la labor que desempeña un tren motriz 2WD de 3 velocidades, pueda tener como

herramienta de comprensión científica, de una manera directa y real.

Al día de hoy, la empresa Fuentes San Felipe S.A., se encuentra funcionando dentro de la localidad de la ciudad de Latacunga, región donde existe diferentes lugares que desempeñan labores de mecánica industrial, de tal manera que es factible la sostenibilidad de la construcción de ejes y engranajes propios del tren de potencia para la marca CUSHMAN, además que en ciudades cercanas a la empresa, existen centros donde se hace tratamientos térmicos factibles para la creación de los moldes que cumplan la dureza y el límite de rotura para que posteriormente sean mecanizados. Estos lugares presentan una ventaja para la construcción y obtención de repuestos del tren de potencia de la tricimoto, debido a su cercanía y su confiabilidad en cuestión de elaboración de piezas mecánicas, agilizando la ejecución de un mantenimiento correctivo del sistema.

1.5 Objetivos generales y específicos

1.5.1. Objetivo general

- Realizar el análisis mecánico estructural del sistema de transmisión de potencia de una tricimoto marca CUSHMAN mediante el uso de herramientas CAE.

1.5.2. Objetivos específicos

- Recopilar información relacionada al funcionamiento y características mecánicas del tren de potencia del vehículo CUSHMAN, mediante la búsqueda de fuentes bibliográficas confiables.
- Desarrollar un análisis matemático mecánico del sistema de transmisión de la tricimoto CUSHMAN, para obtener las cargas que interfieren dentro del tren de potencia.

- Tomar las medidas representativas para esquematizar en 2D y modelar en 3D utilizando la asistencia de un software CAD de los componentes del sistema de transmisión de potencia.
- Realizar ensayos de tracción y de espectrometría, que nos permitan obtener las diferentes propiedades mecánicas y químicas que constituyen uno de los componentes del tren de potencia de la tricimoto marca CUSHMAN.
- Ejecutar la simulación en el software CAE de uno de los elementos del sistema de transmisión con todos los parámetros matemáticos, resultantes de la configuración de la caja de cambios que representa un mayor esfuerzo hacia los diferentes componentes del tren de potencia de la tricimoto, y tabular los valores mecánicos resultantes.
- Estructurar un detalle económico, considerando diferentes tipos de materiales, parámetros de construcción y tiempos de elaboración del componente, para generar una alternativa de mantenimiento correctivo seleccionando la mejor opción.
- Construir el componente analizado del sistema de transmisión del vehículo CUSHMAN a escala real, con el material previamente seleccionado de acuerdo a procedimientos y procesos de manufactura acordes a las necesidades de funcionamiento y operación en condiciones ideales de trabajo.

1.6 Metas

- Determinar los esfuerzos o cargas dentro del sistema de transmisión de potencia, efectuados por el motor de la tricimoto CUSHMAN a una potencia óptima de trabajo y sometida a sus cambios de velocidad, mediante fórmulas matemáticas, para lograr establecer los valores de esfuerzos críticos de deformación.
- Tabular las cargas o esfuerzos generados mediante el análisis matemático con

el fin de ser introducidos en el software de simulación, delimitando si es aceptable que se utilicen otro tipo de materiales de similares características que pueden cumplir la misma función mecánica dentro del sistema de tren de potencia de la tricimoto CUSHMAN, obteniendo una relación económico ingenieril con una o más alternativas de reemplazo para posibles mantenimientos correctivos del sistema.

- Estructurar y determinar, una tabla de datos que sea de fácil comprensión para los técnicos que se encargarán de ejecutar el mantenimiento correctivo, donde se indique las opciones de reposición con su respectivo costo que la alternativa presentará.

1.7 Hipótesis

¿El análisis mecánico-estructural del sistema de transmisión de potencia de una tricimoto marca CUSHMAN generará una metodología técnica, económica e ingenieril, alternativa en el caso de la necesidad de un mantenimiento correctivo del sistema?

1.8 Variables de investigación

1.8.1. Variable independiente

Simulación del ambiente virtual del sistema de transmisión de potencia de la tricimoto Cushman.

Tabla 1

Variable independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Son los parámetros	Características del sistema	Esfuerzo de Von Mises.	Pa	Simulación	Software CAE

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
mecánicos de estudio en el mecanismo de transmisión de potencia	obtenidas	Deformación	mm	Simulación	Software CAE
	mediante	total			
	software	Ciclos de vida	NA	Simulación	Software CAE
		Factor de seguridad	NA	Simulación	Software CAE

1.8.2. Variable dependiente

Características del sistema motriz de la tricimoto CUSHMAN.

Tabla 2

Variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Son los indicadores establecidos por la fabricación de los componentes del sistema	Propiedades mecánicas	Potencia de	HP	Fuentes Bibliográficas	Libros, Manuales, etc.
		Salida del Motor			
	intrínsecas del sistema motriz	Marchas en la Caja de Reducción	Nm/ RPM	Fuentes Bibliográficas	Libros, Manuales, etc.
		Dimensiones de las Piezas	mm	Medición	Instrumentos Metrológicos

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
		Tipo de Material	%	Ensayos	Laboratorio Mecánica de Materiales
		Límite de Fluencia	Pa	Ensayos	Laboratorio Mecánica de Materiales
		Tensión de Rotura	Pa	Ensayos	Laboratorio Mecánica de Materiales

Capítulo II

2. Marco teórico

2.1. Introducción al Sistema de Transmisión de Potencia Automotriz

(Vaca Zambrano, 2016) Menciona que “las partes principales del sistema de tracción de un vehículo son: motor, embrague, caja de cambios, árbol cardán, diferencial, ejes palier y las ruedas.

De los parámetros elásticos y viscosos de estos componentes depende la aparición de resonancias mecánicas y la respuesta del sistema a las perturbaciones ocurridas como resultado de la operación del vehículo.

Es significativo el conocimiento de la respuesta del sistema en términos íntegros de desempeño del automóvil, pero también es importante desde el punto de vista de las cargas y esfuerzos generados”.

2.2. Trenes de Potencia Mecánica según la transmisión de potencia hacia las ruedas

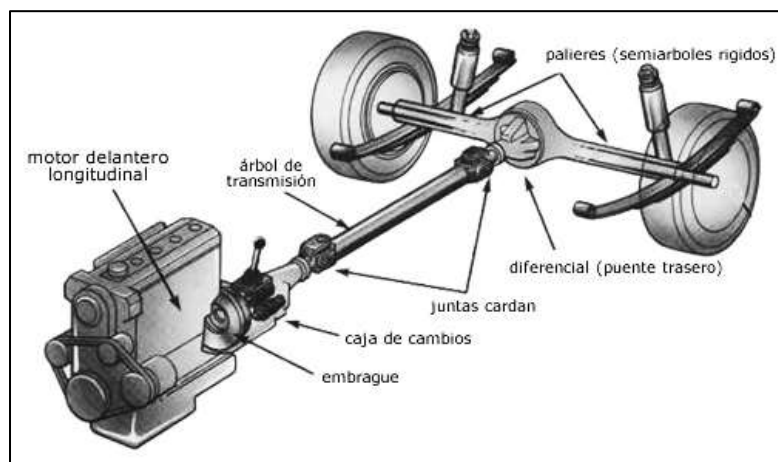
2.2.1. Tipo de Transmisión 2WD (*Two Wheel Drive*)

(Magallan, De Angelo, & García, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011) Afirman “En este tipo de sistema, la potencia va dirigida a dos de las llantas del automotor, ya sean las que están ubicadas en la parte delantera o trasera del vehículo, en el primer caso lo que convierte a los neumáticos delanteros en los responsables bien sea de la dirección, así como de la potencia, y en el caso de los traseros solo de la potencia. Cabe destacar que las unidades que cuenta con sistema de tracción en la

parte delantera tienen la capacidad de proporcionar una mayor tracción en algunas condiciones extrema, como en caso meteorológicas”

Figura 2

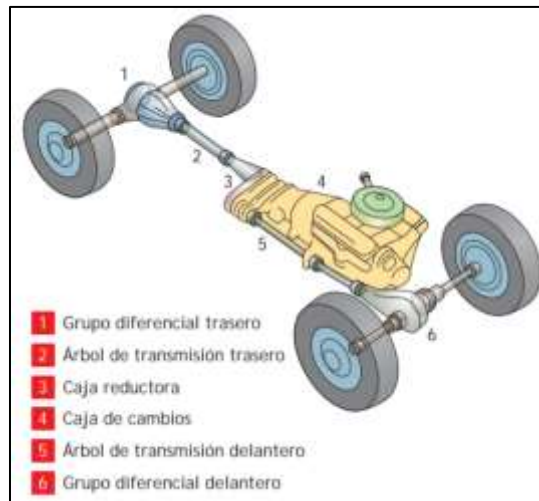
Transmisión 2WD trasera



Nota: Sistema de Transmisión 2WD longitudinal con sus componentes. Tomado de: (Magallan, De Angelo, & García, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011)

2.2.2. Tipo de Transmisión 4WD (Four Wheel Drive)

“Es un sistema de transmisión en un vehículo en el cual ambos ejes pueden recibir simultáneamente la potencia del motor. Gran parte de los carros todoterreno y camionetas tienen tracción en las cuatro ruedas, y también ciertos turismos y deportivos de alta gama”. (Magallan, De Angelo, & García, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011)

Figura 3*Transmisión 4WD*

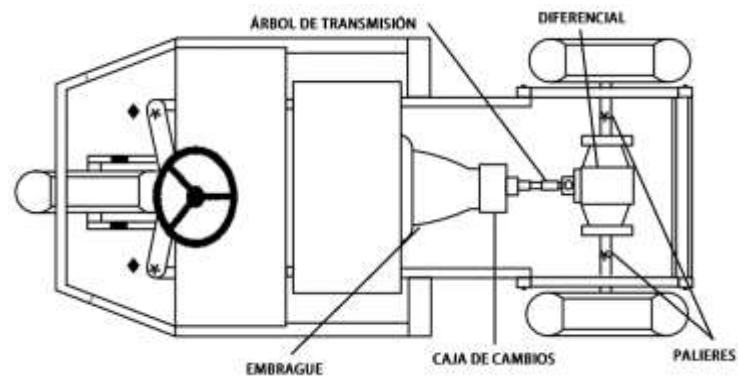
Nota: Tomado de: (Magallan, De Angelo, & García, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011)

2.3. Tren de potencia de la tricimoto CUSHMAN modelo 898454-8710

El sistema de transmisión de potencia del vehículo corresponde a un tipo de transmisión manual con tracción trasera 2WD, con tres velocidades más retro dirigidas por la caja reductora, tiene un árbol de transmisión con juntas y eje cardán convencionales. (Augusta Patente nº E503009, 2006)

Figura 4*Tricimoto CUSHMAN***2.4. Partes del Sistema de Transmisión de Potencia de la tricimoto CUSHMAN**

Son aquellos componentes que forman parte del sistema de transmisión, los mismos que cumplen una función determinada capaz de generar movimiento al vehículo.

Figura 5*Componentes del sistema de transmisión CUSHMAN*

Nota: Tomado de: (CUSHMAN, CUSHMAN MOTORS, 1978)

El sistema está compuesto por:

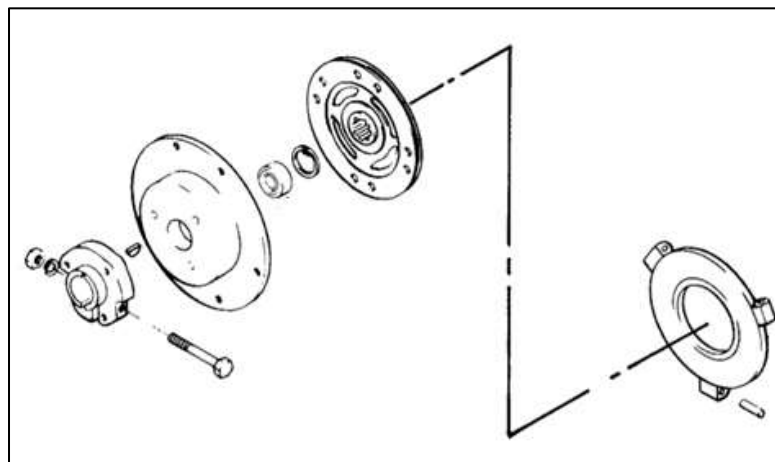
- Embrague
- Caja de cambios
- Árbol de transmisión
- Diferencial
- Palieres

2.4.1. Embrague

“Para hacer posible el arranque, así como el cambio de velocidades, es necesario contar con un dispositivo que permita desconectar momentáneamente el motor de la caja de cambios. El embrague es el conjunto mecánico encargado de esta misión, de conectar y desconectar el motor de la transmisión”. (Gordillo Bravo & Lara Salas, 2015)

Figura 6

Componentes del del Embrague CUSHMAN



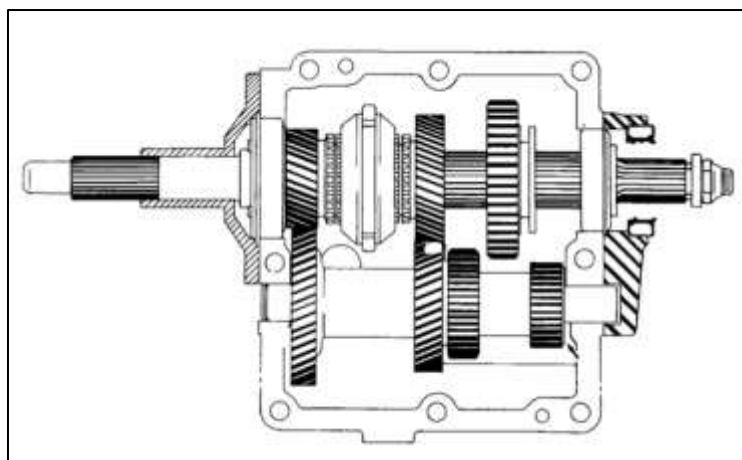
Nota: Tomado de: (CUSHMAN, CUSHMAN MOTORS, 1978)

2.4.2. Caja de cambios

“La caja de cambios es un elemento de transmisión que se interpone entre el motor y las ruedas para modificar el número de revoluciones de las mismas e invertir el sentido de giro cuando las necesidades de la marcha así lo requieran. Actúa, por tanto, como transformador de velocidad y convertidor mecánico de par”. (Domínguez & Ferrer, 2012)

Figura 7

Caja de cambios CUSHMAN



Nota: Tomado de: (CUSHMAN, CUSHMAN MOTORS, 1978)

“La caja de cambios obtiene por medio de engranajes, el par motor necesario en las diferentes condiciones de marcha, aumentado el par de salida a cambio de reducir el número de revoluciones en las ruedas. Con la caja de cambios se logra mantener, dentro de unas condiciones óptimas, la potencia desarrollada por el motor. Cuando el motor está en marcha y el vehículo parado, el dispositivo de embrague permite efectuar la maniobra de transmitir progresivamente el giro del motor a las ruedas, a través de la

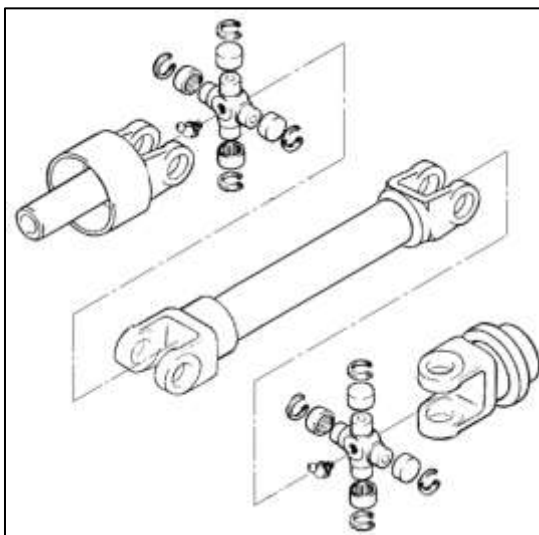
caja de cambios de una forma suave, haciendo posible que el vehículo se ponga en movimiento”. (Domínguez & Ferrer, 2012)

2.4.3. Árbol de transmisión

“Es la conexión entre el conjunto motor, embrague, caja de cambio y las ruedas motrices posteriores, encargadas de proporcionar la tracción trasera”. (García Presa, 2001)

Figura 8

Árbol de transmisión CUSHMAN



Nota: Tomado de: (CUSHMAN, CUSHMAN MOTORS, 1978)

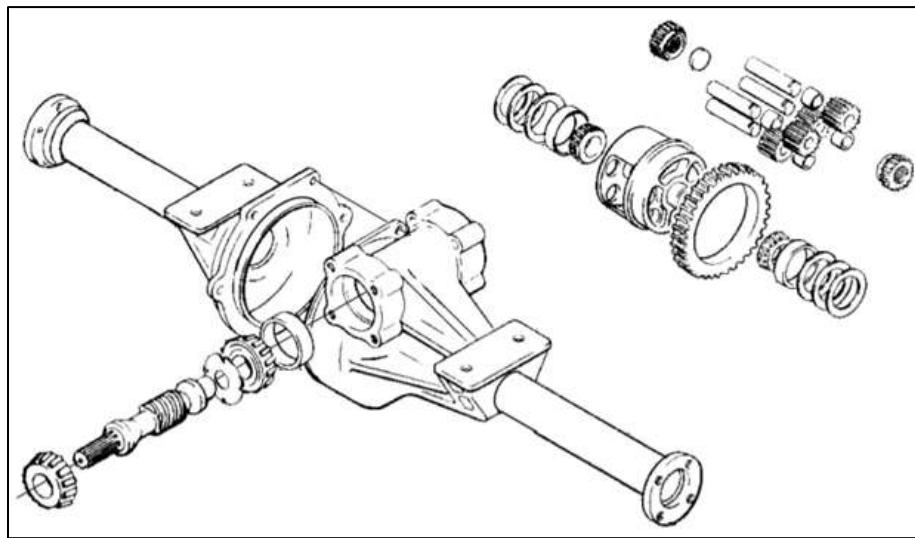
2.4.4. Diferencial

El diferencial está constituido por una serie de piñones engranados entre sí, llamados planetarios y satélites, alojados en una carcasa que esta solidaria al sin fin de reducción final y dentro de la cual pueden moverse libremente. Dos de estos piñones llamados planetarios, se unen a los palieres o semiejes de rueda a través de unos

estriados que llevan en su interior. Estos elementos son los que transmiten el movimiento a las ruedas a través de los palieres por tanto el material del que están formados es de gran resistencia para soportar los esfuerzos de transmisión. (Acusoso, 2016)

Figura 9

Diferencial CUSHMAN



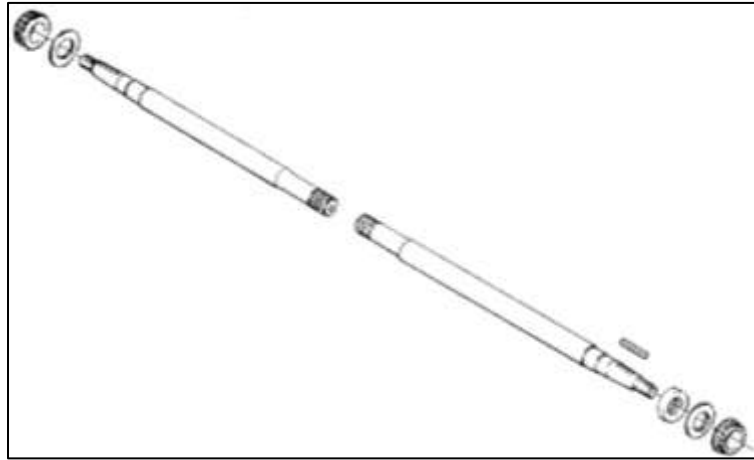
Nota: Tomado de: (CUSHMAN, CUSHMAN MOTORS, 1978)

2.4.5. Palieres

“Los palieres tienen la misión de transmitir el movimiento desde el diferencial a las ruedas. Están constituidos por un eje de acero, uno de sus extremos se acopla al planetario del diferencial y, el otro extremo se acopla al cubo de la rueda y pueden ser rígidos o articulados para suspensiones independientes”. (Serrano Tenorio, 2012)

Figura 10

Palieres CUSHMAN



Nota: Tomado de: (CUSHMAN, CUSHMAN MOTORS, 1978)

2.5. Circuito de funcionamiento cinemático del sistema**2.5.1. Fase de Generación de Potencia (Motor)**

El motor del que está compuesto el vehículo Cushman Modelo 898454-8710 es del tipo bóxer bicilíndrico ventilado mediante sistema de aletas, con una cilindrada de 500 CC, generando una potencia de 22 HP. (Cushman, Sistema de Transmisión, 2008)

2.5.2. Torque del motor

El torque del motor se genera mediante la fuerza que ejerce la explosión de la mezcla aire - combustible dentro de los cilindros, ocasionando el funcionamiento de los pistones, las bielas y el cigüeñal, permitiendo el movimiento de los diferentes componentes del sistema de transmisión. Este puede variar de acuerdo al número de revoluciones por minuto a las que trabaja el motor del vehículo. Se lo expresa en Newton metros [Nm].

Ecuación 1

Torque del motor

$$T = \left(\frac{P \cdot 5252}{n_t} \right) \cdot 1,3558$$

Donde:

T : Torque del motor, [N·m]

P : Potencia del motor, [HP]

n_t : Número máximo de revoluciones del motor en condiciones óptimas de trabajo, [rpm].

2.5.3. Fase inicial (Embrague)

El embrague es el encargado de recibir el par o torque generado por el motor de combustión interna que se encuentra girando a ciertas revoluciones por minuto. Siendo su función principal interrumpir el giro del motor por medio de un disco, que mediante un mecanismo de fricción acopla y desacopla al volante de inercia, realizando el cambio de marcha para las distintas condiciones de trabajo.

El embrague genera sincronía en el eje secundario de la caja reductora de manera que, mediante los sincronizados, el eje detiene su movimiento en función de la necesidad del usuario y los regímenes de giro. (Cushman, Aniversario de las Tricimotos Cushman, 2019)

2.5.4. Fase inicial de reducción (Caja de Cambios)

La caja de cambios en esta fase trabaja como caja reductora, que hace posible la variación de la velocidad del vehículo, de acuerdo a las diferentes relaciones de transmisión de cada marcha.

Este vehículo dispone de una caja de cambios manual que se encuentra estructurada por tres ejes.

Eje primario, recibe el movimiento del motor.

Eje intermedio, donde se encuentran fijos los piñones de las diferentes marchas.

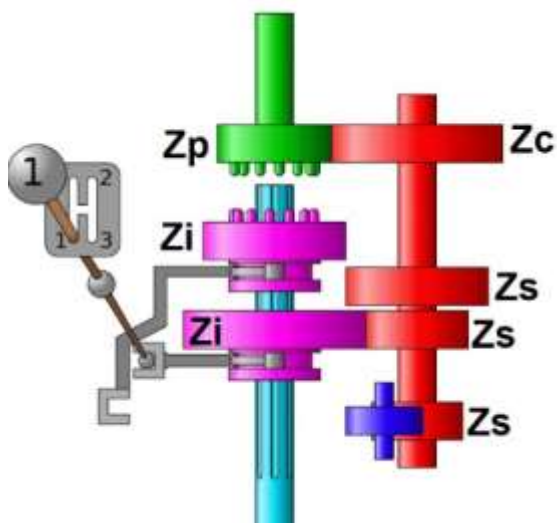
Eje secundario, donde se ubican los engranajes que permiten realizar los cambios de velocidades incluido la reversa, genera la reducción del par motor y se conecta a los demás componentes del sistema de transmisión para hacer posible el movimiento del vehículo en las diversas condiciones de trabajo. (Cushman, Sistema de Transmisión, 2008)

2.5.5. Relación de transmisión de la caja de cambios

Es la relación que existe entre los engranajes, en las diferentes posiciones de marcha de la caja de cambios del vehículo.

Figura 11

Relación de transmisión de la caja de cambios



Nota: Tomado de: (Borja, 2009)

Se lo obtiene a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 2

Relación de transmisión de la caja de cambios

$$i = \frac{Z_c \cdot Z_s}{Z_p \cdot Z_i}$$

Donde:

i : Relación de transmisión de la caja de cambios.

Z_p : Número de dientes del engranaje ubicado en el eje primario.

Z_s : Número de dientes del engranaje ubicado en el eje secundario seleccionado acorde a la marcha.

Z_c : Número de dientes del engranaje ubicado en el eje intermedio, que está en contacto con el eje primario.

Z_i : Número de dientes del engranaje ubicado en el eje intermedio, que está en contacto con el eje secundario acorde a la marcha seleccionada.

2.5.6. Velocidad de rotación

Número de revoluciones correspondiente a la relación de transmisión de cada marcha, alcanzada con las rpm en condiciones óptimas de trabajo del motor.

Se lo obtiene a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 3

Velocidad de rotación

$$n = \frac{n_t}{i}$$

Donde:

n : Velocidad de rotación, [rpm].

i : Relación de transmisión de la caja de cambios.

n_t : Número máximo de revoluciones del motor en condiciones óptimas de trabajo, [rpm].

2.5.7. Torque de la marcha

Es el torque correspondiente a cada marcha de la caja de cambios, con respecto a la relación de transmisión con el torque total entregado por el motor.

Se lo obtiene a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 4

Torque de la marcha

$$T_m = T \cdot i$$

Donde:

T_m : Torque de la marcha, [N·m].

i : Relación de transmisión de la caja de cambios.

T : Torque del motor, [N·m].

2.5.8. Potencia de la marcha

Es la potencia correspondiente a cada marcha de la caja de cambios, con respecto a la velocidad de rotación, número máximo de rpm en condiciones óptimas de trabajo y la potencia entregada por el motor.

Se lo obtiene a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 5

Potencia de la marcha

$$P_m = \frac{P \cdot n}{n_t}$$

Donde:

P_m : Potencia de la marcha, [HP].

P : Potencia del motor, [HP].

n : Velocidad de rotación, [rpm].

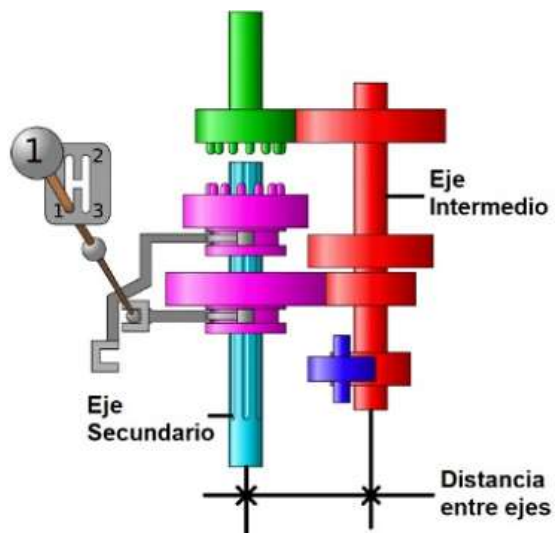
n_t : Número máximo de revoluciones del motor en condiciones óptimas de trabajo, [rpm].

2.5.9. Relación de la distancia entre ejes de la caja de cambios

Es la relación que se guarda entre el eje secundario y el eje intermedio en una caja de cambios manual.

Figura 12

Distancia entre ejes de la caja de cambios



Nota: Tomado de: (Borja, 2009)

Se lo obtiene a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 6

Relación de la distancia entre ejes

$$d_{A-B} = \frac{D_{pA} + D_{pB}}{2}$$

Donde:

d_{A-B} : Distancia entre ejes, [m]

D_{pA} : Diámetro principal del piñón en el eje secundario, [m]

D_{pB} : Diámetro principal del piñón en el eje intermedio, [m].

2.5.10. Fase intermedia (Árbol de Transmisión)

La salida del par motor reducido en la caja de cambios, se transfiere hacia el árbol de transmisión mediante juntas o crucetas, con el objetivo de mantener la potencia, de tal manera que transmite el par/revoluciones de manera axial, sin importar el desnivel vertical existente entre la caja reductora y el diferencial.

El árbol consta de 2 ejes, uno con entrada macho y otra hembra, con el objetivo de mantener una transmisión amortiguada, en el caso de que el desnivel, genere esfuerzos alternativos que amenacen con la integridad propia del elemento motriz. (Cushman, Sistema de Transmisión, 2008)

2.5.11. Fase final (Diferencial/Palieres/Ruedas)

El diferencial recepta de manera axial el movimiento que viene desde el motor, con una entrada mediante un tornillo sin fin, que, acoplado con el piñón solar, transmite el torque de manera transversal a los ejes traseros (palieres), y dan movimiento de las ruedas para que giren de manera diferenciada en función al viraje y al sobreviraje del vehículo. (Cushman, Sistema de Transmisión, 2008)

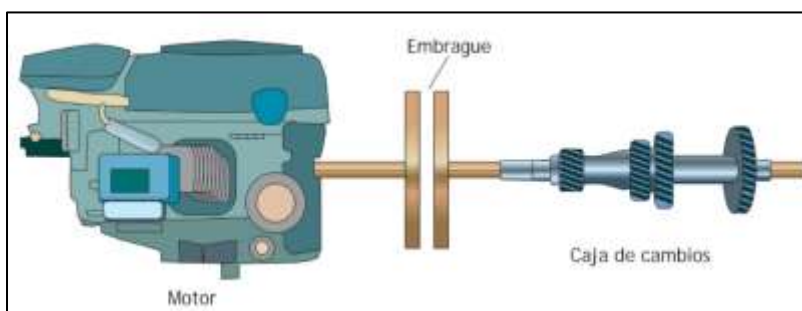
2.6. Funciones que cumplen cada una de las partes que componen el sistema de transmisión

2.6.1. Función del embrague

“Los sistemas de embrague son los encargados de interrumpir la transmisión del movimiento del motor de combustión hacia la caja de cambios y de esta al resto de la transmisión del vehículo.

Figura 13

Función del embrague



Nota: Tomado de: (Borja, 2009)

El motor de combustión interna está en movimiento constante una vez que el vehículo se enciende, sin embargo, en situaciones como el cambio de marchas o la

parada en ralentí del vehículo es necesario interrumpir la transmisión de este movimiento hacia el resto del sistema de transmisión, siendo la finalidad del embrague conectar y desconectar dicho movimiento.

Su funcionamiento se basa en el desplazamiento de un disco que fricciona contra el volante de inercia del motor, para transmitir el movimiento del mismo al resto del sistema de transmisión del vehículo. Cuando el conductor acciona el pedal de embrague, el disco se separa del volante de inercia y deja de transmitir el movimiento del motor”. (Borja, 2009)

2.6.2. Función de la caja de cambios

“Una caja de cambios funciona engranando diferentes piñones y engranajes mediante una palanca selectora, para lograr relaciones de transmisión adecuadas para las diferentes condiciones de trabajo que ejerce el vehículo.

Se compone de tres ejes, primario, secundario e intermedio los cuales alojan los diferentes engranajes y piñones, mismos que son capaces de realizar la reducción o aumento de la velocidad del automotor, de acuerdo a la marcha seleccionada por el conductor por medio de la palanca de cambios que se conecta al eje secundario”. (Fenoll, 2009)

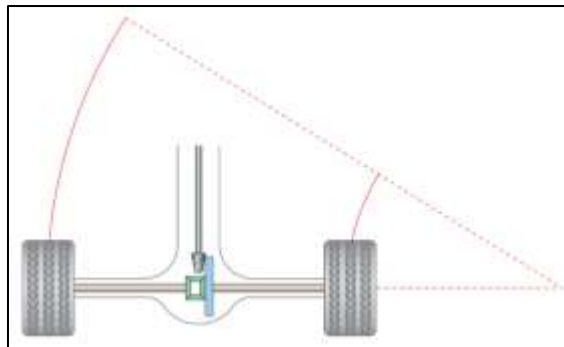
2.6.3. Función del diferencial

“El objetivo de un sistema diferencial es adaptar el recorrido de las ruedas del vehículo a cada situación, y su funcionamiento se basa en la resistencia a la rodadura de las ruedas de un mismo eje de tracción.

Tomemos como ejemplo la entrada de un vehículo en una curva a derechas. Como vemos en la figura 14, las ruedas del lado derecho deben recorrer menos distancia que las del lado izquierdo. La misión del diferencial entonces es reducir el número de vueltas de la rueda derecha respecto de la izquierda, garantizando así su estabilidad para evitar que se produzcan derrapajes y deslizamientos de las ruedas exteriores.

Figura 14

Recorrido de las ruedas de un vehículo girando hacia la derecha.



Nota: Tomado de: (Borja, 2009)

El reparto de velocidades se realiza gracias a la mayor resistencia que ofrece una rueda a rodar respecto a la rueda contraria del mismo eje de tracción. En este caso el neumático derecho ofrece mayor resistencia que el izquierdo al entrar en la curva. Si uno de los planetarios presenta mayor resistencia que el otro, girará a un número de revoluciones menor.

Como los satélites son los transmisores de movimiento de un planetario al otro, se encargarán de enviar las revoluciones sobrantes al otro planetario, es decir, de

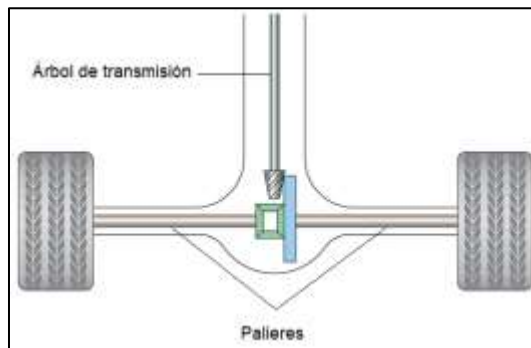
transmitirle lo que le falta de movimiento, aumentando así su velocidad y la de la rueda que le corresponde". (Borja, 2009)

2.6.4. Función del árbol de transmisión y palieres

Los árboles de transmisión están diseñados con materiales robustos y duraderos para soportar los grandes esfuerzos a los que están sometidos. Tienen la función de transmitir el torque generado por las diferentes relaciones transmisión de la caja de velocidades hacia las ruedas. Los palieres son los árboles que transmiten el movimiento del diferencial a las ruedas. (Fenoll, 2009).

Figura 15

Árbol de transmisión y palieres.



Nota: Tomado de: (Borja, 2009)

2.7. Mantenimiento del sistema de transmisión

Para el mantenimiento del vehículo CUSHMAN, hay que tener en cuenta que este funciona por horas de trabajo, por lo tanto, de acuerdo al número de horas que este hubiese trabajado se procede a realizar el mantenimiento respectivo, ya sea del preventivo, correctivo o predictivo en cualquiera de los componentes a estudiar como lo son:

- Embrague
- Caja de Cambios
- Árbol de Transmisión
- Diferencial
- Palieres

2.7.1. Mantenimiento del sistema del embrague

a. Averías y soluciones del sistema del embrague

Pérdida de potencia en el vehículo. Este problema se relaciona con el sistema de embrague especialmente, y puede deberse a lo siguiente:

- Deterioro del disco de embrague. Su solución es reemplazar el disco de fricción del embrague.
- Daños del sistema del cable de accionamiento que produzcan excesiva tensión en el cable de mando, lo que produce que el disco no se acople completamente sobre el volante de inercia. Se debe inspeccionar el cable de mando, si este se encuentra tensado de una manera adecuada.

Vibración en marcha del vehículo. Las vibraciones en la marcha del vehículo se deben a lo siguiente:

- Desgaste en el disco de fricción. Se corrigen sustituyendo el disco de embrague.

Dificultad para el cambio de marchas. Si las velocidades friccionan al realizar el cambio de marcha, quiere decir que la regulación del embrague está mal, de manera

que al pisar el pedal a fondo no se suelta el disco de fricción por completo. La solución es realizar un reglaje correcto.

Golpeteo en su funcionamiento. El golpeteo durante el funcionamiento del embrague se produce por:

- Volante de inercia flojo. Se soluciona apretando sus pernos con el torque necesario.

b. Comprobación del sistema del embrague

Las comprobaciones de un sistema de embrague se resumen en:

- Comprobación del deterioro del disco, donde se toma como referencia la profundidad de los remaches de sujeción del material de fricción.
- Verificación de la altura de las pestañas del diafragma de presión, que se realiza con la sonda de profundidad de un calibre, con los que se mide la altura de todas las pestañas. Si existieran distintas, pueden causar problemas de vibraciones en la marcha del vehículo.

2.7.2. Mantenimiento de la caja de cambios manual

La caja de cambios o caja reductora es la encargada de regular el par motor que viene desde el motor y se transmite a las ruedas del vehículo. Está compuesta de una serie de piñones y ejes que se encuentran en constante movimiento y fricción en cuanto el auto se coloca en marcha, es por tal motivo que es indispensable realizar un mantenimiento preventivo, mismo que detalla el manual del fabricante CUSHMAN. Este mantenimiento especifica un cambio de aceite de caja SAE 75W90 cada 500 horas de trabajo que ejecute el automotor.

Figura 16

Mantenimiento de la caja de cambios



Nota: Tomado de: (Herrera, 2009)

2.8. Normativas

Son normas que permitan realizar el proyecto de investigación de una manera ordenada con los diferentes lineamientos y procesos, especificando de forma segura las instrucciones a seguir en desensamble de piezas, ensayos y simulaciones en el tren de potencia del vehículo CUSHMAN.

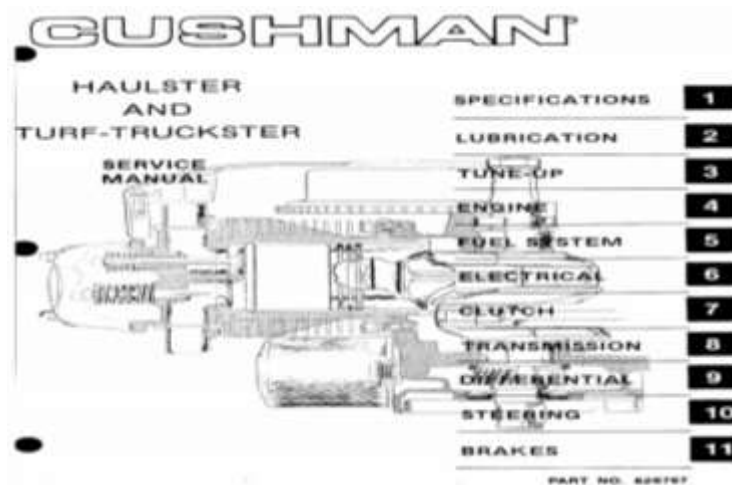
2.8.1. *Manual desensamble del vehículo CUSHMAN modelo 898454-8710.*

(CUSHMAN, CUSHMAN MOTORS, 1978) Afirma: “El manual de desensamble para vehículos CUSHMAN es específicamente para motores con una potencia entre

18HP y 22HP, siendo el modelo 898454 – 8710 uno de los que están en el rango, este dispone de los diferentes procesos que el usuario o técnico debe seguir para realizar de manera confiable los mantenimientos dentro de los diferentes sistemas que posee el vehículo”.

Figura 17

Manual de servicio CUSHMAN



Nota: Tomado de: (CUSHMAN, CUSHMAN MOTORS, 1978)

El manual de servicio CUSHMAN posee información para realizar el servicio de mantenimiento en sistemas como:

- Lubricación
- Combustible
- Motor
- Dirección
- Caja de cambios

- Diferencial
- Frenos.

2.9. Ensayos para determinar propiedades mecánicas y químicas del eje palier del sistema de transmisión de potencia.

Son normas que permitan realizar el proyecto de investigación de una manera ordenada con los diferentes lineamientos y procesos, especificando de forma segura las instrucciones a seguir en desensamble de piezas, ensayos y simulaciones en el tren de potencia del vehículo CUSHMAN.

2.9.1. Ensayo de tracción según la Norma NTE INEN 109.

La normativa (INEN, 2009) especifica que “el método de ensayo de tracción de materiales metálicos y define las propiedades mecánicas que se pueden determinar a temperatura ambiente”.

A. Objeto

Esta norma se aplica al ensayo de tracción de todos los productos de acero de sección transversal constante. (INEN, 2009)

B. Símbolos, unidades y definiciones

En la tabla que se presenta se describe los símbolos, unidades y definiciones que ayudan a comprender mejor el alcance que posee la norma 109. (INEN, 2009)

Tabla 3

Símbolos y unidades del ensayo de resistencia interna al corte.

Designación	Símbolo	Unidad
Límite de fluencia	R_e	MPa
Resistencia a la tracción	R_m	MPa
Esfuerzo a la deformación permanente	R_r	MPa
Módulo de elasticidad	E	MPa

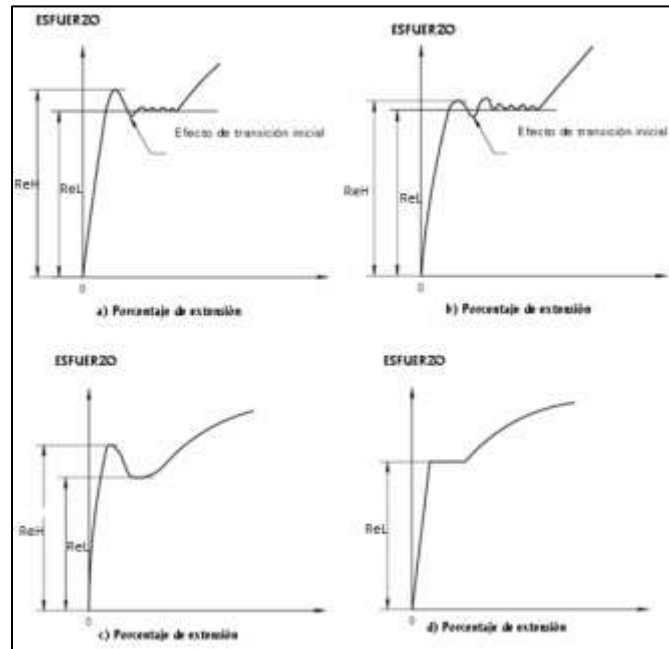
Nota: Recuperado de: (INEN, 2009)

- Límite de fluencia.

Es cuando el material metálico muestra un fenómeno de fluencia, se alcanza a un punto durante el ensayo en el cual la deformación plástica se produce sin ningún incremento en la carga. (INEN, 2009)

Figura 18

Definiciones de límite de fluencia superior y límite de fluencia inferior para diferentes tipos de curvas



Nota: Tomado de: (INEN, 2009)

- Resistencia a la tracción.

Esfuerzo correspondiente a la carga máxima.

- Esfuerzo a la deformación permanente

Es el esfuerzo al cual, después de eliminar la carga, una elongación o extensión permanente especificada, expresada como un porcentaje de la longitud calibrada inicial o una longitud calibrada del extensómetro, respectivamente, no ha sido excedido.

(INEN, 2009)

2.9.2. Ensayo de espectrometría.

Es un proceso analítico para medir la cantidad de elementos químicos presentes en un producto.

El ensayo de espectrometría, se lo desarrolla según como lo especifica la normativa ASTM E415 – 17, la cual establece el método de prueba estándar para análisis de carbono y acero de baja aleación mediante espectrometría de emisión atómica de chispa (ASTM, 2017)

2.10. Tratamientos térmicos para mejorar las propiedades mecánicas del eje palier del sistema de transmisión de potencia.

2.10.1. Tratamiento térmico T6 para aluminio.

El Tratamiento T6 (temple 6 al aluminio) se realiza en solución y envejecido artificialmente para mejorar las propiedades mecánicas.

Los parámetros generalmente utilizados para tratamientos T6 son los propuestos por las normas ASTM B917 y ASTM B91, donde afirma que el elemento se coloca en solución a la temperatura de 540 °C durante 6 horas y un envejecimiento artificial a la temperatura de 155 °C entre 3 y 5 horas. (Menergues, 2013)

2.10.2. Tratamiento térmico de cementación para aceros.

La cementación es un tratamiento termoquímico que aumenta la dureza superficial de una pieza de acero, aumentando la concentración de carbono en la superficie. Consiste en rodearla pieza de un producto carburante y calentándola a una temperatura adecuada mediante difusión, impregnando la superficie y sometiéndola a continuación a un tratamiento térmico, un temple y un revenido, obteniendo una pieza

con buena tenacidad en el núcleo, una alta dureza superficial y gran resistencia al desgaste. (FEANDALUCIA, 2011)

2.11. Materiales empleados en la fabricación de ejes

Son normas que permitan realizar el proyecto de investigación de una manera ordenada con los diferentes lineamientos y procesos, especificando de forma segura las instrucciones a seguir en desensamble de piezas, ensayos y simulaciones en el tren de potencia del vehículo CUSHMAN.

2.11.1. AISI 1018 - Cementado.

El AISI 1018 es un acero que posee excelentes características, como buena resistencia mecánica y buena ductilidad. De manera general, el acero posee excelente soldabilidad y mejor maquinabilidad, que los demás aceros al carbón.

(BLUESTEELCORP, bluesteelcorp.com.ec, 2019)

La normativa (INEN, 2009) especifica que “el método de ensayo de tracción de materiales metálicos y define las propiedades mecánicas que se pueden determinar a temperatura ambiente”.

Figura 19*Árbol de levas en acero AISI 1018**Nota: Tomado de: (DIPAC, 2018)***Tabla 4***Propiedades Acero AISI 1018 – Cementado*

Propiedades Acero AISI 1018 – Cementado	
Propiedades Mecánicas	
Dureza	163[HB]
Resistencia a la tracción	576 [Mpa]
Resistencia elástica	353 [Mpa]
Alargamiento	30 %
Propiedades Físicas	
Densidad	7,85 gr/cm ³
Composición Químicas	
Si	0,25 %
C	0,20%

Propiedades Acero AISI 1018 – Cementado	
Mn	0,70%
P	0,04%
S	0,05%
Fe	98,75%

Nota: Recuperado de: (IIRSACERO S.A., 2016)

2.11.2. AISI 4340.

Acero bonificado al cromo – níquel – molibdeno de alta resistencia mecánica, excelente tenacidad una vez bonificado. Posee una elevada resistencia a la fatiga y torsión. Buen nivel de resistencia a la fragilidad de revenido por su aleación de molibdeno. Alta templabilidad. Se lo emplea comúnmente en la elaboración de componentes de maquinaria de sección grande altamente exigidos, como son: ejes, piñones, pernos grado 6, rotores, levas, bridas de alta presión, piezas de maquinaria pesada. (BLUESTEELCORP, bluesteelcorp.com.ec, 2019)

Figura 20

Ejes en acero AISI 4340



Nota: Tomado de: (BLUESTEELCORP, bluesteelcorp.com.ec, 2019)

Tabla 5*Propiedades Acero AISI 4340*

Propiedades Acero AISI 4340	
Propiedades Mecánicas	
Dureza	320 [HB]
Resistencia a la tracción	1100 – 1300 [Mpa]
Resistencia elástica	900 [Mpa]
Alargamiento	10 %
Propiedades Físicas	
Densidad	7,85 gr/cm ³
Composición Químicas	
Si	0,40 %
Si	0,30%
C	0,43%
Mn	0,80%
P	0,035%
S	0,04%
Cr	0,90%
Ni	2%
Mo	0,3%
Fe	95,18%

Nota: Recuperado de: (Thyssenkrupp S.A., 2018)

2.11.3. Aluminio 7075 – T6.

Presenta una aleación compuesta en mayor parte por zinc. Buena durabilidad, con alta resistencia a la fatiga en comparación a otros metales y de mecanizado sencillo. Las características destacables de esta aleación son su elevada resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y a la fatiga, buena dureza y un excelente índice de endurecimiento. (Alacermas, 2014)

Figura 21

Eje aluminio 7075 – T6



Nota: Tomado de: (Alacermas, 2014)

Tabla 6

Propiedades Aluminio 7075 – T6

Propiedades Aluminio 7075 – T6	
Propiedades Mecánicas	
Dureza	150 HB
Resistencia a la tracción	570 [Mpa]

Propiedades Aluminio 7075 – T6	
Resistencia elástica	520 [Mpa]
Alargamiento	5%
Propiedades Físicas	
Densidad	2,80 gr/cm ³
Composición Químicas	
Si	0,40 %
Fe	0,50%
Cu	2,00%
Mn	0,30%
Mg	2,90%
Cr	0,28%
Zn	6,10%
Ti	0,20%
Zr + Ti	0,25%
Otros	0,15%
Al	86,91%

Nota: Recuperado de: (Fernández, 2017)

2.12. Software de simulación

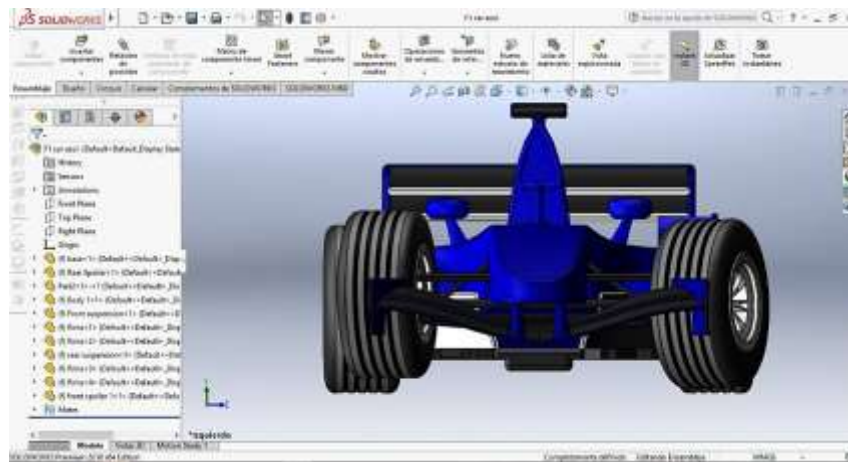
2.12.1. Software CAD

“El software CAD (Diseño Asistido por Computador) es una tecnología que permite realizar un trabajo de modelado más fácil, permite crear, editar o reparar geometrías sin preocuparse por la tecnología subyacente. Trabajar con el software de

modelado 3D se hace rápido, fácil, flexible y gratificante, sin importar en qué parte del flujo de trabajo lo necesite. Un sistema CAD permite la manipulación de la geometría de forma más rápida, sencilla y más intuitiva, lo que resulta en menos tiempo dedicado a la geometría y más tiempo dedicado a las funciones primarias del trabajo como la fabricación, el análisis y el modelado de conceptos”. (Cháfuel Ortega, 2017)

Figura 22

Boceto F1 realizado en software CAD



Nota: Tomado de: (Navas, 2017)

2.12.2. Software CAE

“Un software CAE (Ingeniería Asistida por Computador) es un programa de simulación explícito utilizado por el usuario experimentado y altamente técnico. Contiene formulaciones de contacto, modelos de material y otros controles pueden ser usados para simular modelos complejos con control sobre todos los detalles del problema.

En las últimas décadas, los resultados de simulación de impactos de vehículos han alcanzado altos niveles de confianza. Sin embargo, la simulación de impacto por medio de Sistemas CAE sigue siendo costosa desde el punto de vista computacional, aunque es de uso común. El modelo de sustitución o la superficie de respuesta basada en la optimización de diseño se han adoptado ampliamente como un proceso común en la industria automotriz y a gran escala, los modelos de alta fidelidad a menudo son necesarios". (Cháfuel Ortega, 2017)

A. Método de elementos finitos (MEF)

“El método de elementos finitos, consiste en sustituir la estructura o el medio en análisis con infinitos grados de libertad, por un modelo matemático compuesto por un conjunto finito de elementos independientes denominados elementos finitos unidos entre sí a través de un número finito de puntos o nodos. La solución del equilibrio del modelo es reducida a la solución de un sistema finito de ecuaciones de equilibrio nodal, en el que intervenga un número finito de variables.

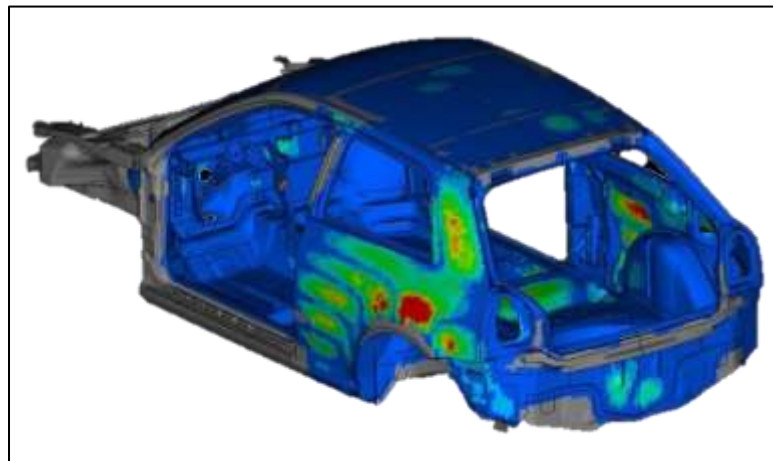
El esfuerzo varía a lo largo del continuo de cualquier pieza. Al dividirla en un número finito de elementos discretos, conectados en sus nodos (una malla), se obtiene una aproximación al esfuerzo y a la deformación dentro de la pieza para cualquier conjunto dado de restricciones y cargas aplicadas en varios nodos de la estructura. La aproximación se mejoraría mediante más elementos de menor tamaño, a expensas del incremento en el tiempo de procesamiento. Con las velocidades de las computadoras actuales éste es un problema menor comparado con los que se enfrentaban los primeros días del MEF. Una pieza del problema del analista es elegir el tipo adecuado, el número y la distribución de elementos para optimizar el equilibrio entre exactitud y

tiempo de procesamiento. Es posible utilizar elementos más grandes en regiones de la pieza donde el gradiente de esfuerzo (pendiente) varía con lentitud. En regiones donde el gradiente de esfuerzo cambia rápidamente, como las cercanas a concentraciones de esfuerzos, o a cargas aplicadas o restricciones, se requiere una malla más fina”.

(Cháfuel Ortega, 2017)

Figura 23

Visualización de una simulación MEF de la Carrocería de un vehículo



Nota: Tomado de: (Cháfuel Ortega, 2017)

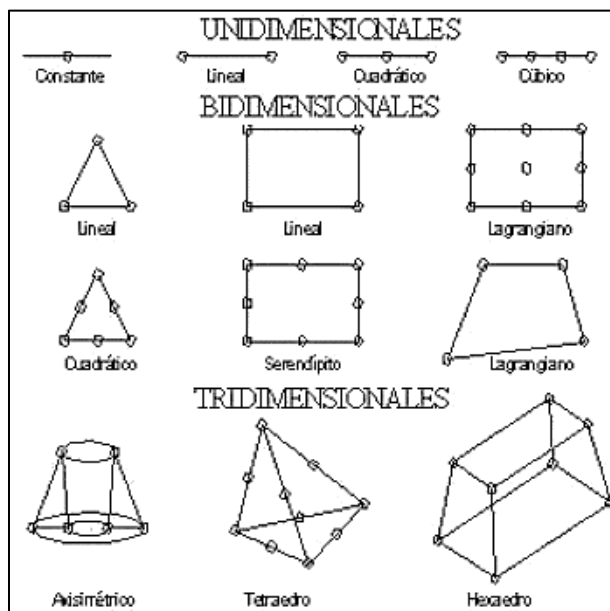
B. Tipos de elementos

“Los elementos son uni, bi o tridimensionales, llamados también elementos de línea, superficie y volumen, respectivamente. En un elemento lineal triangular o tetraedro, la función de desplazamiento a través del elemento es una línea recta y la deformación es constante. Los esfuerzos se determinan a partir de la deformación y el módulo de elasticidad del material. Los triángulos lineales y tetraedros también tienen esfuerzo constante a través de su dimensión. Los triángulos cuadráticos, tetraedros y

ladrillos tienen funciones parabólicas de desplazamiento y una distribución de deformación lineal (y esfuerzo) dentro del elemento, los mismos que ofrecen mejores estimaciones de esfuerzo". (Cháfuel Ortega, 2017)

Figura 24

Tipos de elementos finitos



Nota: Tomado de: (Cháfuel Ortega, 2017)

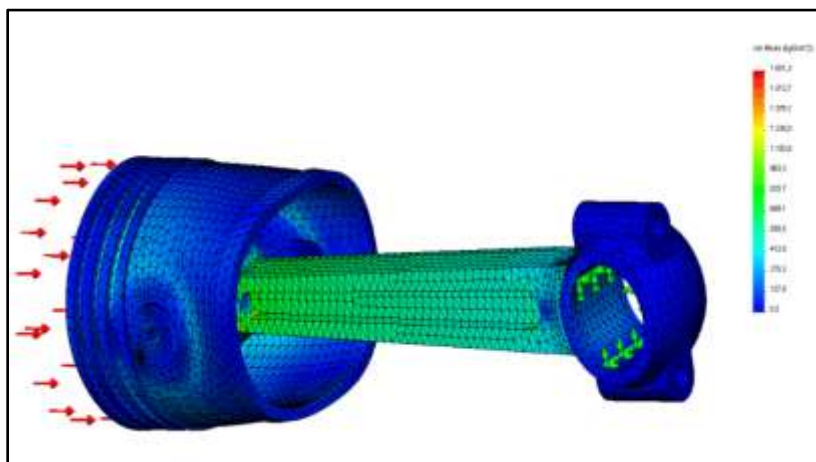
C. Mallado

En los comienzos del MEF, mallar una pieza requería un trabajo enorme. Ahora, los automalladores y preprocesadores de los paquetes de MEF la hacen una tarea muy fácil. Muchos paquetes importan la geometría de la pieza de un programa de CAD de modelado espacial y automallan la pieza. La mayoría de los automalladores sustituyen la malla 2D con cuadriláteros lineales o una malla con cuadriláteros dominantes y triángulos adicionales en las regiones donde lo requiere la forma de la pieza. Muchos

automalladores sólo pueden mallar modelos 3D con elementos tetraédricos. Los tetraedros lineales han demostrado ser menos adecuados para la estimación de esfuerzos; sin embargo, los tetraedros de orden superior son aceptables. Un paquete de MEF también tiene un preprocesador que permite el mallado manual de la pieza con los elementos elegidos. Se logra un mejor resultado en el mallado 3D con una combinación de ladrillos de 8 nodos y cuñas de 6 nodos, o aumentando el orden de los elementos tetraédricos, aun cuando ello incremente el tiempo de procesamiento. Esto se está volviendo menos problemático en la medida en que las computadoras son más rápidas. (Cháfuel Ortega, 2017)

Figura 25

Método de mallado en Software CAE



Nota: Tomado de: (Cháfuel Ortega, 2017)

2.13. Análisis matemático realizado por el software CAE en los elementos motrices

2.13.1. Resistencias de los engranes

En las normas AGMA se utilizan dos fórmulas fundamentales, una para la resistencia a la picadura (σ_H) y otra para la resistencia a la falla por flexión (σ_F). Los resultados obtenidos son llamados números de esfuerzo, desde ahora llamada resistencia AGMA o simplemente resistencia. (Duque Ramírez, 2017)

2.13.2. Resistencia a la falla por contacto superficial σ_H

La fórmula para el cálculo del número de esfuerzo de contacto superficial intermitente o resistencia a la picadura en los dientes del engranaje, representa la carga a la cual están siendo sometidos los flancos de dientes de cada una de las ruedas dentadas. Nótese que existen 3 grupos de términos, el primer grupo está relacionado con las características de la carga, el segundo grupo con la geometría de la rueda dentada y el tercero con la forma del diente. (Duque Ramírez, 2017)

Ecuación 7

Resistencia a la rodadura

$$\sigma_H = Z_E \sqrt{F_t K_o K_V * \frac{K_s}{d_{w1} B} * (K_H Z_r) / Z_t}$$

Donde:

σ_H : Resistencia a la picadura o número de esfuerzo de contacto, [N/mm²]

Z_E : Coeficiente de elasticidad, [N/mm²]

F_t : Fuerza tangencial transmitida, [N]

K_0 : Factor de sobrecarga [N/A]

K_v : Factor dinámico [N/A]

K_s : Factor de tamaño [N/A]

K_H : Factor de distribución de carga [N/A]

Z_r : Factor de condición de la superficie para la resistencia a la picadura [N/A]

B : Ancho de la cara del diente más estrecho [mm]

Z_t : Factor geométrico para picadura [N/A]

d_{w1} : Diámetro de trabajo [mm]

2.13.3. Esfuerzo de contacto admisible σ_{Ha}

La siguiente ecuación establece como calcular el valor del esfuerzo de contacto admisible que soporta el material del cual está fabricado el engranaje.

Ecuación 8

Esfuerzo de contacto admisible

$$\sigma_H \leq \frac{\sigma_{HP} Z_N Z_w}{S_H Y_\theta Y_z}$$

Donde:

σ_{HP} : Resistencia de contacto admisible, [N/mm²]

Z_N : Factor de durabilidad por esfuerzo de contacto, [N/A]

Z_W : Factor de relación de dureza, [N/A]

S_H : Factor de seguridad para resistencia a la picadura, [N/A]

Y_θ : Factor de temperatura, [N/A]

Y_Z : Factor de confiabilidad, [N/A]

2.13.4. Potencia máxima para la resistencia a la picadura

La potencia máxima que se puede transmitir considerando falla por picadura es:

Ecuación 9

Potencia máxima para la resistencia a la picadura

$$P_{az} = \frac{\pi \omega_1 B}{6 \times 10^7} * \frac{Z_I}{K_0 K_V K_S K_H Z_r} \left(\frac{d_{w1} \sigma_{HP} Z_N Z_W}{Z_E S_H Y_0 Y_Z} \right)^2$$

Donde:

P_{az} : Potencia máxima admisible, considerando falla por picaduras, [kW].

ω_1 : Es la velocidad del piñón, [rpm].

Se deben evaluar, para piñón y corona, las diferencias en las propiedades de los materiales y el número de ciclos de contacto de los dientes bajo carga. La potencia máxima admisible para resistencia a las picaduras se obtiene del valor más bajo del

producto (σ_{HP} ZN ZW) para cada uno de los engranajes acoplados. (Duque Ramírez, 2017)

2.13.5. Factores y valores comunes

Los valores de resistencias admisibles para engranajes son establecidos por requisitos específicos de control de calidad para cada tipo de material y grado. Se deben cumplir todos los requerimientos para el grado de calidad si se desean utilizar los valores del esfuerzo en el grado correspondiente. No es la intención de este trabajo determinar el grado específico de cada material, sino que establecer prácticas y procedimientos para el cálculo de engranajes, por lo cual, para el cálculo se consideraran los aceros como Grado 1. Los valores de resistencias admisibles se muestran en la Tabla 7. (Duque Ramírez, 2017)

Tabla 7

Resistencias admisibles, σ_F y σ_{FP} , para engranajes de acero

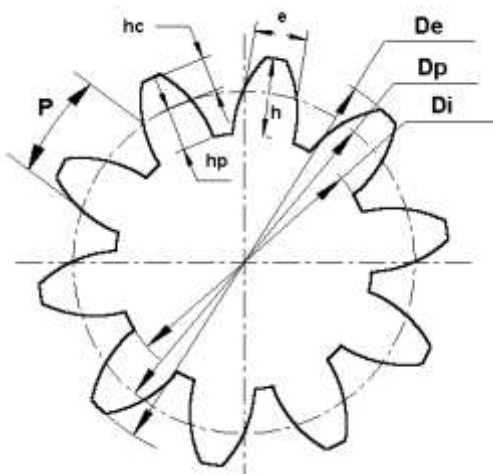
Material	Tratamiento Térmico	Dureza Superficial Mínima (HB)	Esfuerzo Límite (N/mm ²)	
			Contacto σ_{HP}	Flexión σ_{FP}
	Templado, revenido recocido y normalizado	560	$2.22*HB+200$	$0.533*HB+88.3$

Material	Tratamiento Térmico	Dureza Superficial Mínima (HB)	Esfuerzo Límite (N/mm ²)	
			Contacto σ_{HP}	Flexión σ_{FP}
	Cementado	560	1.240	380
	Nitruado +	433	1.035	$0.568 \cdot HB + 83.8$
2.5% Cromo	Nitruado	547	1.070	$0.7255 \cdot HB + 63.9$ 8
Nitruables 135M	Nitruado	642	1.170	$0.594 \cdot HB + 87.76$
Nitruables N	Nitruado	642	1.185	$0.594 \cdot HB + 87.76$
2.5% Cromo	Nitruado	642	1.215	$0.7255 \cdot HB + 63.9$ 8

Nota: Recuperado de: (Duque Ramírez, 2017)

2.14. Dimensiones representativas de los engranajes

Dentro de las principales medidas a considerar de los engranajes se debe considerar los diámetros principales, exteriores, de raíz, paso del engranaje, distancia entre centros.

Figura 26*Dimensiones en un engranaje*

Nota: Tomado de: (Diego, 2017)

2.14.1. Diámetro principal

Es el diámetro de la circunferencia primaria del engranaje y se obtiene mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 10

Diámetro principal

$$d_p = m \cdot z$$

Donde:

d_p : Diámetro principal, [mm].

m : Módulo del engranaje, [mm].

z : Número de dientes del engranaje.

2.14.2. Diámetro exterior

Pertenece a la circunferencia total en la cual está inscrita la rueda dentada y es calculado mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 11

Diámetro exterior

$$D_o = d_p + 2 \cdot a$$

Donde:

D_o : Diámetro exterior, [mm].

d_p : Diámetro principal, [mm].

a : Adendum.

2.14.3. Diámetro de raíz

Corresponde a la circunferencia interna que limita la parte inferior de los dientes del engranaje, viene dado por la ecuación a continuación.

Ecuación 12

Diámetro de raíz

$$D_r = d_p - 2 \cdot b$$

Donde:

D_r : Diámetro de raíz, [mm].

d_p : Diámetro principal, [mm].

b : Dedendum.

2.14.4. Paso circular

Es la distancia que existe entre dos puntos homólogos de dos dientes consecutivos, medida en la circunferencia primitiva. Para que dos ruedas que engranen deban tener el mismo paso circular.

Ecuación 13

Paso circular

$$p = m \cdot \pi$$

Donde:

p : Paso circular, [mm].

m : Módulo del engranaje.

2.14.5. Distancia entre centros

Distancia entre el centro de dos piñones que engranan entre sí y viene dado por la ecuación:

Ecuación 14

Distancia entre centros

$$Dc = \frac{d_{p1} + d_{p2}}{2}$$

Donde:

Dc : Distancia entre centros, [mm].

d_{p1} : Diámetro primitivo del engranaje 1, [mm].

d_{p2} : Diámetro primitivo del engranaje 2, [mm].

Capítulo III

3. Pruebas y ensayos

3.1. Introducción

En este capítulo se describe equipos y procedimientos utilizados en el análisis mecánico y químico del eje de salida del sistema de transmisión perteneciente al vehículo CUSHMAN, para el ensayo de tracción y espectrometría.

Con el ensayo de tracción, se obtiene distintas propiedades mecánicas del eje, es realizado en una máquina universal de ensayos localizada en el laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

Respecto al ensayo de espectrometría, es ejecutado con la finalidad de determinar los componentes químicos presentes en el eje, para esto se emplea el espectrómetro de chispa marca BRUKER modelo Q2 ION, perteneciente al Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional.

3.2. Equipos

3.2.1. *Maquina universal de ensayos*

La máquina universal se asemeja a una prensa usada para someter a tracción, flexión o compresión probetas de materiales, con una carga de trabajo de hasta 1 tonelada, suficiente para ejecutar el ensayo de resistencia a la tracción.

Figura 27

Máquina universal de ensayos



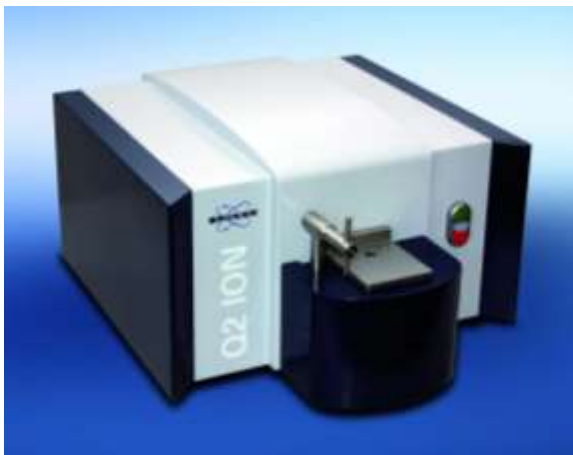
Nota: Tomado de: (Topoequipos, 2015)

3.2.2. Espectrómetro de chispa

Este analizador de muestras determina con gran exactitud la composición de distintas especies inertes, en este caso de una muestra metálica, dando a conocer los elementos y aleaciones que la componen.

Figura 28

Espectrómetro de chispa marca BRUKER modelo Q2 ION



Nota: Tomado de: (Directindustry, 2018)

3.3. Ensayo de resistencia a la tracción

El ensayo de resistencia a la tracción aplicado al eje de salida del sistema de transmisión perteneciente al vehículo CUSHMAN, es desarrollado apeándose a la normativa NTE INEN 109, la cual detalla el método de ensayo de tracción en materiales metálicos y define las propiedades mecánicas que se determinan a temperatura ambiente. (INEN, 2009)

3.3.1. Probetas para realizar el ensayo de tracción

Acorde a la normativa NTE INEN 109, la cual especifica que las probetas de la muestra se las debe realizar en base a lo establecido a la norma ASTM E8 que detalla métodos estándar para pruebas de tensión en materiales metálicos, se considera las dimensiones para probetas circulares, debido a la geometría del eje de salida del

sistema de transmisión perteneciente al vehículo CUSHMAN, seleccionando las medidas del espécimen 1 para trabajar.

Figura 29

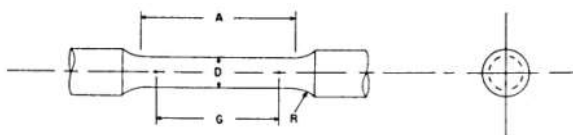
Probetas maquinadas



Nota: Tomado de: (LAEV, 2020)

Figura 30

Dimensiones de la probeta de sección circular bajo la norma ASTM E8



Dimensions, mm [in.]					
For Test Specimens with Gage Length Four times the Diameter [E8]					
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard			
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
<i>G</i> —Gage length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	36.0 ± 0.1 [1.400 ± 0.005]	24.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.005]	16.0 ± 0.1 [0.640 ± 0.005]	10.0 ± 0.1 [0.450 ± 0.005]
<i>D</i> —Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
<i>R</i> —Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
<i>A</i> —Length of reduced section, min (Note 2)	56 [2.25]	45 [1.75]	30 [1.25]	20 [0.75]	16 [0.625]
Dimensions, mm [in.]					
For Test Specimens with Gage Length Five times the Diameter [E8M]					
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard			
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
<i>G</i> —Gage length	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	45.0 ± 0.1 [1.750 ± 0.005]	30.0 ± 0.1 [1.250 ± 0.005]	20.0 ± 0.1 [0.800 ± 0.005]	12.5 ± 0.1 [0.565 ± 0.005]
<i>D</i> —Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
<i>R</i> —Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
<i>A</i> —Length of reduced section, min (Note 2)	75 [3.0]	54 [2.0]	36 [1.4]	24 [1.0]	20 [0.75]

Nota: Tomado de: (ASTM, 2015)

3.3.2. Desarrollo del ensayo de tracción

Para realizar este ensayo se marca de manera distintiva en las probetas los puntos extremos del largo de la sección reducida, posterior a ello se coloca una probeta en las mordazas de la máquina universal de ensayos como se indica en la figura 31, una vez aseguradas las mordazas y la probeta, se pone en marcha la máquina para someter la muestra a tracción hasta dividirla en dos, ver figura 32. En ese momento se debe tomar los datos de carga máxima, límite de fluencia, resistencia y elongación, se retira la probeta ensayada. Aplicar el mismo procedimiento para las demás muestras.

Figura 31

Probeta montada en máquina universal de ensayos



Nota: Tomado de: (LAEV, 2020)

Figura 32

Probetas después del ensayo de tracción



Nota: Tomado de: (LAEV, 2020)

3.3.3. Resultados ensayo de tracción

Los resultados obtenidos en el ensayo por resistencia a la tracción de las muestras tomadas del eje de salida del sistema de transmisión de la tricimoto CUSHMAN se detallan en la tabla 8. (Ver anexo 1)

Tabla 8

Resultados del ensayo de tracción

Muestra	Diámetro promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		Elongación en 50 mm
	[mm]	[lbf]	[N]	[ksi]	[MPa]	[ksi]	[MPa]	[%]
1	12,80	22 899	101 861	106,6	734,7	114,8	791,6	11,9
2	12,81	23 011	102 357	104,0	717,3	115,2	794,2	15,0

Muestra	Diámetro	Carga máxima		Límite de		Resistencia a la		Elongación
	promedio	registrada		fluencia		tracción		en 50 mm
	[mm]	[lbf]	[N]	[ksi]	[MPa]	[ksi]	[MPa]	[%]
3	12,75	21 904	97 435	81,8	564,2	110,7	763,1	15,9

Nota: Recuperado de: (LAEV, 2020)

3.4. Ensayo de espectrometría

Para el ensayo de espectrometría correspondiente al eje de salida del sistema de transmisión perteneciente al vehículo CUSHMAN, se desarrolla según como especifica la normativa ASTM E415 – 17, que establece el método de prueba estándar para análisis de carbono y acero de baja aleación mediante espectrometría de emisión atómica de chispa. (ASTM, 2017)

3.4.1. Muestra para la ejecución del ensayo de espectrometría

En el ensayo de espectrometría se trabajó con las partes sobrantes de las probetas del ensayo de tracción realizado anteriormente, debido a que para este tipo de ensayo se necesita una muestra del material con un lado plano que sirva de base donde pueda apoyarse de manera estable.

3.4.2. Desarrollo del ensayo de espectrometría

Según lo establecido en la norma ASTM E415 - 17 se utilizó el método Fe 110 Low alloy, para lo cual se tomaron 4 mediciones en distintos puntos del espécimen, empleando el espectrómetro marca BRUKER modelo Q2 ION, posterior a ello se promedió las 4 mediciones para obtener un resultado final.

Figura 33*Ensayo de espectrometría*

Nota: Tomado de: (LABORATORIO DE FUNDICIÓN , 2020)

3.4.3. Resultados ensayo de espectrometría

Los resultados obtenidos en ensayo de espectrometría de la muestra tomada del eje de salida del sistema de tren de potencia de la tricimoto CUSHMAN se detallan en la tabla 9. (Ver anexo 2)

Tabla 9*Resultados del ensayo de espectrometría*

Muestra metálica										
Elemento	Carbono	Silicio	Manganeso	Fósforo	Azufre	Cromo	Níquel	Cobre	Niobio	Hierro
Valor [%]	0,418	0,184	0,753	0,015	0,024	0,024	0,027	0,021	0,029	98,49

Nota: Recuperado de: (LABORATORIO DE FUNDICIÓN , 2020)

Capítulo IV

4. Cálculo de las cargas en el sistema de transmisión

4.1. Introducción

En el presente capítulo se detalla los parámetros obtenidos mediante la medición de los componentes del sistema de transmisión de la tricimoto CUSHMAN, además de los especificados en el manual del fabricante, los cuales se utilizaron para calcular las distintas cargas que afectan en el funcionamiento del sistema.

4.2. Datos proporcionados por el manual del fabricante

A continuación, se describe los valores indicados en el manual del fabricante.

- Potencia

$$P = 22 \text{ HP}$$

- Número máximo de revoluciones por minuto del motor en condiciones óptimas de trabajo

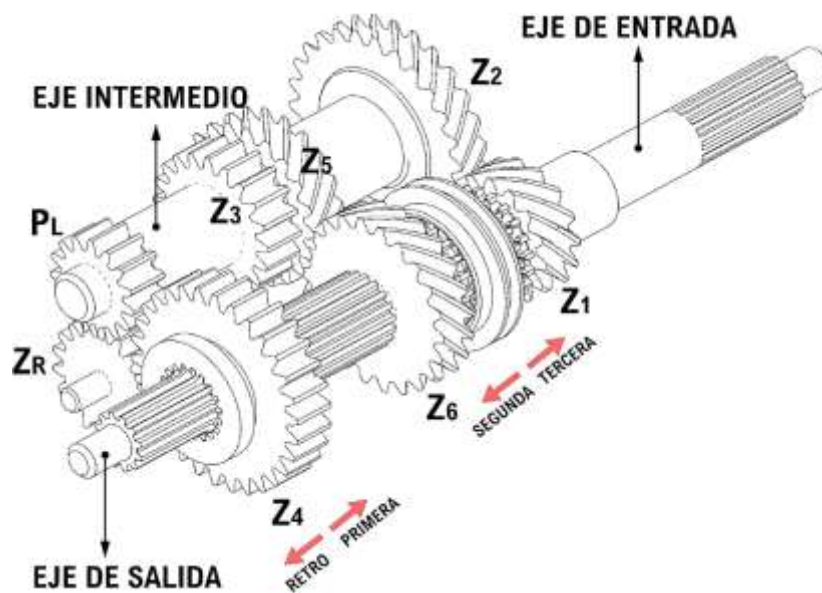
$$n_t = 3750 \text{ rpm}$$

4.3. Datos obtenidos mediante investigación de campo

Son aquellos valores que se obtuvieron en los diferentes componentes del tren de potencia mediante un estudio real del sistema.

Figura 34

Piñones y engranes de la caja de cambios de la tricimoto CUSHMAN



Nota: En la figura se muestra los ejes y engranajes de la caja de cambios CUSHMAN.

- Número de dientes de los diferentes piñones de la caja de cambios.

$$Z_1 = 15 \text{ dientes}$$

$$Z_2 = 26 \text{ dientes}$$

$$Z_3 = 20 \text{ dientes}$$

$$Z_4 = 30 \text{ dientes}$$

$$Z_5 = 22 \text{ dientes}$$

$$Z_6 = 20 \text{ dientes}$$

$$Z_R = 15 \text{ dientes}$$

4.4. Datos obtenidos mediante teoría de diseño

Son valores que se obtuvieron mediante el uso de fuentes bibliográficas de la teoría de diseño de elementos mecánicos.

- Modulo del engranaje

$$m = 3$$

- Addendum

$$a = 2,216$$

- Dedendum

$$b = 2,770$$

4.5. Desarrollo del cálculo del sistema

4.5.1. Torque del motor

Se lo calcula mediante la ecuación 1.

$$T = \left(\frac{P \cdot 5252}{n_t} \right) \cdot 1,3558$$

$$T = \left(\frac{22 \cdot 5252}{3750} \right) \cdot 1,3558$$

$$T = 41,755 \text{ Nm}$$

4.5.2. Cálculo caja de cambios

- Relación de la distancia entre ejes de la caja de cambios

Para hallar la siguiente relación se usa la ecuación 6.

$$d_{A-B} = \frac{D_{pA} + D_{pB}}{2}$$

$$d_{1-2} = \frac{D_{p1} + D_{p2}}{2}$$

$$d_{5-6} = \frac{D_{p5} + D_{p6}}{2}$$

$$\mathbf{d_{5-6} = d_{1-2}}$$

- Parámetros principales del engranaje 1 y el piñón 2

Diámetro principal

Se obtiene de acuerdo a la ecuación 10.

$$d_p = m \cdot z$$

Para el engranaje 1

$$d_{p1} = m \cdot z_1$$

$$d_{p1} = 3 \cdot 15$$

$$\mathbf{d_{p1} = 45 \text{ mm}}$$

Para el piñón 2

$$d_{p2} = m \cdot z_2$$

$$d_{p2} = 3 \cdot 26$$

$$\mathbf{d_{p2} = 78 \text{ mm}}$$

Diámetros exteriores

Es calculado mediante la ecuación 11.

$$D_o = d_p + 2 \cdot a$$

Para el engranaje 1

$$D_{o1} = d_{p1} + 2 \cdot a$$

$$D_{o1} = 45 + 2 \cdot 2,216$$

$$\mathbf{D_{o1} = 49,432 \text{ mm}}$$

Para el piñón 2

$$D_{o2} = d_{p2} + 2 \cdot a$$

$$D_{o2} = 78 + 2 \cdot 2,216$$

$$\mathbf{D_{o2} = 82,432 \text{ mm}}$$

Diámetros de raíz

Se define por medio de la ecuación 12.

$$D_r = d_p - 2 \cdot b$$

Para el engranaje 1

$$D_{r1} = d_{p1} - 2 \cdot b$$

$$D_{r1} = 45 - 2 \cdot 2,770$$

$$\mathbf{D_{r1} = 39,46 \text{ mm}}$$

Para el piñón 2

$$D_{r2} = d_{p2} - 2 \cdot b$$

$$D_{r2} = 78 - 2 \cdot 2,770$$

$$\mathbf{D_{r2} = 72,46 \text{ mm}}$$

Cálculo del paso

Se obtiene mediante la ecuación 13.

$$p = m \cdot \pi$$

$$p = 3 \cdot \pi$$

$$\mathbf{p = 9,42 \text{ mm}}$$

Distancia entre centros

Se calcula con la ecuación 14.

$$Dc = \frac{d_{p1} + d_{p2}}{2}$$

$$Dc = \frac{45 + 78}{2}$$

$$\mathbf{Dc = 61,5 \text{ mm}}$$

4.5.3. Cálculo de las velocidades

En este cálculo se obtiene los valores de: relación de transmisión, velocidad de rotación, torque y potencia de la marcha en las distintas configuraciones de velocidades de la caja de transmisión, utilizando expresiones matemáticas.

Relación de transmisión.

$$i = \frac{Z_c \cdot Z_s}{Z_p \cdot Z_i}$$

Velocidad de rotación.

$$n = \frac{n_t}{i}$$

Torque de la marcha.

$$T_m = T \cdot i$$

Potencia de la marcha.

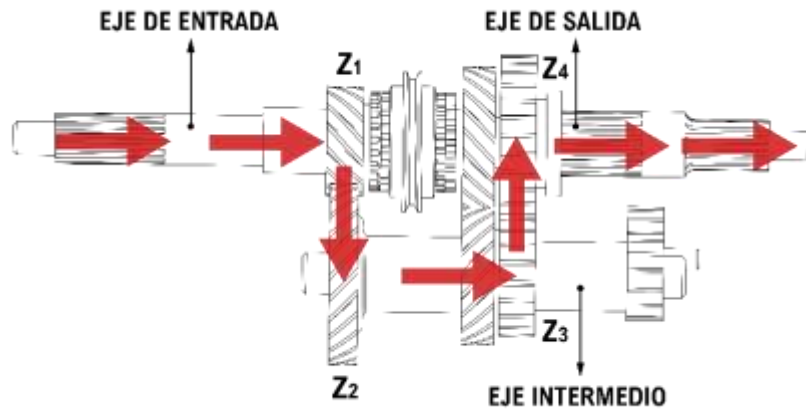
$$P_m = \frac{P \cdot n}{n_t}$$

Ecuaciones que se procede a reemplazar con los valores correspondientes a cada velocidad.

A. Primera velocidad

Figura 35

Configuración de engranajes en primera velocidad



Nota: Las flechas indican la posición de los engranajes en la caja de cambios cuando se coloca la primera velocidad.

- Relación de transmisión

$$i_1 = \frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1 \cdot Z_3}$$

$$i_1 = \frac{26 \cdot 30}{15 \cdot 20}$$

$$i_1 = 2,6:1$$

- Velocidad de rotación

$$n_1 = \frac{n_t}{i_1}$$

$$n_1 = \frac{3750 \text{ rpm}}{2,6}$$

$$n_1 = 1442 \text{ rpm}$$

- Torque de la marcha

$$T_{m1} = T \cdot i_1$$

$$T_{m1} = 41,755 \cdot 2,6$$

$$T_{m1} = 108,61 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- Potencia de la marcha

$$P_{m1} = \frac{P \cdot n_1}{n_t}$$

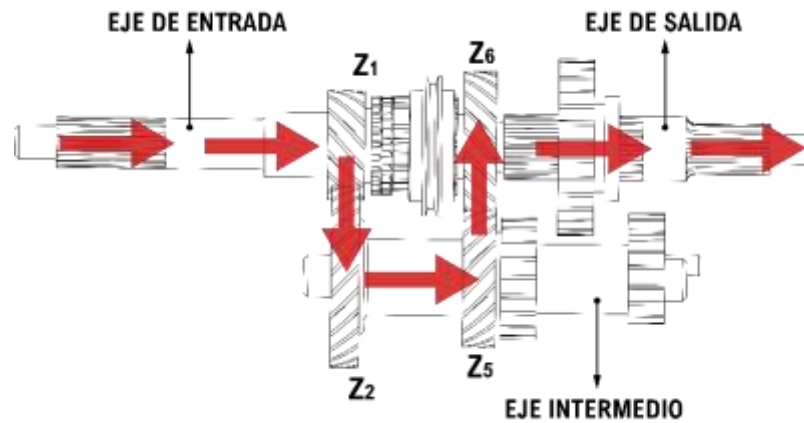
$$P_{m1} = \frac{22 \cdot 1442}{3750}$$

$$P_{m1} = 8,46 \text{ HP}$$

B. Segunda velocidad

Figura 36

Configuración de engranajes en segunda velocidad



Nota: Las flechas indican la posición de los engranajes en la caja de cambios cuando se coloca la segunda velocidad.

- Relación de transmisión

$$i_2 = \frac{Z_2 \cdot Z_6}{Z_1 \cdot Z_5}$$

$$i_2 = \frac{26 \cdot 20}{15 \cdot 22}$$

$$\mathbf{i_2 = 1,6:1}$$

- Velocidad de rotación

$$n_2 = \frac{n_t}{i_2}$$

$$n_2 = \frac{3750 \text{ rpm}}{1,6}$$

$$\mathbf{n_2 = 2344 \text{ rpm}}$$

- Torque de la marcha

$$T_{m2} = T \cdot i_2$$

$$T_{m2} = 41,755 \cdot 1,6$$

$$\mathbf{T_{m2} = 66,84 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

- Potencia de la marcha

$$P_{m2} = \frac{P \cdot n_2}{n_t}$$

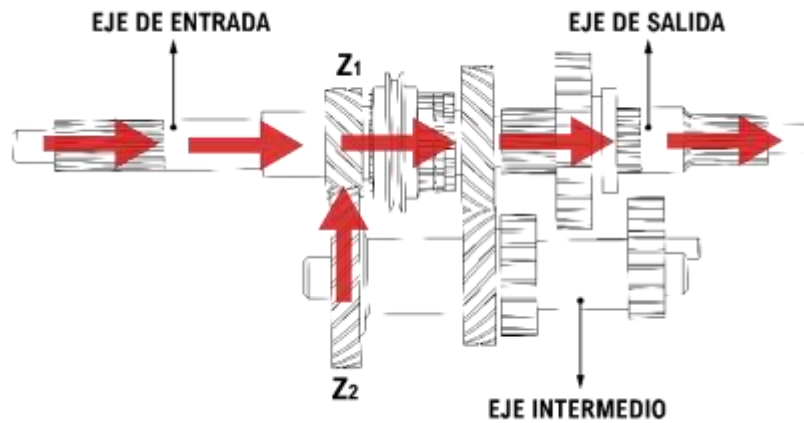
$$P_{m2} = \frac{22 \cdot 2344}{3750}$$

$$P_{m2} = 13,75 \text{ HP}$$

C. Tercera velocidad

Figura 37

Configuración de engranajes en tercera velocidad



Nota: Las flechas indican la posición de los engranajes en la caja de cambios cuando se coloca la tercera velocidad.

- Relación de transmisión

$$i_3 = \frac{Z_2 \cdot Z_1}{Z_2 \cdot Z_1}$$

$$i_3 = \frac{20 \cdot 15}{20 \cdot 15}$$

$$i_3 = 1:1$$

- Velocidad de rotación

$$n_3 = \frac{n_t}{i_3}$$

$$n_3 = \frac{3750 \text{ rpm}}{1}$$

$$\mathbf{n_3 = 3750 \text{ rpm}}$$

- Torque de la marcha

$$T_{m3} = T \cdot i_3$$

$$T_{m3} = 41,755 \cdot 1$$

$$\mathbf{T_{m3} = 41,755 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

- Potencia de la marcha

$$P_{m3} = \frac{P \cdot n_3}{n_t}$$

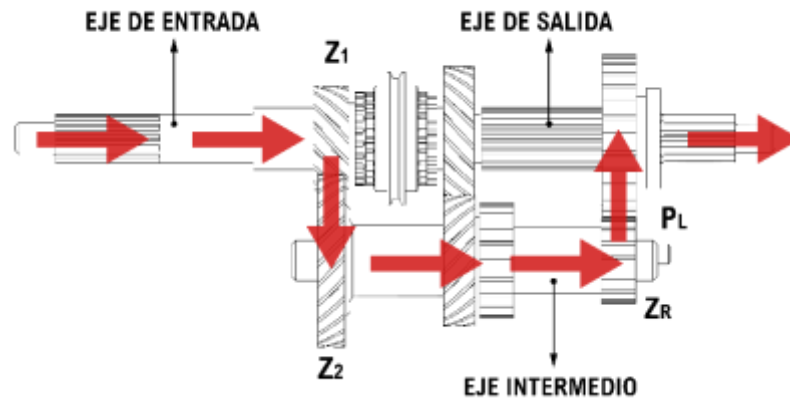
$$P_{m3} = \frac{22 \cdot 3750}{3750}$$

$$\mathbf{P_{m3} = 22 \text{ HP}}$$

D. Marcha reversa

Figura 38

Configuración de engranajes en marcha reversa



Nota: Las flechas indican la posición de los engranajes en la caja de cambios cuando se coloca la marcha reversa.

- Relación de transmisión

$$i_R = \frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1 \cdot Z_{R1}}$$

$$i_R = \frac{26 \cdot 30}{15 \cdot 15}$$

$$i_R = 3,5:1$$

- Velocidad de rotación

$$n_R = \frac{n_t}{i_R}$$

$$n_R = \frac{3750 \text{ rpm}}{3,5}$$

$$n_R = 1071 \text{ rpm}$$

- Torque de la marcha

$$T_{mR} = T \cdot i_R$$

$$T_{mR} = 41,755 \cdot 3,5$$

$$T_{mR} = 146,21 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- Potencia de la marcha

$$P_{mR} = \frac{P \cdot n_R}{n_t}$$

$$P_{mR} = \frac{22 \cdot 1071}{3750}$$

$$P_{mR} = 6,29 \text{ HP}$$

Tabla 10

Resultados cálculo de las velocidades

Marcha	Relación de transmisión	Velocidad de rotación [rpm]	Torque de la marcha [N.m]	Potencia de la marcha [HP]
Primera	2,6 : 1	1442	108,61	8,46
Segunda	1,6 : 1	2344	66,84	13,75
Tercera	1 : 1	3750	41,755	22
Reversa	3,5 : 1	1071	146,21	6,29

Capítulo V

5. Análisis del tren de potencia en software de simulación CAD/CAE

5.1. Introducción

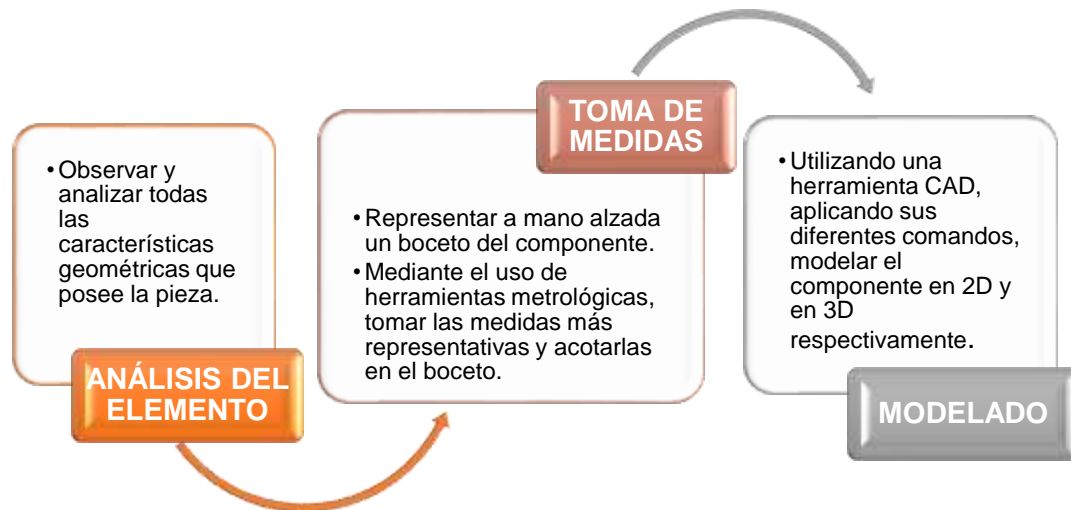
En el presente capítulo se desarrolla las respectivas simulaciones del sistema del tren de potencia de la tricimoto CUSHMAN, considerando los valores logrados anteriormente, para así obtener características propias de los componentes, en diferentes ambientes de simulación.

5.2. Software CAD

El software CAD utilizado para el desarrollo del presente proyecto, se empleó para esquematizar y representar el modelado 3D de los distintos componentes que tiene el sistema de tren de potencia de la tricimoto CUSHMAN, como son: caja de cambios, árbol de transmisión, diferencial y palieres. Alcanzando de esta manera representar en un ambiente virtual el sistema en conjunto.

Figura 39

Secuencia para realizar el proceso del modelado en general

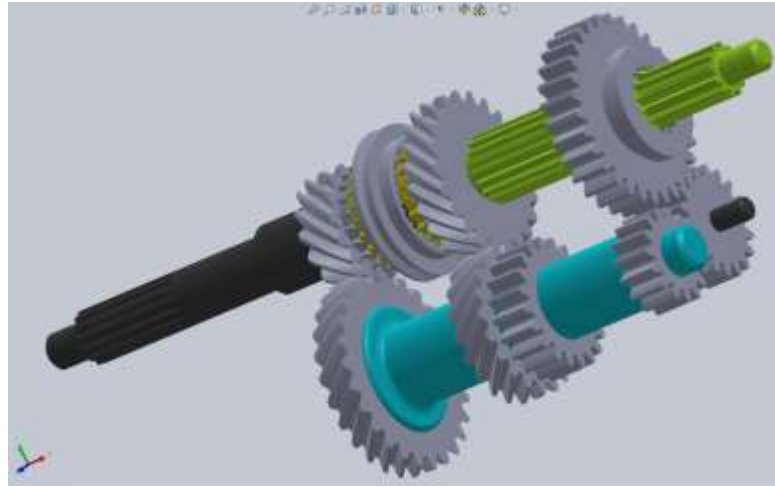


5.2.1. Caja de cambios representada en software CAD

Mediante el uso de la herramienta CAD se representó la caja de cambios del sistema del tren de potencia con sus diferentes ejes y piñones de las distintas marchas que constituyen este mecanismo.

Figura 40

Caja de cambios modelada en software CAD

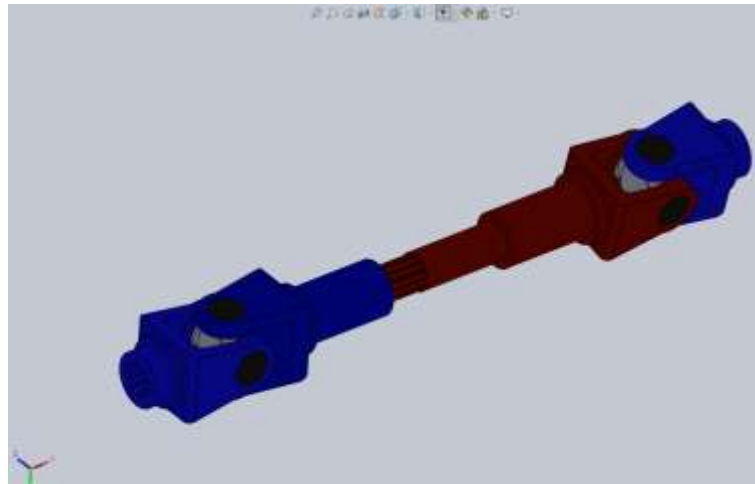


5.2.2. Árbol de transmisión representado en software CAD

Empleando el software CAD se modeló en 3D el árbol de transmisión del sistema del tren de potencia con sus distintos componentes.

Figura 41

Árbol de transmisión modelado en software CAD

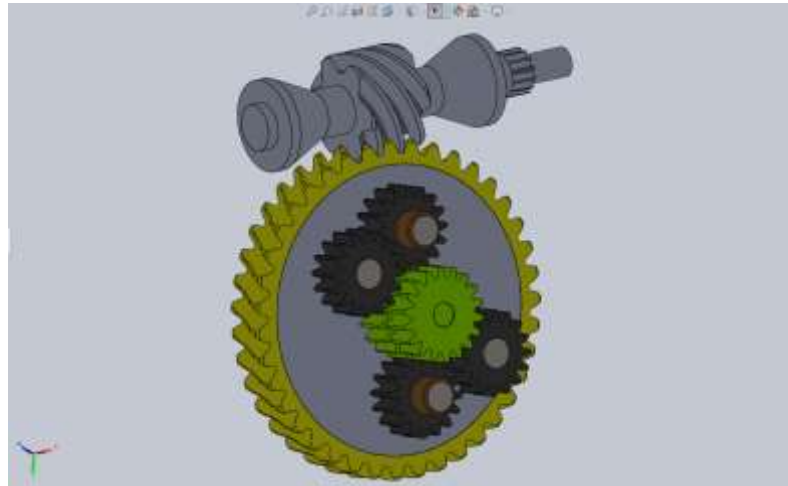


5.2.3. Diferencial representado en software CAD

Se representa la estructura interna del diferencial del tren de potencia con sus diferentes ejes y piñones, utilizando una herramienta CAD.

Figura 42

Diferencial modelado en software CAD



5.2.4. Eje palier representado en software CAD

El eje palier del sistema del tren de potencia, pieza estudiada en este proyecto, se modeló en 3D de manera exitosa, gracias al software CAD.

Figura 43

Eje palier modelado en software CAD



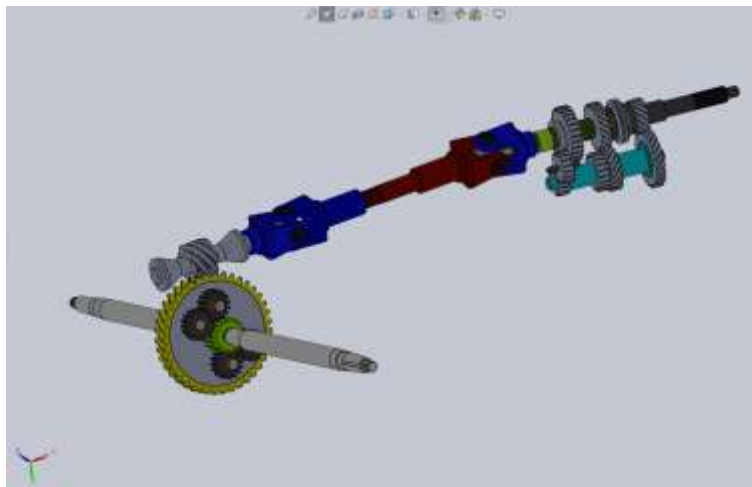
Nota: El eje palier modelado en CAD se utiliza para realizar la simulación en software CAE por presentar una geometría óptima en la realización de los ensayos.

5.2.5. Sistema del tren de potencia representado en software CAD

Utilizando la herramienta CAD, se ensambló todas las piezas ya modeladas, obteniendo una representación completa del sistema del tren de potencia.

Figura 44

Sistema del tren de potencia representado en software CAD



5.3. Software CAE

Mediante el uso de software CAE, y los datos previamente obtenidos en el capítulo 4, se obtiene características ingenieriles, como: vida útil, factores de seguridad, esfuerzos, entre otras, de los componentes del sistema, por lo que se procede a realizar el proceso de simulación, como se muestra en la figura 45.

Figura 45

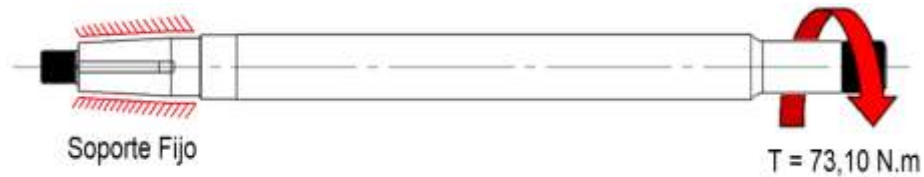
Secuencia para ejecutar la simulación en software CAE



A continuación, se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje palier identificando donde se encuentra las cargas y sujeciones para realizar la simulación en el software CAE.

Figura 46

Diagrama de cuerpo libre del eje palier aplicado en software CAE



Nota: Para ejecutar la simulación CAE en el eje palier se ocupa la mayor carga, en este caso el torque de la marcha reversa (146,21 N.m) dividido entre 2, debido que el mecanismo del diferencial no presenta sistema de bloqueo de ruedas y la tricimoto consta de dos ejes palieres.

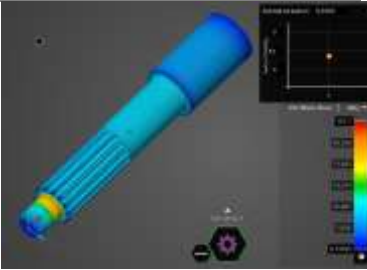
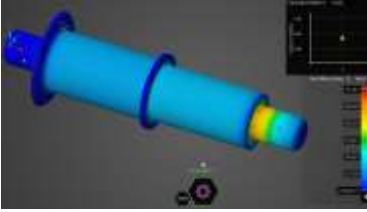
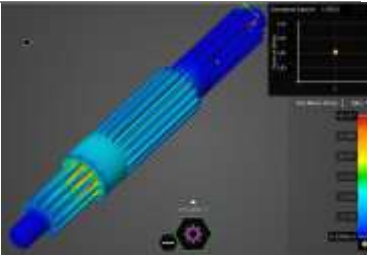
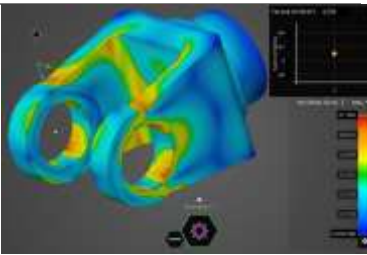
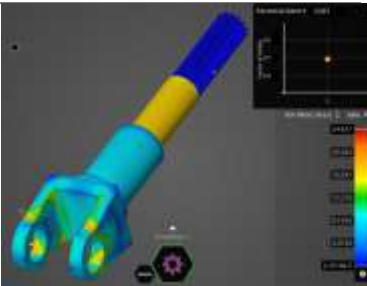
5.3.1. Valores obtenidos en el software CAE de los elementos que componen el sistema del tren de potencia.

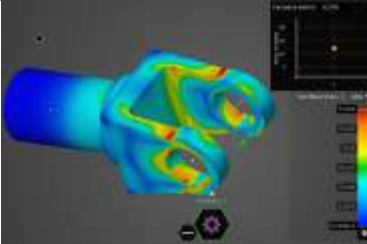
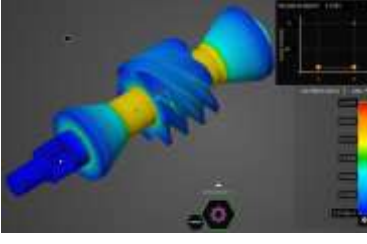
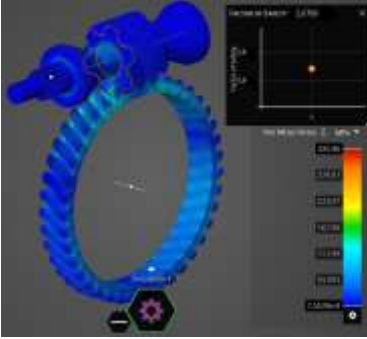
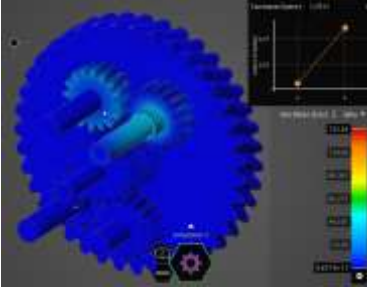
En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos de los componentes del sistema analizados en un entorno CAE.

Tabla 11

Resultados obtenidos en software CAE de los componentes del tren de potencia de la tricimoto CUSHMAN

ELEMENTO	FACTOR DE SEGURIDAD	ESFUERZO MÁXIMO DE VON MISES	ILUSTRACIÓN
Piñón primera marcha	7,22	124,63 MPa	
Piñón segunda marcha	7,28	123,47	
Piñón tercera marcha	3,93	228,73	
Piñón marcha reversa	7,94	1132,3	

ELEMENTO	FACTOR DE SEGURIDAD	ESFUERZO MÁXIMO DE VON MISES	ILUSTRACIÓN
Eje de entrada de la caja de cambios	8,35	107,7	
Eje intermedio de la caja de cambios	1,62	55,281	
Eje de salida de la caja de cambios	1,99	45,107	
Terminal cardán	4,09	21,962	
Eje cardán conductor	3,68	24,437	

ELEMENTO	FACTOR DE SEGURIDAD	ESFUERZO MÁXIMO DE VON MISES	ILUSTRACIÓN
Eje cardán conducido	4,27	21,045	
Eje sin fin diferencial	3,13	28,669	
Rueda sin fin diferencial	2,67	335,96	
Satélite diferencial	1,79	132,54	

5.3.2. Análisis del eje de salida o palier en software CAE

Se realizó el estudio CAE del eje palier en diferentes ambientes de simulación, seleccionado tres tipos de materiales distintos, mostrados en la siguiente tabla con sus respectivas propiedades.

Tabla 12

Tipos materiales con sus propiedades utilizados en la simulación CAE para el eje palier

Material	Resistencia última [Mpa]	Resistencia elástica [Mpa]	Dureza [HB]	Densidad [gr/cm³]
<hr/>				
Acero AISI				
1018 –	576	353	163	7.85
Cementado				
<hr/>				
Acero AISI				
4340	1100-1300	900	320	7.85
<hr/>				
Aluminio AISI				
7075-T6	570	520	150	2.80
<hr/>				

Ocupando los valores de las propiedades establecidas en la tabla 12, se realizó la simulación CAE con los diferentes tipos de materiales.

A. Acero AISI 1018 – Cementado

Figura 47

Simulación CAE eje palier utilizando acero AISI 1018 - Cementado

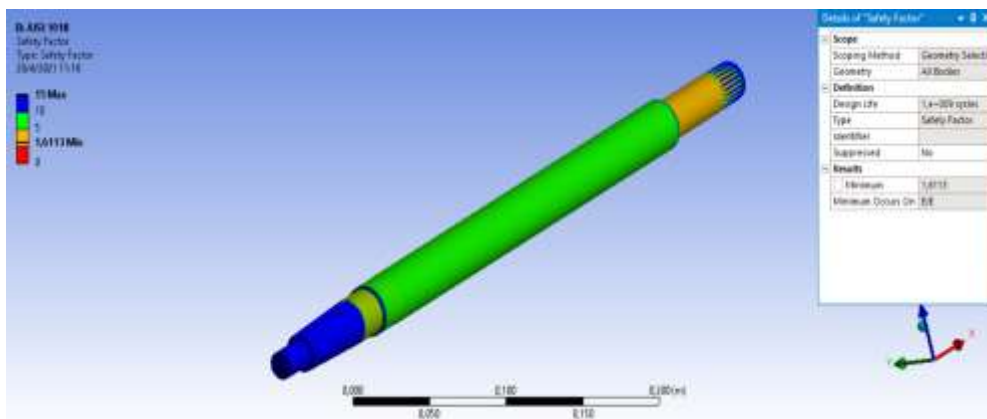
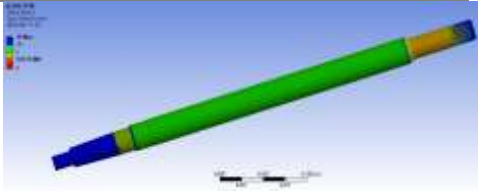
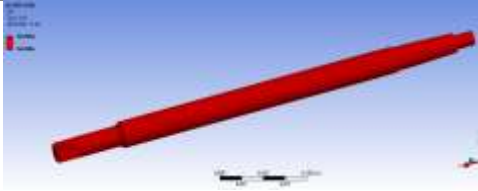
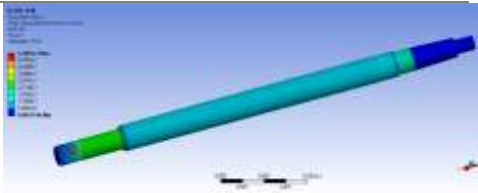
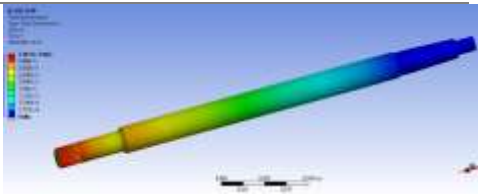


Tabla 13

Resultados obtenidos en CAE del eje palier utilizando acero AISI 1018 - Cementado

Parámetros	Valor	Ilustración
Factor de seguridad	1,61	
Ciclos de vida	$1e^6$	

Parámetros	Valor	Ilustración
Esfuerzo de Von Mises [Mpa]	Máximo: 53 Mínimo: 0,000114	
Deformación Total [mm]	Máximo: 0,0338	

B. Acero AISI 4340

Figura 48

Simulación CAE eje palier con acero AISI 4340

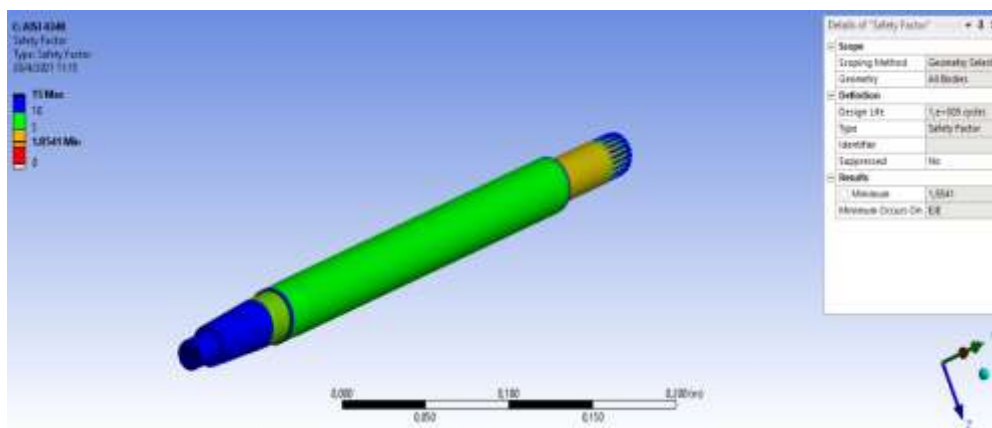
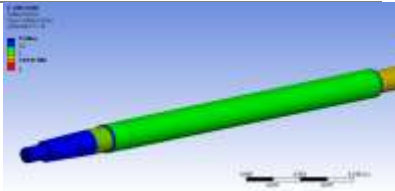
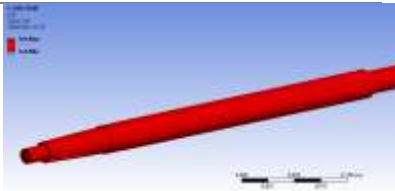
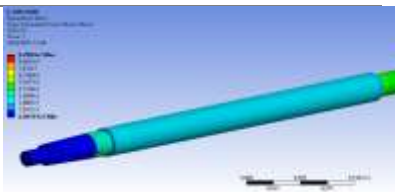
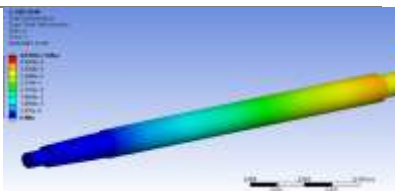


Tabla 14

Resultados obtenidos en CAE del eje palier utilizando acero AISI 4340

Parámetros	Valor	Ilustración
Factor de seguridad	1,85	
Ciclos de vida	$1e^6$	
Esfuerzo de Von Mises [Mpa]	Máximo: 92,9 Mínimo: 0,0059	
Deformación Total [mm]	Máximo: 0,0493	

C. Aluminio 7075 – T6

Figura 49

Simulación CAE eje palier con Aluminio 7075 – T6

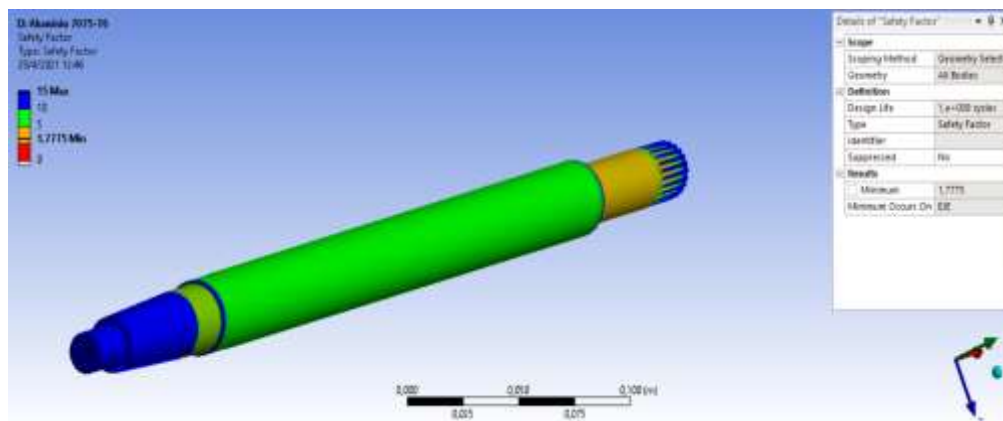
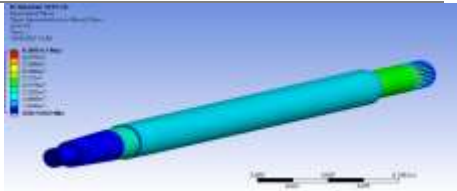
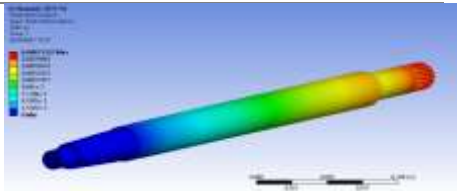


Tabla 15

Resultados obtenidos en CAE del eje palier utilizando Aluminio 7075 – T6

Parámetros	Valor	Ilustración
Factor de seguridad	1,77	
Ciclos de vida	$1e^6$	

Parámetros	Valor	Ilustración
Esfuerzo de Von Mises [Mpa]	Máximo: 93,0 Mínimo: 0,0075	
Deformación Total [mm]	Máximo: 0,21	

Capítulo VI

6. Análisis de resultados

6.1. Introducción

En el siguiente capítulo se analiza los resultados que se obtuvieron en el desarrollo del proyecto, como son ensayos y simulaciones en software CAE.

6.2. Análisis de ensayos

Una vez ejecutados los ensayos destructivos a las probetas a partir del eje palier de la tricimoto CUSHMAN, se procede con el análisis de los resultados obtenidos.

6.2.1. Análisis del ensayo de tracción

En base al ensayo de tracción ejecutado al eje palier extraído de la tricimoto CUSHMAN se visualizaron sus propiedades mecánicas. Por lo cual, mediante una comparativa se procedió a la selección de tres tipos de materiales como son: acero AISI 1018, acero AISI 4340, aluminio 7075 – T6; que poseen cualidades similares a las del eje al que se realizó el ensayo destructivo.

Descubriendo así que para elaborar un eje palier nuevo, se puede emplear el acero AISI 4340, por sus propiedades mecánicas semejantes a las del eje original.

6.2.2. Análisis del ensayo de espectrometría

Con los resultados obtenidos en ensayo de espectrometría, se analizó la composición química del material con el cual está fabricado originalmente el eje palier, y de esta forma, seleccionar otro material de similar o mejor característica, mismo que se pueda emplear en la fabricación de un nuevo eje palier del sistema de transmisión, y sea capaz de cumplir con la función del original.

Mediante una comparativa de la composición química de los materiales seleccionados, se afirmó que el acero AISI 4340 es el ideal para manufacturar la pieza en caso de un posible escenario de falla.

Tabla 16

Comparación de la composición química del material original con el que está fabricado el eje palier del sistema de transmisión CUSHMAN vs el acero AISI 1018 - Cementado, acero AISI 4340 y aluminio 7075 T6

[%]	Material Original	Acero AISI 1018 – Cementado	Acero AISI 4340	Aluminio 7075 – T6
Carbono	0,418	0,20	0,43	NA
Silicio	0,184	0,25	0,3	0,40
Manganeso	0,753	0,7	0,8	0,30
Fósforo	0,015	0,04	0,035	NA
Azufre	0,024	0,05	0,04	NA
Cromo	0,024	NA	0,9	0,28
Níquel	0,027	NA	2	NA
Cobre	0,021	NA	NA	2
Niobio	0,029	NA	NA	NA
Molibdeno	NA	NA	0,3	NA
Hierro	98,49	98,75	95,18	0,50
Aluminio	NA	NA	NA	86,91

[%]	Material Original	Acero		
		AISI 1018 – Cementado	AISI 4340	Aluminio 7075 – T6
Magnesio	NA	NA	NA	2,90
Zinc	NA	NA	NA	6,10
Titanio	NA	NA	NA	0,20
Circonio + Titanio	NA	NA	NA	0,25
Otros	NA	NA	NA	0,15

6.3. Análisis software CAE

Realizada la simulación CAE del eje palier del sistema de transmisión de la tricimoto marca CUSHMAN, se procedió con el desarrollo del análisis de los datos obtenidos.

6.3.1. Análisis del factor de seguridad

Se analiza el factor de seguridad obtenido en un entorno CAE, con los tres tipos de materiales, resultando como material con mayor factor de seguridad el acero AISI 4340, siendo este el que presenta mayor fiabilidad.

Tabla 17

Resultados del factor de seguridad del eje palier en los diferentes tipos de materiales obtenidos en la simulación CAE

Material	Factor de seguridad
Acero AISI 1018 - Cementado	1,61
Acero AISI 4340	1,85
Aluminio 7075 – T6	1,77

6.3.2. Análisis del ciclo de vida

Concluida la simulación CAE del eje palier, se obtuvo los diferentes ciclos de vida que presentaría cada uno de los materiales propuestos, destacando que, en todos, el resultado fue un valor de $1e^6$ ciclos, que en términos de diseño se define como vida infinita de un eje. Se tomará en cuenta el acero AISI 4340 a pesar de que los tres materiales poseen una vida infinita, debido a las ventajas presentadas de este material en los análisis preliminares.

6.3.3. Análisis del esfuerzo de Von Mises

Obtenidos los valores máximos del esfuerzo de Von Mises, se los comparó con el límite elástico correspondiente a cada material. Gracias a esta comparación se afirma que todos los materiales resistirán de manera adecuada el esfuerzo de Von Mises, sin

embargo, se selecciona como material óptimo el acero AISI 4340 por presentar un mayor límite elástico.

6.3.4. Análisis de la deformación total

Finalizada la simulación en el entorno CAE del eje palier del sistema de transmisión, se obtuvo las máximas deformaciones que alcanzaría el eje simulado con los distintos materiales seleccionados, aplicándole el máximo esfuerzo, deduciendo que el eje simulado con el acero AISI 1018 – Cementado posee una menor deformación.

Tabla 18

Resultados de la deformación total del eje palier en los diferentes tipos de materiales obtenidos en la simulación CAE

Material	Deformación Total [mm]
Acero AISI 1018 - Cementado	0,0338
Acero AISI 4340	0,0494
Aluminio 7075 – T6	0,21

Nota: A pesar que el acero AISI 1018 presenta una menor deformación, se prefiere optar por el acero AISI 4340 debido a que refleja un mejor desempeño en base a las anteriores propiedades mecánicas ya analizadas.

6.3.5. Análisis de la fabricación del eje palier

Tomando en cuenta las especificaciones del plano en el anexo 3, para la fabricación del eje palier, considerando los tres tipos de materiales propuestos en este proyecto, se realizó una investigación de campo, obteniendo diferentes presupuestos y tiempos de manufactura.

Tabla 19

Presupuestos para la fabricación del eje palier según el tipo de material

Material	Adquisición		Tratamiento Térmico	Total	Tiempo de fabricación
	(Ø = 35 mm L = 700 mm)	Mecanizado			
AISI 1018		(Manufactura)			
-		\$112,00		\$147,44	14 días laborables
Cementado	\$10,80		\$24,64		
o		(CNC) \$313,60		\$349,04	13 días laborables
AISI 4340	\$20,54	(Manufactura)		\$171,74	9 días laborables
		\$151,20	NA		
		(CNC) \$313,60		\$334,14	8 días laborables
Aluminio		(Manufactura)		\$226,81	15 días laborables
7075 – T6	\$46,60	\$151,20	\$29,01		
		(CNC)		\$389,21	14 días laborables
		\$313,60			

Nota: Todos los valores expuestos en esta tabla 19 están respaldados por los anexos del 3 al 10.

Analizando los resultados, se optó por construir el eje palier en el acero AISI 4340, en vista de que lleva un menor tiempo de fabricación por no necesitar

tratamientos térmicos y representa un costo medio de fabricación, a diferencia de los otros materiales propuestos.

Capítulo VII

7. Marco administrativo

7.1. Introducción

Para ejecutar el proyecto de investigación, se procedió de manera organizada y detallada con el fin de optimizar los recursos, que se especifican a continuación.

7.1.1. Recursos humanos

El desarrollo de la investigación “ANÁLISIS MECÁNICO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA DE UNA TRICIMOTO MARCA CUSHMAN MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS CAE” fue realizado por:

Tabla 20

Recursos humanos

Ord.	Descripción	Cantidad	Función
1.	Melo Recalde Cristian David	1	Investigador
2.	Carrillo Vivanco Ronny Alexander	1	Investigador
3.	Ing. Guillermo Mauricio Cruz Arcos	1	Colaborador Científico

7.1.2. Recursos tecnológicos

En el proyecto de investigación se usaron recursos tecnológicos indispensables que permitieron su correcto desarrollo, y se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 21*Recursos tecnológicos*

Ord.	Detalle	Cantidad	Costo
1.	Computador personal	1	\$ 1100.00
2.	Instrumentos de Medición	3	\$ 100.00
3.	Laboratorio de Ensayos	4	\$ 150.00
4.	Manufactura.	1	\$ 151.20
TOTAL			\$ 1501.20

7.1.3. Recursos materiales

Para el desarrollo de la investigación es necesario establecer los recursos materiales primordiales que se utilizaron.

Tabla 22*Recursos materiales*

Ord.	Cantidad	Detalle	Costos	Costo total
			unitarios	USD
1	1	Tricimoto CUSHMAN	\$ 0.00	\$ 0.00
2	1	Caja de Herramientas	\$ 150.00	\$ 150.00
3	1	Aceros	\$ 20.54	\$ 20.54
4	1	Lubricantes,	\$ 100.00	\$ 100.00
		Combustibles y Grasas		
TOTAL				\$ 270.54

7.1.4. Costo total de la investigación

Para el costo neto del proyecto titulado como: “ANÁLISIS MECÁNICO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA DE UNA TRICIMOTO MARCA CUSHMAN MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS CAE”, resulta de la suma total de los recursos a utilizar más movilidad.

Tabla 23

Costo total de la investigación

Descripción	Costo total USD
Recursos materiales	\$ 270.54
Recursos tecnológicos	\$ 1501.20
Movilidad	\$ 200.00
TOTAL	\$1971.74

Capítulo VIII

8. Conclusiones y recomendaciones

8.1. Conclusiones

- Se recopiló información correspondiente al funcionamiento y características mecánicas de la tricimoto marca CUSHMAN en fuentes bibliográficas y bases digitales como son: manual del fabricante, Google académico, sci-hub, libros de teoría de diseño y repositorios digitales para realización del proyecto de investigación.
- Con el desarrollo del análisis matemático, tomando en consideración los datos técnicos del fabricante de la tricimoto CUSHMAN como: potencia del motor (22 HP) y el número de revoluciones óptimas de trabajo (3750 rpm), se dedujo los valores de las cargas presentes en el sistema de transmisión en sus distintas configuraciones de marchas, siendo: primera marcha 108,61 Nm; segunda marcha 66,84 Nm; tercera marcha 41,75 Nm y marcha reversa 146,21 Nm. En conclusión, se utilizó el torque de la marcha reversa, afirmando que en esa disposición el sistema soporta un mayor esfuerzo para realizar una simulación en un entorno CAE.
- Con la ayuda del manual del fabricante de la tricimoto CUSHMAN, se realizó el desmontaje de los componentes del tren de potencia, utilizando herramientas metrológicas se tomó las medidas representativas del sistema, para esquematizar en 2D y modelar en 3D en un software CAD.
- Con la realización del ensayo de espectrometría se obtuvieron las propiedades químicas del material con el cual fue fabricado originalmente uno de los componentes del sistema, evidenciando que la composición química consiste en: 0,418% C; 0,184% Si; 0,753% Mn; 0,015% P; 0,024% S; 0,024% Cr; 0,027% Ni; 0,021% Cu; 0,029% Nb;

98,49% Fe. Seleccionando de esta manera tres tipos de materiales, acero AISI 1018, acero AISI 4340 y aluminio 7075 T6, debido a que poseen entre un 70% a 95% de similitud a la composición química del material original, para la elaboración de un reemplazo adecuado.

- Con la ejecución del ensayo de tracción a la pieza extraída del tren de potencia de la tricimoto CUSHMAN, se obtuvieron las propiedades mecánicas del material teniendo como resultado: carga máxima 102357 N; límite de fluencia 717,3 MPa; resistencia a la tracción 794,2 MPa y porcentaje de elongación en 50 mm (15%). Se concluye que, mediante una comparativa con los materiales seleccionados llegan a tener una semejanza en sus propiedades mecánicas de hasta el 98%, afirmando que pueden soportar las cargas presentes en el sistema.
- Finalizada la simulación en software CAE, utilizando los tres diferentes materiales seleccionados, se consiguió los valores correspondientes a los parámetros de diseño del componente analizado, como son: factor de seguridad, ciclos de vida, esfuerzo de Von Mises y la deformación total; además se tabuló los resultados obtenidos, denotando que el rango de variabilidad es de un 10% entre los distintos materiales; deduciendo que el material con mejores prestaciones es el acero AISI 4340.
- Se adquirieron proformas correspondientes al proceso de fabricación del eje palier, estructurando de esta manera una tabla comparativa que nos permitió concluir que el acero AISI 4340 es la alternativa que presenta mayores ventajas, tomando en cuenta que su manufactura es de 9 días laborables, a diferencia de los otros materiales que necesitan aproximadamente un 40% adicional de tiempo; conjuntamente en el aspecto financiero su costo es de 171,74 dólares, ubicando su valor en una zona media entre los presupuestos de elaboración.

- Se manufacturó el eje palier a una escala real, utilizando el acero AISI 4340, debido a que este satisface las necesidades de funcionamiento y operación del sistema de transmisión de la tricimoto marca CUSHMAN; alcanzando mediante este procedimiento el objetivo principal de este proyecto que es generar una alternativa de repuesto en el mercado nacional, a partir de un análisis computacional e ingenieril.

8.2. Recomendaciones

- Es recomendable buscar información sobre el trabajo del tren de potencia CUSHMAN en fuentes bibliográficas confiables, previo al desarrollo del proyecto, con la finalidad de familiarizarse con el funcionamiento de este sistema.
- En el proceso de desmontaje del sistema de transmisión, se recomienda utilizar las herramientas adecuadas y seguir las instrucciones según como especifica el manual del fabricante, para optimizar tiempo y obtener los resultados deseados al momento de realizar las respectivas mediciones en los componentes del sistema.
- Al momento de realizar los ensayos de tracción y espectrometría de la pieza extraída del tren de potencia, se sugiere regirse a lo especificado en las normas NTE INEN 109 y la ASTM E415 – 17 respectivamente, para obtener resultados ideales y de esta manera seleccionar materiales que posean propiedades similares a las del componente original.
- Se recomienda efectuar el modelado en software CAD de manera rigurosa, en vista que este servirá para realizar el análisis del componente en un entorno CAE.
- Es recomendable realizar detenidamente el análisis matemático del sistema de transmisión, debido a que los resultados serán introducidos en el software CAE;

asegurando que los parámetros de diseño de la pieza simulada que se desean alcanzar, estén lo más apegados a la realidad.

- Es necesario realizar un estudio de mercadeo apropiado, para conseguir proformas referentes a los procesos de manufactura del eje.
- Se recomienda fabricar el componente estudiado en acero AISI 4340 por motivos financieros y de tiempo, para que la tricimoto CUSHMAN continúe operando lo más rápido posible y de manera óptima dentro de la empresa.

Bibliografía

- Acususo, D. (2016). Transmisión de un automóvil . En D. Acususo, *Transmisión de un automóvil* (pág. 24). Bilbao.
- Alacermas. (2014). *Alacermas.com*. Recuperado el 10 de febrero de 2020, de https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_7075_aluminio.pdf
- ASTM. (2015). *Norma ASTM E8/E8M*.
- ASTM. (2017). *ASTM E415 - 17*.
- BLUESTEELCORP. (15 de Febrero de 2019). *bluesteelcorp.com.ec*. Recuperado el 12 de febrero de 2020, de <https://bluesteelcorp.com.ec/producto/acero-aisi-1018-transmision/>
- BLUESTEELCORP. (15 de Febrero de 2019). *bluesteelcorp.com.ec*. Recuperado el 12 de febrero de 2020, de <https://bluesteelcorp.com.ec/producto/acero-aisi-4340/>
- Borja, C. (2009). Sistemas de transmisión y frenado. En C. Borja, *Sistemas de transmisión y frenado* (págs. 10-11). Macmillan Iberia.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley*. Missouri: Mc Graw Hill.
- Cháfuel Ortega, V. S. (2017). ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS. En V. S. Cháfuel Ortega, *ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS* (págs. 33-42). Latacunga.
- CUSHMAN. (25 de Enero de 1978). *CUSHMAN MOTORS*. Recuperado el 20 de febrero de 2020 , de <https://static1.squarespace.com/static/5d27619c18884200015114ba/t/5d77e620075e6449d346defb/1568138821042/18hp22hpservicemanual.pdf>
- CUSHMAN. (2006). *Augusta Patente nº E503009*.

- Cushman. (2008). Sistema de Transmisión. En *Manual Automotor Tricimotos Cushman* (págs. 215-216).
- Cushman. (2019). Aniversario de las Tricimotos Cushman. *Annual Cushman*, 60-61.
- Cushman, M. (1977). *Manual de Partes Cushman 898454*. Augusta: Cushman.
- Diego, R. d. (noviembre de 2017). *Polamalu*. Recuperado el 27 de febrero de 2020, de <http://polamalu.50webs.com/OF1/mecanica/engranajes.htm>
- DIPAC. (7 de Noviembre de 2018). *dipacmanta*. Recuperado el 27 de febrero de 2020, de <https://www.dipacmanta.com/ejes>
- Directindustry. (2018). *www.directindustry.es*. Recuperado el 15 de junio de 2021, de <https://www.directindustry.es/prod/bruker-axs-gmbh/product-30028-1693508.html>
- Domínguez, E., & Ferrer, J. (2012). Sistemas de transmisión y frenado. En E. Domínguez, & F. Julián, *Sistemas de transmisión y frenado* (págs. 72-74). Madrid: Editex.
- Duque Ramírez, P. A. (2017). Guía técnica para caja reductora. En P. A. Duque Ramírez, *Guía técnica para caja reductora* (págs. 53-55). Valparaíso - Chile.
- Espinoza, J., & Guamishig, W. (2019). *INVESTIGACIÓN DE LA DURABILIDAD Y TIEMPO DE VIDA ÚTIL DE LAS BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS A TRAVÉS DE LA PROGRAMACIÓN AUTOMATIZADA DE PROCESOS DE CARGA Y DESCARGA*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- FEANDALUCIA. (14 de Mayo de 2011). *www.feandalucia.ccoo.es*. Recuperado el 9 de noviembre de 2020, de <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8426.pdf>
- Fenoll, J. (2009). MANTENIMIENTO DE VEHÍCULOS AUTOPROPULSADOS. En J. Fenoll, *Sistema de transmisión y frenado* (págs. 54-57).

- Fernández, M. (Julio de 2017). *oa.upm.es*. Recuperado el 11 de enero de 2021, de http://oa.upm.es/48140/1/TFG_MARIO_FERNANDEZ_OSMA.pdf
- García Presa, C. (2001). Transmisión. En C. García Presa, *Transmisión* (pág. 10). San Sebastián.
- Gómez Calapaqui, F. M., & Hidalgo Chasi, D. A. (2014). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS. (*tesis*). Universidad de la Fuerzas Armadas, Latacunga.
- Gordillo Bravo, E. X., & Lara Salas, L. E. (2015). Diseño e implementación de un cambiador de marchas inteligente utilizando Sistemas FPGA para el prototipo FESPE 2013. En E. X. Gordillo Bravo, & L. E. Lara Salas, *Diseño e implementación de un cambiador de marchas inteligente utilizando Sistemas FPGA para el prototipo FESPE 2013* (págs. 70-75). Latacunga.
- Herrera, J. (2009). Sistemas de Transmisión y Frenado. En J. Herrera, *Sistemas de Transmisión y Frenado* (págs. 54-128). Macmillan.
- IIRSACERO S.A. (2016). www.iirsacero.com.mx. Recuperado el 3 de marzo de 2021, de <http://iirsacero.com.mx/wp-content/uploads/2019/08/Ficha-T%C3%A9cnica-Acero-1018-iirsacero.pdf>
- INEN, N. (2009). *ENSAYO DE TRACCIÓN PARA MATERIALES METÁLICOS A TEMPERATURA AMBIENTE*. Quito.
- Kutsuma Ogata, M. J. (2011). *Diseño de un sistema de climatización en aula CAD/CAE*. Lima: PUCP.
- LABORATORIO DE FUNDICIÓN . (2020). *INFORME TÉCNICO: Espectrometría por chispa*. Quito.
- LAEV. (2020). *Informe*. Quito .

- Linden, D., & Thomas, R. (2011). *LINDEN'S HANDBOOK OF BATTERIES*. New York: McGraw Hill.
- Logroño, D. J. (2017). *CARGADOR DE BATERÍA PARA VEHÍCULOS (Tesis de pregrado)*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Magallan, G., De Angelo, C., & García, G. (11 de Febrero de 2011). *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. Recuperado el 5 de abril de 2021, de IEEE Transactions on Vehicular Technology: <http://www.ieeeexplorer.com>
- Magallan, G., De Angelo, C., & García, G. (Febrero de 2011). *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. Recuperado el 6 de abril de 2021, de <http://www.ieeeexplorer.com>
- Menergues. (Julio de 2013). *www.upcommons.upc.edu*. Recuperado el 7 de abril de 2021, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/20718/1284-1300-1-PB.pdf>
- Navas, A. (30 de Noviembre de 2017). *Estudio CAD*. Recuperado el 12 de enero de 2021, de <https://www.facebook.com/blueprintsestudiocad/>
- Peña, C. (2011). *ESTUDIO DE BATERÍAS PARA VEHÍCULOS*. Universidad Carlos III De Madrid.
- Pérez Oropeza, J. I. (2015). *www.monografias.com*. Recuperado el 25 de noviembre de 2020, de <https://www.monografias.com/trabajos104/proceso-del-diseno-ingenieria/proceso-del-diseno-ingenieria2.shtml>
- Ramírez, R. (23 de Enero de 2020). Repotenciación Tricimoto CUSHMAN. (M. David, Entrevistador)

- Sallo Guerra, J. P. (2020). *www.coursehero.com*. Recuperado el 28 de mayo de 2021, de <https://www.coursehero.com/file/83810055/monografia-chumaceras-y-ejesdocx/>
- Sánchez, J. (2003). *Metodología de la investigación cualitativa* (Vol. 15). Bilbao , España: Artes Gráficas Rontegui. doi:8474854237
- Serrano Tenorio, J. (2012). Modelado y simulación virtual de un diferencial mecánico en entorno VRML. En J. Serrano Tenorio, *Modelado y simulación virtual de un diferencial mecánico en entorno VRML* (págs. 65-67). Madrid.
- Thyssenkrupp S.A. (2018). <https://www.thyssenkrupp-steel.com>. Recuperado el 19 de febrero de 2021, de https://www.thyssenkrupp-steel.com/media/cl/media/aceros/aceros_de_f_cil_mecanizaci_n/aceros_aleados/sae_4340.pdf
- Topoequipos. (23 de noviembre de 2015). *www.topoequipos.com*. Recuperado el 22 de julio de 2021, de 2020: <http://www.topoequipos.com/topoequipos2.0/labs-pin/maquina-universal-de-ensayos>
- Vaca Zambrano, M. E. (2016). Diseño e implementación de un sistema de bloqueo al diferencial comandado neumáticamente en un vehículo SUZUKI LJ-80. En M. E. Vaca Zambrano. Quito.

Anexos