



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y

MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

TEMA: "ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DINÁMICO DE UNA BIELA
PARA EL MOTOR DE MOTOCICLETA SHINERAY XY 150cc
DISEÑADA Y MANUFACTURADA POR MEDIO DE MÁQUINAS CNC."

AUTORES: CERÓN FUENTES, PRISCILA LISSETH

HINOJOSA INAPANTA, BRYAN ARMANDO

DIRECTOR: ING. MENA PALACIOS, JORGE STALIN

LATACUNGA

2019



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DINÁMICO DE UNA BIELA PARA EL MOTOR DE MOTOCICLETA SHINERAY XY 150cc DISEÑADA Y MANUFACTURADA POR MEDIO DE MÁQUINAS CNC.**” fue realizado por la Srta. **Priscila Lisseth Cerón Fuentes** y el Sr. **Bryan Armando Hinojosa Inapanta**, 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, 13 de diciembre de 2019

Ing. Mena Palacios, Jorge Stalin

C. C.: 1803725900



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, ***Cerón Fuentes, Priscila Lisseth e Hinojosa Inapanta, Bryan Armando***, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Análisis del desempeño dinámico de una biela para el motor de motocicleta Shineray XY 150cc diseñada y manufacturada por medio de máquinas CNC”** 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, 13 de diciembre de 2019

Cerón Fuentes, Priscila Lisseth

C. C.: 050306520-3

Hinojosa Inapanta, Bryan Armando

C. C.: 172269118-3



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Cerón Fuentes, Priscila Lisseth e Hinojosa Inapanta, Bryan Armando**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Análisis del desempeño dinámico de una biela para el motor de motocicleta Shineray XY 150cc diseñada y manufacturada por medio de máquinas CNC”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 13 de diciembre de 2019

Firma:

Cerón Fuentes, Priscila Lisseth

C. C.: 050306520-3

Hinojosa Inapanta, Bryan Armando

C. C.: 172269118-3

DEDICATORIA

A todas aquellas personas que me impulsaron a llegar hasta aquí,

*A mis padres Diego y Viviana por permitirme soñar,
siendo mi apoyo y mi refugio.*

*A mis hermanas, Andre y Micky por la complicidad
y aliento en los momentos más difíciles.*

*A Carlos por cambiar el argumento
de mi vida con su amor.*

Priscila Cerón Fuentes

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado,

A mis familiares y amigos que son parte fundamental de mis éxitos alcanzados,

A mis padres Jorge y Fanny por ser mi principal soporte y motivación,

Su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más,

A mis hermanos Evelyn y Kevin por su apoyo incondicional durante todo este proceso.

Bryan Hinojosa

AGRADECIMIENTO

*A Dios, por acompañarme y guiarme durante todo este proceso,
rodeándome de grandes personas que contribuyeron
a la culminación de este sueño.*

Priscila Cerón Fuentes

AGRADECIMIENTO

*Agradezco a Dios por permitirme cumplir un sueño más,
A las personas que contribuyeron a la obtención de este título,
A la universidad, profesores y buenos amigos,
Muchas gracias.*

Bryan Hinojosa

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	
CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Justificación e importancia	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Metas	4
1.5. Descripción general del proyecto.....	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Parámetros	7
2.1.1. Torque	7
2.1.2. Potencia.....	8

2.1.3.	Consumo másico de combustible	8
2.2.	Biela	9
2.2.1.	Formas de la biela	11
a.	Biela enteriza	11
b.	Biela aligerada	11
2.2.2.	Cuerpo de biela.....	11
2.2.3.	Biela para motores mono cilíndricos	12
2.3.	Fuerza que actúa sobre el mecanismo biela-manivela.....	13
2.4.	Ficha técnica de la motocicleta Shineray XY 150 cc.....	14
2.5.	Software.....	15
2.5.1.	CAD	15
2.5.2.	CAE	18
2.5.3.	CAM.....	21

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA BIELA

3.1.	Análisis y estudio de diseño.....	24
3.1.1.	Viabilidad del Material.....	24
3.1.2.	Viabilidad tecnológica	25
3.1.3.	Viabilidad de costos	25
3.2.	Modelado de la biela.....	26
3.3.	Cálculo de esfuerzos de la biela.	28
3.3.1	Datos obtenidos de la motocicleta	29
a.	Medición de la cámara de combustión.....	29
b.	Medición del diámetro del pistón.....	29
c.	Medición de la carrera del pistón	30
d.	Cilindrada unitaria.	31
e.	Cilindrada Total.....	31
f.	Relación de compresión	32
g.	Volumen total de los cilindros	33
h.	Área del pistón	33
i.	Presión en el ciclo de admisión.....	34

j.	Temperatura en el ciclo de admisión	41
k.	Presión de en el ciclo de compresión	45
l.	Temperatura en el ciclo de compresión	47
m.	Temperatura en el ciclo de explosión	48
n.	Presión en el ciclo de explosión.....	49
o.	Fuerza aplicada en la cabeza del pistón (<i>Fe</i>).	51
3.4.	Diseño de la biela en 3D.....	52
3.4.1.	Modificaciones a considerar en el diseño	52
3.5.	Ensayo metalográfico en la biela de fábrica	54
3.5.1.	Ensayo de impacto en la biela de fábrica	54
a.	Preparación de las probetas.	54
b.	Desarrollo del ensayo de impacto.....	55
c.	Resultados del ensayo de impacto	56
3.5.2.	Ensayos de dureza en la biela de fábrica	57
a.	Preparación de la probeta.....	57
b.	Desarrollo del ensayo	57
c.	Resultados del ensayo.....	58
3.5.3.	Ensayo de tracción	59
a.	Preparación de las probetas	59
b.	Elongación	61
c.	Porcentaje de reducción de área	62
d.	Esfuerzo de fluencia	63
e.	Esfuerzo ultimo a la tracción	64
3.5.4.	Ensayo de Caracterización Química por espectrometría	65
a.	Resultados del ensayo.....	67
3.6.	Ensayos metalográficos en el material seleccionado.....	67
3.6.1.	Ensayo de impacto en el material seleccionado	68
a.	Preparación de las probetas	68
b.	Resultados del ensayo.....	69
3.6.2.	Ensayo de tracción	69
a.	Preparación de las probetas	70
b.	Desarrollo del ensayo	71

c.	Elongación	72
d.	Porcentaje de reducción de área	72
e.	Esfuerzo de fluencia	73
f.	Esfuerzo último a la tracción	73
3.7.	Proceso de tratamiento térmico del acero AISI 4140.....	74
3.7.1.	Templado.....	76
3.7.2.	Revenido.....	77
3.8.	Ensayos de dureza en el material seleccionado	78
3.9.	Selección del material.....	80
3.9.1.	Características del acero AISI 4130 vs el acero AISI 4140.....	80
3.9.2.	Propiedades Químicas.....	81
3.9.3.	Propiedades mecánicas.....	81
3.10.	Proceso de simulación CAE.	82
3.10.1.	Creación del proyecto	82
3.10.2.	Contacto de los elementos	84
3.10.3.	Mallado de la biela	85
3.10.4.	Aplicación de cargas.....	86
a.	Estudio termal	86
b.	Estudio estático estructural.....	89
c.	Deformación total.....	90
d.	Deformación en la biela	91
e.	Deformación direccional en el eje x	91
f.	Deformación direccional en el eje y	92
g.	Deformación direccional en el eje z	92
h.	Esfuerzo equivalente (Von Misses).....	93
i.	Factor de seguridad	94
j.	Esfuerzo friccionante	95
k.	Presión de contacto	95
l.	Desgaste.....	96

CAPÍTULO IV

MANUFACTURA Y PRUEBAS

4.1.	Selección de la máquina de herramientas.....	97
4.2.	Programación del mecanizado en CNC.....	97
4.2.1.	Código GUI.....	98
4.2.2.	Características de las líneas de código.....	101
4.3.	Proceso de mecanizado de la biela.....	102
4.4.	Tratamiento térmico en la biela manufacturada.....	105
4.4.1.	Templado.....	105
4.4.2.	Revenido.....	106
4.5.	Peso de la biela.....	107
4.6.	Protocolo de pruebas dinamométricas de la motocicleta.....	108
4.6.1.	Pruebas de potencia y torque utilizando la biela de fábrica en la motocicleta Shineray XY 150cc.....	110
4.6.2.	Pruebas de potencia y torque utilizando la biela manufacturada para la motocicleta Shineray XY 150cc.....	111
4.6.3.	Viabilidad de la biela manufacturada en acero AISI 4140.....	113

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones.....	119
5.2.	Recomendaciones.....	121

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122
--	------------

ANEXOS.....	125
--------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Ficha técnica de la motocicleta Shineray XY 150 cc</i>	14
Tabla 2.	<i>Medidas y tolerancias aceptadas para probetas para ensayo Charpy</i>	54
Tabla 3.	<i>Resultados del ensayo de impacto</i>	56
Tabla 4.	<i>Resultados del ensayo de dureza</i>	58
Tabla 5.	<i>Resultados del ensayo de tracción</i>	61
Tabla 6.	<i>Composición química de la biela de fábrica</i>	67
Tabla 7.	<i>Resultados del ensayo de impacto del acero AISI 4140</i>	69
Tabla 8.	<i>Resultados del ensayo de tracción del acero AISI 4140</i>	71
Tabla 9.	<i>Resultados del ensayo de dureza del acero AISI 4140</i>	80
Tabla 10.	<i>Características generales del acero AISI 4130 y el acero AISI 4140</i>	80
Tabla 11.	<i>Composición Química entre los aceros AISI 4130 y AISI 4140</i>	81
Tabla 12.	<i>Comparación de las propiedades mecánicas entre los aceros AISI</i>	82
Tabla 13.	<i>Hoja de procesos para la manufactura de la biela en acero AISI 4140</i>	103
Tabla 14.	<i>Comparación de la dureza posterior al tratamiento térmico de los aceros AISI 4130 Y AISI 4140</i>	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Gráfica de potencia y par motor	7
Figura 2.	Gráfica de potencia	8
Figura 3.	Gráfica de consumo de combustible	9
Figura 4.	Biela despiece	10
Figura 5.	Estructura de las bielas	12
Figura 6.	Biela con plano de separación oblicuo	13
Figura 7.	Fuerzas en el mecanismo biela – manivela.....	13
Figura 8.	Motocicleta Shineray XY 150 cc.....	14
Figura 9.	Exportación de archivos CAD.....	15
Figura 10.	El Software CAD para el diseño mecánico.....	16
Figura 11.	CAD animación por ordenador.....	17
Figura 12.	El Red nodal - Ingeniería Asistida por Computadora	19
Figura 13.	Fabricación Asistida por Computadora - acerería	22
Figura 14.	Medidas en stock del acero AISI 4140	26
Figura 15.	Boceto inicial de la biela de motocicleta.....	27
Figura 16.	Modelado de la biela terminado	28
Figura 17.	Modelado del pistón y el cigüeñal	28
Figura 18.	Medición del volumen de la cámara de combustión.....	29
Figura 19.	Medición del diámetro de cabeza del pistón.....	30
Figura 20.	Medición de la carrera del pistón.....	30
Figura 21.	Datos de la temperatura y la presión atmosférica.	35
Figura 22.	Velocidad de apertura de la válvula de admisión	37
Figura 23.	Velocidad de apertura de la válvula de admisión referida a su sección más estrecha.....	39
Figura 24.	Coeficiente de gases residuales Y_r	42
Figura 25.	Temperatura de gases residuales	43
Figura 26.	Exponente poli trópico medio de compresión.....	46
Figura 27.	Temperatura de combustión.....	48
Figura 28.	Ensamble final del tren alternativo	52

Figura 29.	Imagen comparativa vista lateral A): Biela de fábrica B): Biela rediseñada.....	53
Figura 30.	Detalles en el pie de biela A): Biela de fábrica B): Biela rediseñada.....	53
Figura 31.	Dimensiones y geometría de las probetas de ensayo	55
Figura 32.	Máquina para ensayos de impacto de materiales metálicos hasta 450J.....	56
Figura 33.	Probetas después del ensayo de impacto.....	56
Figura 34.	Ensayo de dureza en la biela de fábrica	57
Figura 35.	Diámetro de la huella en la cabeza de la biela	58
Figura 36.	Resultado de la tercera medición en la biela de fábrica	59
Figura 37.	Dimensiones de la probeta para ensayo según la norma ASTM E 8.....	60
Figura 38.	Probetas para ensayo de tracción obtenidas del cuerpo de la biela de fábrica	60
Figura 39.	Ubicación de la probeta en la máquina ASMLER MRM-29	61
Figura 40.	Punto de fluencia en la biela de fábrica.....	63
Figura 41.	Zona de fractura del acero de la biela de fábrica	64
Figura 42.	Espectrómetro Olympus DPO2000-C Serie: 541828	66
Figura 43.	Patrón de calibración. Acero Inoxidable 316 OLYMPUS.....	66
Figura 44.	Material base a ensayar en el espectrómetro Olympus DPO2000-C Serie: 541828.....	66
Figura 45.	Composición química del material base de la biela de Motocicleta Shineray XY 150cc.....	67
Figura 46.	Dimensiones y geometría de las probetas de ensayo.....	68
Figura 47.	Máquina Charpy para ensayos de impacto de materiales metálicos.	69
Figura 48.	Dimensiones de la probeta para ensayo de tracción según la norma ASTM E 8.....	70
Figura 49.	Probetas para ensayo de tracción en acero AISI 4140	70
Figura 50.	Máquina para ensayos de tracción ASMLER MRM-29	71
Figura 51.	Zona de fluencia en el diagrama Fuerza vs Desplazamiento del	

	acero AISI 4140.....	73
Figura 52.	Zona de fractura en el Diagrama Fuerza vs Desplazamiento del acero AISI 4140.....	74
Figura 53.	Horno para tratamientos térmicos	75
Figura 54.	Probetas del acero AISI 4140.....	76
Figura 55.	Temperatura ideal para austenizar el acero	76
Figura 56.	Probeta de acero AISI 4140 sometida a 750°C.....	77
Figura 57.	Templado en aceite SAE 40.....	77
Figura 58.	Probeta tratada térmicamente	78
Figura 59.	Preparación de la probeta de acero AISI 4140.....	78
Figura 60.	Ensayo de dureza Brinell en la probeta sometida a tratamientos térmicos.....	79
Figura 61.	Diámetro de la huella en la probeta.....	79
Figura 62.	Creación del proyecto	83
Figura 63.	Selección y modificación de materiales.....	83
Figura 64.	Mecanismo biela manivela	84
Figura 65.	Contacto entre el pistón y bulón	84
Figura 66.	Contacto entre el bulón y la biela	85
Figura 67.	Contacto entre la biela y el cigüeñal.....	85
Figura 68.	Mallado de los elementos en análisis.....	86
Figura 69.	Aplicación de la temperatura en el pistón.....	86
Figura 70.	Simulación de la disipación de calor en el sistema biela manivela....	87
Figura 71.	Temperatura en la biela	87
Figura 72.	Temperatura en el pie de biela.....	88
Figura 73.	Distribución de temperatura en el mecanismo biela manivela en corte	88
Figura 74.	Disipación de calor en el mecanismo en corte	89
Figura 75.	Importación de resultados del análisis termal.....	89
Figura 76.	Asignación de la presión sobre la cabeza del pistón.....	90
Figura 77.	Deformación del mecanismo biela manivela	90
Figura 78.	Deformación de la biela.....	91
Figura 79.	Deformación direccional de la biela en el eje x	91

Figura 80.	Deformación direccional de la biela en el eje y	92
Figura 81.	Deformación direccional de la biela en el eje z	92
Figura 82.	Criterio de falla en la biela.....	94
Figura 83.	Factor de seguridad de la biela	94
Figura 84.	Esfuerzo friccionante entre la biela y el bulón	95
Figura 85.	Presión de contacto entre la biela y el bulón.....	96
Figura 86.	Desgaste producido entre la biela y el bulón.....	96
Figura 87.	Máquina CNC de la marca ANAYAC modelo Anak Matic	97
Figura 88.	Generación de código GUI.....	98
Figura 89.	Eje de acero AISI 4140	99
Figura 90.	Parámetros del proceso de mecanizado de taladrado de la cabeza de la biela.....	100
Figura 91.	Proceso de mecanizado del taladrado del orificio de la cabeza de la biela.....	101
Figura 92.	Mandos manuales del controlador Anayak –Matic-7-CNC.....	101
Figura 93.	Líneas de código del proceso de mecanizado del taladrado de la cabeza y pie de biela.....	102
Figura 94.	Biela dentro del horno a temperatura ambiente.	105
Figura 95.	Templado de la biela en lubricante.....	106
Figura 96.	Biela dentro del horno a 200°C	106
Figura 97.	Pesos A: Biela de fábrica, B: Biela manufactura	107
Figura 98.	Anclaje de la motocicleta Shineray XY al dinamómetro	109
Figura 99.	Prueba dinamométrica	109
Figura 100.	Gráfica de potencia y torque de la biela de fábrica	110
Figura 101.	Gráfica de potencia y torque para biela manufacturada.....	111
Figura 102.	Gráfica comparativa de las curvas de potencia entre la biela de fábrica y la biela manufactuada.....	112
Figura 103.	Gráfica comparativa de las curvas del torque entre la biela de fábrica y la biela manufactuada.....	112
Figura 104.	Biela manufacturada montada en el motor de combustión interna de la motocicleta Shineray XY 150cc.....	113
Figura 105.	Prueba de ruta realizadas con la motocicleta.....	114

Figura 106.	Pasador y Canastilla del cigüeñal	115
Figura 107.	Bulón del pistón.....	115
Figura 108.	A. Estado de la cabeza de biela de fábrica, B: Estado de la cabeza de biela en acero AISI4140.....	116
Figura 109.	A. Estado del pie de biela de fábrica, B: Estado del pie de biela en acero AISI4140.....	116
Figura 110.	Máquina de comprobación de brazos de biela marca Sunnen.....	117
Figura 111.	Verificación de la planitud de la biela manufacturada en acero AISI 4140.....	118

RESUMEN

A pesar de los avances tecnológicos en el sector automotriz, se evidencia un mínimo avance específicamente en la fabricación de autopartes posibles de realizarlas en nuestro medio. Por lo cual el siguiente estudio teórico-práctico se enfoca en la viabilidad de la manufactura de una biela para un motor de motocicleta, esta se fabricó con materiales disponibles en el país, obteniendo un análisis práctico de las falencias y aciertos que existen durante la manufactura y las respectivas pruebas de funcionamiento de la autoparte, se realizó la manufactura de la biela partiendo desde su investigación teórica, modelado CAD, su análisis CAE sometida a una simulación de trabajo, su manufactura en acero mediante el proceso CNC asistido por un software CAM y finalmente se realizó los tratamientos térmicos necesarios para alcanzar las propiedades mecánicas similares a la biela de fabricación estándar. La motocicleta se sometió a pruebas dinamométricas y a un recorrido no menor a los 500 Km para poder analizar su rendimiento de trabajo, realizando un análisis comparativo con la biela de fabricación estándar y dando factibilidad a esta investigación. Con esta investigación se da iniciativa para generar nuevos métodos, temas de investigación y conocimiento en el campo de diseño y mejora de repuestos automotrices.

PALABRAS CLAVE:

- **MOTOCICLETAS**
- **BIELA-DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**
- **MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**

ABSTRACT

Despite the technological advances in the automotive sector, there is minimal progress specifically in the manufacture of possible auto parts to be made in our environment. Therefore, the following theoretical and practical study focuses on the viability of the manufacture of a connecting rod for a motorcycle engine, this was manufactured with materials available in the country, obtaining a practical analysis of the shortcomings and successes that exist during the manufacture and the respective functional tests of the auto part, the connecting rod was manufactured starting from its theoretical research, CAD modeling, its CAE analysis subjected to a work simulation, its steel manufacturing through the CNC process assisted by a CAM software and finally the necessary heat treatments were carried out to achieve the mechanical properties similar to the standard manufacturing rod. The motorcycle was subjected to dynamometric tests and a distance of not less than 500 km to be able to analyze its work performance, making a comparative analysis with the standard manufacturing rod and giving feasibility to this research. With this research, an initiative is given to generate new methods, research topics and knowledge in the field of design and improvement of automotive parts.

KEYWORDS:

- **MOTORCYCLES**
- **CONNECTING ROD-DESIGN AND CONSTRUCTION**
- **INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes investigativos

(Racecar, 2016) Menciona: Para transmitir la fuerza o el movimiento de un elemento mecánico a otro es necesario interponer un tercer elemento que los conecte, como por ejemplo las bielas. Su principal función es hacer de nexo entre el pistón y el cigüeñal sin perder potencia y energía por el camino, transmitiendo toda la fuerza de las explosiones de la mezcla de aire y combustible generada sobre la cabeza del pistón, hacia el cigüeñal.

(Mena Rodríguez, 2014) En su investigación menciona que la biela es la parte del motor que está sometida a enormes esfuerzos más que ninguna otra, tales como: tracción flexión y torsión. De ahí que es importante poner énfasis en un buen rediseño de la biela. El material con el que se construyen son aceros aleados con cromo-níquel-molibdeno, los cuales tienen una alta resistencia a la fatiga (p. 21-22).

(Jóvaj, 1982) Asevera que: El cuerpo de la biela funciona bajo cargas alternativas siguiendo el ciclo asimétrico, es decir, se somete a la tracción por fuerzas de inercia de las, asas con movimiento longitudinal, situadas por encima de la sección que se calcula, y se comprime por la fuerza que se produce en el instante

de la combustión, que es igual a la diferencia entre la fuerza de presión de los gases y la fuerza de inercia.

1.2. Justificación e importancia

Al realizar esta investigación se podrá obtener una visión sobre las fallas y aciertos que generará la manufactura de una autoparte, estos procesos actualmente se los puede realizar en nuestro país pudiéndose diseñar, manufacturar y verificar el desempeño de las autopartes generadas gracias a pruebas para saber el nivel de desempeño, la biela que se pretende diseñar, ayudará a identificar el comportamiento de la mismo bajo carga.

Inicialmente se efectuará el modelado de la biela por medio de un software CAD que proporcionará un modelo digital del mismo; una simulación mostrando el funcionamiento de la biela dará los parámetros para saber dónde se produce más esfuerzo al realizar su trabajo.

Una vez obtenidos los parámetros de diseño se procederá a mecanizar la biela con ayuda de CNC para posteriormente someter a la biela a los tratamientos térmicos necesarios para mejorar sus características.

Es posible analizar los parámetros de rendimiento del elemento generado con pruebas dinamométricas y un análisis físico de la misma para observar su desempeño y comparar con los de una biela de refacción regular, para presenciar posibles mejoras

y dar factibilidad a esta investigación y así introducirse más a fondo en este campo y generar avances tecnológicos.

Con esta investigación se da iniciativa a llegar a la capacidad de generar nuevos métodos como temas de investigación y conocimiento al contar con las bases y recursos necesarios para que más estudiantes incursionen en el campo del diseño y mejora de partes automotrices.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Analizar el desempeño dinámico de una biela para el motor de motocicleta Shineray XY 150cc diseñada y manufacturada por medio de máquinas CNC.

1.3.2. Objetivos específicos

- Seleccionar el material adecuado para la manufactura de la biela.
- Realizar la caracterización física, química y mecánica del material seleccionado para la manufactura de la biela.
- Modelar la biela con ayuda de un software CAD.
- Simular el comportamiento estático y dinámico con un software CAE e identificar esfuerzos.
- Manufacturar una biela por medio de máquinas CNC con asistencia de un

programa CAM.

- Incorporar el tratamiento térmico necesario a la biela para mejorar sus propiedades dinámicas.
- Efectuar pruebas dinamométricas al motor con la biela estándar y manufacturada.
- Realizar un análisis comparativo del desempeño dinámico de las bielas al ser sometidas a carga.
- Evaluar la viabilidad del proyecto considerando la selección del material, diseño, modelado, manufactura y desempeño.

1.4. Metas

- Seleccionar y caracterizar el material adecuado para la manufactura de la biela en dos semanas.
- Determinar el software a utilizar para el diseño, manufactura y análisis de la biela, mediante una matriz de selección en una semana.
- Aplicar las cargas y restricciones al diseño de la biela para el posterior análisis dos semanas.
- Recopilar información de artículos involucrados en los temas a investigar sobre la carga sometida a la biela de un motor de combustión interna, analizar la información y seleccionar el material adecuado para la manufactura de la biela en cuatro semanas.
- Modelar y simular el comportamiento estático y dinámico de la biela en tres semanas.

- Adquirir el material adecuado para el mecanizado de la biela en dos semanas, verificar las dimensiones de la biela mediante los equipos de medición respectivamente calibrados.
- Manufacturar la biela con ayuda de un programa CAM y máquinas CNC en dos semanas.
- Ejecutar las pruebas de potencia y torque con la biela estándar de fábrica y con la biela manufacturada, con la finalidad de recopilar información del comportamiento de las bielas en dos semanas.
- Realizar el análisis comparativo de la biela manufacturada en relación a la biela de fabricación estándar y elaborar un informe de resultados en cuatro semanas.

1.5. Descripción general del proyecto

Se realizará la búsqueda en bases digitales de investigaciones pertinentes, páginas web de empresas dedicadas a la construcción de bielas, con lo cual se podrá obtener información base para manufacturar correctamente una biela.

Se investigará características físicas y mecánicas del material a ser seleccionado en la fabricación de bielas.

En una motocicleta Shineray XY se reemplazará la biela y se realizará un análisis del rendimiento del motor específicamente torque, potencia, para efectuar comparaciones entre los valores producidos de la biela estándar; con lo cual se demostrará la eficiencia e importancia de la utilización de una biela más ligera.

Se trabajará con programas informáticos CAD, CAE de diseño 3D, así como programas CAM para programación de máquinas de CNC.

Se utilizará un software de simulación para la comprobación del diseño, el mismo que contemplará parámetros requeridos para que los resultados de verificación de fuerzas y pesos sean los adecuados, tomando en cuenta, que una vez verificado las cargas en la biela obtenidas de las pruebas de simulación, se procederá a la construcción de la misma utilizando el material seleccionado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Parámetros

2.1.1. Torque

(Latam Autos, 2018) Indica la fuerza torsional que es capaz de proporcionar el motor desde su eje principal, es decir la fuerza de la explosión aplicada a la biela y transmitida por esta al codo del cigüeñal, para hacerle girar y producir un esfuerzo de rotación como se observa en la Figura 1 los elementos que interactúan en el movimiento del cigüeñal. Se mide en kilogramos-metro (Kg-m), Newton-metro (N-m) o pie-libras (pie-lb). Por lo tanto, generalizando se puede decir que el torque es la medida del trabajo que es capaz de realizar el motor.

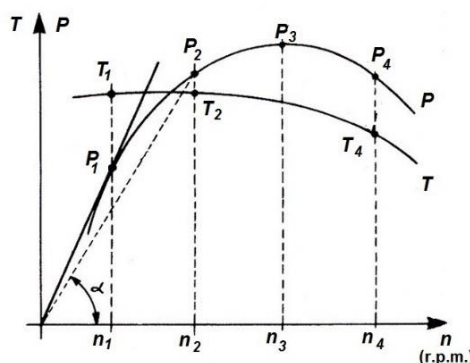


Figura 1. Gráfica de potencia y par motor

Fuente: (Ingemecánica, 2018)

2.1.2. Potencia

(Mena Rodríguez, 2014) En un motor la potencia indica la cantidad de trabajo que se puede realizar en un determinado tiempo. La misma se expresa en caballos de fuerza (Hp) o Kilovatios (KW) En pocas palabras la potencia es cuán rápido puede hacer el trabajo un motor tal como se ve en la Figura 2 la gráfica de la Potencia"

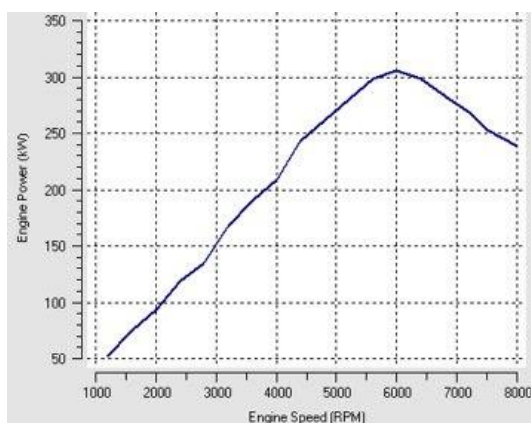


Figura 2. Gráfica de potencia

Fuente: (Blogspot, 2012)

2.1.3. Consumo másico de combustible

Es la rapidez de consumo de combustible del motor en masa, como se observa en la Figura 3 el consumo de combustible (línea roja) está directamente relacionado con el número de revoluciones en las que se encuentra girando el motor de combustión interna. (Mena Rodríguez, 2014)

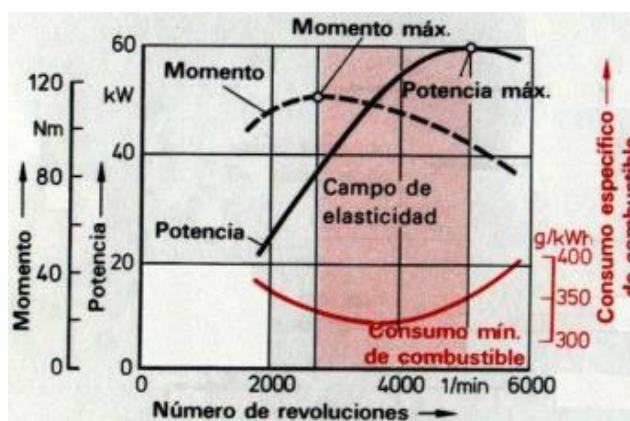


Figura 3. Gráfica de consumo de combustible

Fuente: (Blogspot, 2012)

2.2. Biela

La biela, Figura 4, está unida por uno de sus extremos a la manivela del cigüeñal (en la muñequilla) y por el otro al pistón (a través del bulón). La biela debe combinar una gran resistencia y rigidez con un peso ligero. Debe ser lo bastante resistente para mantenerse rígida cuando transmite el empuje del pistón durante la carrera de trabajo o expansión. Al mismo tiempo, debe ser tan ligera como sea posible, de modo que las fuerzas centrífugas y de inercia que transmite a los cojinetes no sean mayores que las estrictamente necesarias (Crouse, 1996).

Las bielas son construidas por forja a partir de aleaciones de acero de alta resistencia y deben ser cuidadosamente equilibradas a fin de que todas las empleadas en el motor tengan el mismo peso. Si el peso de las mismas fuera diferente, resultaría desequilibrado del cigüeñal, con el consiguiente áspero funcionamiento del motor (Crouse, 1996).

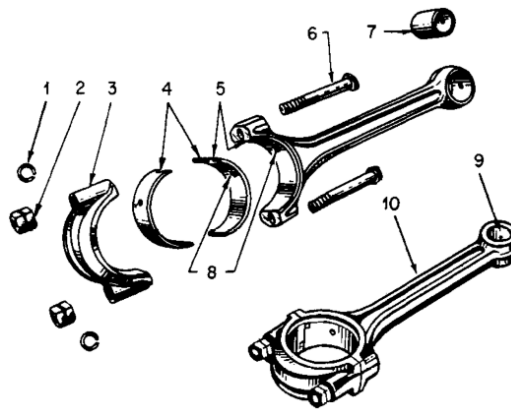


Figura 4. Biela despiece

Fuente: (Crouse, 1996)

Las bielas de los motores de carburador se fabrican de los aceros 40, 45 45r2, 40x, 40XH; las de los motores Diésel sobrealimentados con elevadas presiones de combustión de aceros aleados 18X2H4MA y 40X2H2MA con altos límites de resistencia a la rotura y a la fluencia. Las bielas se fabrican por forja en estampas y se someten al maquinado y a los tratamientos térmicos de normalización, temple y revenido (Jóvaj, 1982).

En los motores de carburador se han difundido las bielas por colada de fundición maleable perlática, así como de fundición con grafito globular. Sus principales ventajas consisten en menores costes de producción y en un empleo más efectivo del metal siendo compleja la configuración de la estructura. Con el fin de elevar la resistencia a la fatiga, las bielas se someten a un tratamiento de chorros de perdigones, dicha resistencia en este caso se acerca a la de las bielas de acero estampadas (Jóvaj, 1982).

2.2.1. Formas de la biela

a. Biela enteriza

Es aquella cuya cabeza de biela no es desmontable, no existe el sombrerete. En esos casos el conjunto cigüeñal-bielas es indescartable, o bien es desmontable porque el cigüeñal se desmonta en las muñequillas.

b. Biela aligerada

2.2.2. Cuerpo de biela

El cuerpo (o caña) es simétrico con respecto al eje longitudinal de la cabeza de biela. El desplazamiento del cuerpo con respecto a la cabeza permite, en los árboles de dos muñones de la biela entre cada dos apoyos de bancada, reducir la distancia entre los ejes de los cilindros y la longitud del motor, pero en semejantes estructuras se observa un desgaste irregular de los muñones de biela y en el ancho de los cojinetes. La longitud del cuerpo de la biela se elige durante el diseño en función de la altura del motor y de las dimensiones del cárter (Jóvaj, 1982).

El cuerpo de la biela con la sección en doble T se estampa fácilmente y tiene gran rigidez siendo relativamente pequeña su masa. En los motores para automóviles la relación entre la altura de la sección en doble T y el ancho varían dentro de los límites 1,4.....1,8; (Jóvaj, 1982).

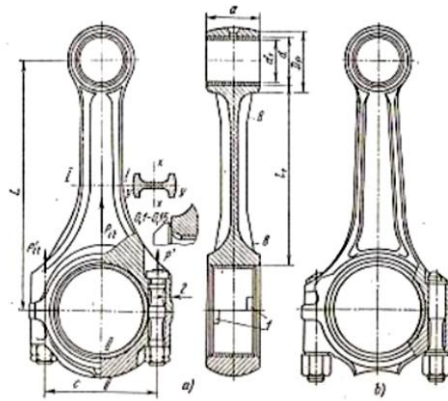


Figura 5. Estructura de las bielas

Fuente: (Jóvaj, 1982)

2.2.3. Biela para motores mono cilíndricos

Las cabezas de biela en los motores mono cilíndricos se hacen desmontables. El sombrerete se aprieta con pernos o espárragos, cuya fuerza de apriete deberá asegurar una sólida unión a cualquier régimen de velocidad que funcione el motor. Para disminuir las dimensiones y la masa de la cabeza se tiende a acercar los pernos hacia el eje del muñón (Jóvaj, 1982).

En caso de emplear muñones de biela desarrollados con la dimensión relativa $\frac{d_{m,b}}{D} = 0,66 \dots 0,68$ y más, que deben cumplir la condición indispensable de desmontar el pistón con la biela a través del cilindro, las cabezas se fabrican con sombreretes cortados oblicuamente formando un ángulo ψ igual a 30, 45 y 60° con respecto al eje longitudinal del cuerpo de la biela. Siendo oblicuo el corte, la fuerza de inercia que actúa sobre los pernos disminuye (Jóvaj, 1982).

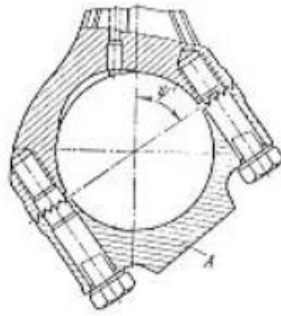


Figura 6. Biela con plano de separación oblicuo

Fuente: (Jóvaj, 1982)

2.3. Fuerza que actúa sobre el mecanismo biela-manivela

La presión del gas origina la fuerza del pistón F_e . La fuerza del pistón, por la inclinación de la biela, se descompone en una fuerza lateral N_e (perpendicular a las paredes del cilindro) y otra K_e en el sentido de la biela (Fuerza en la Biela). En el muñón del cigüeñal, según la posición de éste, la fuerza de la biela se descompone en una fuerza tangencial T_e , y otra de compresión hacia el eje del cigüeñal llamada fuerza de la línea de bancada Z_e las mismas que se representan en la Figura 7. (Mena Rodríguez, 2014)

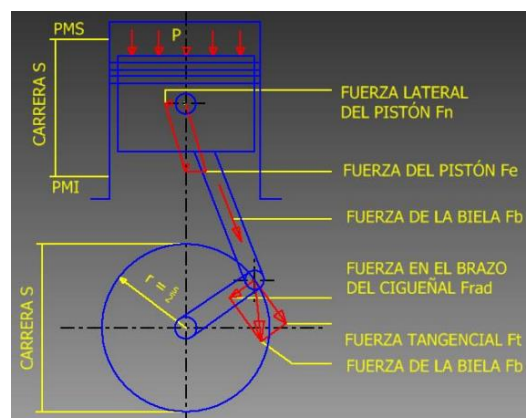


Figura 7. Fuerzas en el mecanismo biela – manivela.

Fuente: (Mena Rodríguez, 2014)

2.4. Ficha técnica de la motocicleta Shineray XY 150 cc



Figura 8. Motocicleta Shineray XY 150 cc

Fuente: (Colombo, 2018)

Tabla 1.

Ficha técnica de la motocicleta Shineray XY 150 cc

Año / modelo:	2007
Tipo:	Mono cilíndrico, 4T, 2 Válvulas, OHC, Refrigeración por aire
Categoría:	150cc
Diámetro X Curso:	62,0 x 49,5 mm
Relación De Compresión:	9.5: 1
Potencia máxima:	11,3CV / 7500rpm
Torque Máximo:	12,5 Nm / 6000rpm
De embrague:	Multi-Discos Bañados a Aceite
Potencia:	Carburador
Intercambio:	5 Velocidades
Sistema de arranque:	Eléctrico / Pedal
Chasis:	Diamante
Equilibrio:	Doble Brazo en Acero
Suspensión Delantera:	Tuerca Telescópica
Suspensión trasera:	Doble amortiguación
Freno Delantero / Diámetro:	Disco
Freno Trasero / Diámetro:	Tambor
Neumático Delantero / Diámetro:	2.75 x 18 pulgadas
Neumático trasero / Diámetro:	3.00 x 18 pulgadas
Rueda Delantera:	18 pulgadas - De aleación
Rueda trasera:	18 pulgadas - De aleación
Tanque de combustible:	15 litros con reserva
Aceite Del Motor (Total):	1,1 litros / 20W50
Aceite Del Amortiguador:	140ml / ATF CADA GARFO
Ignición:	CDI (encendido por descarga capacitiva)
De la batería:	12v / 5,0 Ah
Faro:	12v - 35w / 35w
Consumo Medio:	25 a 30 Km / litro
Longitud:	2010mm
Anchura:	800mm
Altura:	1100mm
Distancia entre ejes:	1330mm
Distanciamiento del suelo:	200mm
Altura Asiento:	810mm
Peso seco:	110kg

Fuente: (SHINERAY, 2015)

2.5. Software

2.5.1. CAD

(D+S Diagnóstico y Soluciones, 2018) “Diseño asistido por computadora o CAD es el uso de sistemas informáticos para ayudar en la creación, modificación, análisis, o la optimización de un diseño y se utiliza para:

- Aumentar la productividad del diseñador.
- Mejorar la calidad del diseño.
- Mejorar las comunicaciones a través de documentación.
- Crear una base de datos para la fabricación.
- La exportación de archivos CAD es a menudo en forma de archivos electrónicos para impresión, mecanizado, u otras operaciones de fabricación”. (D+S Diagnóstico y Soluciones, 2018)

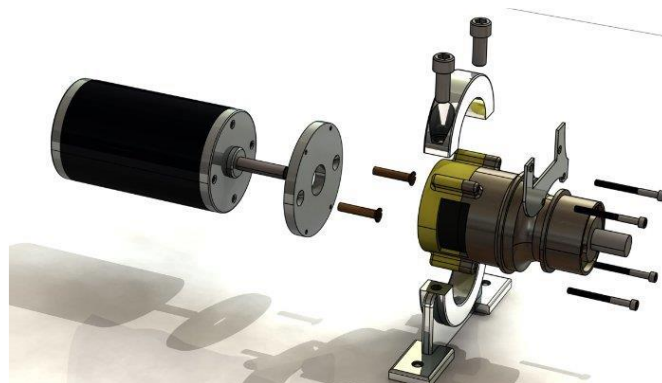


Figura 9. Exportación de archivos CAD

Fuente: (D+S Diagnóstico y Soluciones, 2018).

El diseño asistido por computadora se utiliza en muchos campos. Su uso en el diseño de sistemas electrónicos que se conoce como la automatización de diseño electrónico, o EDA. En el diseño mecánico se le conoce como la automatización de diseño mecánico MDA o diseño asistido por ordenador CAD, que incluye el proceso de creación de un dibujo técnico con el uso de programas informáticos. (D+S Diagnóstico y Soluciones, 2018).

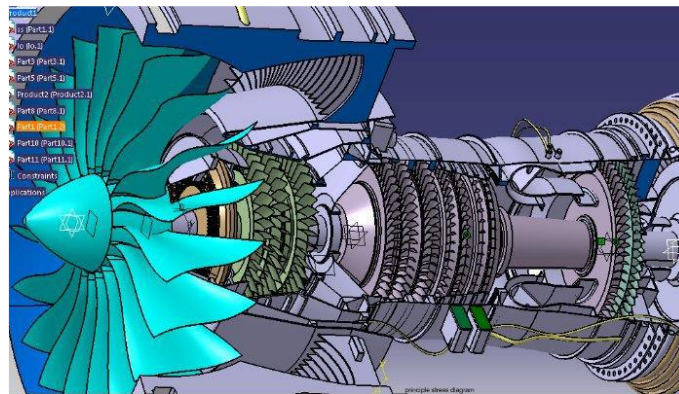


Figura 10. El Software CAD para el diseño mecánico

Fuente: (D+S Diagnóstico y Soluciones, 2018).

El Software CAD para el diseño mecánico utiliza cualquiera de los gráficos basados en vectores para representar los objetos de elaboración tradicional, o también puede producir gráficos de trama que muestran la apariencia general de los objetos diseñados. Sin embargo, se trata de algo más que formas. Al igual que en la elaboración manual de los dibujos técnicos y de ingeniería, la salida del CAD debe transmitir información, tales como materiales, procesos, dimensiones y tolerancias, según las convenciones específicas de la aplicación (D+S Diagnóstico y Soluciones, 2018).

Se puede utilizar para diseñar curvas y figuras en dos dimensiones (2D) el espacio; o curvas, superficies y sólidos en el espacio tridimensional (3D).

El Diseño asistido por computadora es un arte industrial importante que se utiliza ampliamente en muchas aplicaciones, incluye:

- Automotriz.
- La construcción naval.
- La industria aeroespacial.
- El diseño industrial.
- Arquitectónico.
- Prótesis, y muchos más.

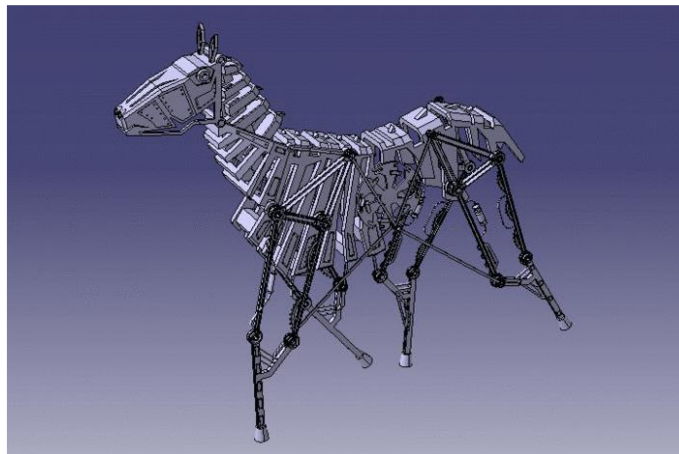


Figura 11. CAD animación por ordenador.

Fuente: (D+S Diagnóstico y Soluciones, 2018).

CAD es también ampliamente utilizado para producir la animación por ordenador para los efectos especiales en el cine, la publicidad y manuales técnicos, a menudo llamado DCC creación de contenido digital. La ubicuidad moderna y el poder de las

computadoras significan que incluso las botellas de perfume y dispensadores de champú están diseñados utilizando técnicas desconocidas por los ingenieros de la década de 1960. Debido a su enorme importancia económica, CAD ha sido una fuerza impulsora importante para la investigación en geometría computacional, gráficos por ordenador (tanto hardware como software), y la geometría diferencial discreta (D+S Diagnóstico y Soluciones, 2018).

2.5.2. CAE

Es el uso amplio de programas computacionales para ayudar en las tareas de análisis de ingeniería. Los programas de ingeniería incluyen análisis de elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés), mecánica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés), sistema multicuerpo (MDB, por sus siglas en inglés) y optimización (Metropolitan Autonomous University, 2017).

Los programas de ingeniería que se han desarrollado para dar apoyo a estas actividades son considerados herramientas CAE. Son utilizados, por ejemplo, para analizar la solidez y el rendimiento de los componentes y ensamblajes. El término abarca simulación, validación y optimización de productos y de herramientas de fabricación. En el futuro, los sistemas CAE serán los mayores proveedores de información para el soporte de los equipos de diseño en la toma de decisiones (Metropolitan Autonomous University, 2017).

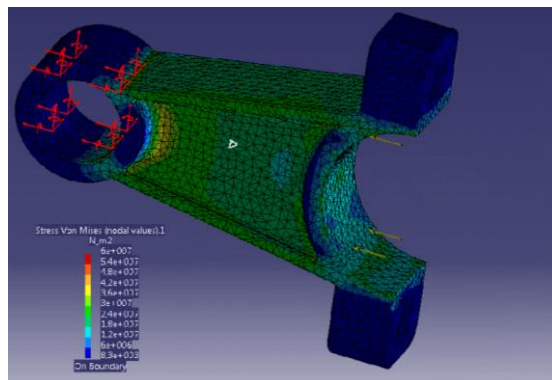


Figura 12. El Red nodal - Ingeniería Asistida por Computadora

Fuente: (Diseño de fórmula 1, 2015)

(Metropolitan Autonomous University, 2017) menciona, con respecto a las redes de información, los sistemas CAE son considerados nodos individuales en el total de la red, y cada nodo puede interactuar con otro. Estos juegan un papel en el método de elementos finitos, que utiliza la geometría del modelo existente para construir una red nodal a lo largo de él. Entonces, esto es empleado para determinar cómo se desempeñará, basado en la introducción de parámetros que la pieza experimentará en el mundo real. Los siguientes parámetros son usados frecuentemente en la ingeniería mecánica para simulaciones CAE:

- Temperatura
- Presión
- Interacciones de los componentes
- Fuerzas aplicadas

La mayoría de los parámetros que se utilizan para la simulación están basados en el ambiente y en las interacciones que el modelo debería experimentar una vez que empiece a operar. Estos son introducidos en el programa CAE como una manera de

ver si la pieza examinada podría manejar, teóricamente, las limitaciones del diseño, los sistemas CAE pueden asistir a los negocios. Esto ocurre cuando se usan arquitecturas de referencia y sus capacidades para colocar información en el proceso del negocio. La arquitectura de referencia es la base del modelo de información, especialmente del producto y de la manufactura (Metropolitan Autonomous University, 2017).

Las áreas que CAE cubre son:

- Análisis de estrés y dinámica de componentes y ensambles con el empleo de FEA.
- Análisis termal y de fluidos gracias al uso de CFD.
- Sistema multicuerpo (MBD) y cinemática
- Herramientas de análisis para simulación de procesos y para procesos de fabricación
- Optimización del proceso de documentación
- Optimización del desarrollo del producto
- Verificación inteligente de las inconformidades

En general, existen tres fases en cualquier tarea de ingeniería asistida por computadora:

- Pre proceso: definir el modelo, así como los factores ambientales que se le aplicarán.

- Análisis que resuelva el problema.
- Post procesamiento de resultados.

2.5.3. CAM

La fabricación asistida por computadora se define como el uso de un programa computacional para controlar las máquinas herramienta y otra maquinaria involucrada en el proceso de manufactura. Técnicamente, no es considerada un sistema para programas de ingeniería, sino una suerte de maquinista en la fabricación. Sin embargo, a menudo, los ingenieros son expuestos a ella. CAM puede referirse también al uso de la computadora para asistir todas las operaciones de una fábrica, incluyendo la planeación, administración, transportación y almacenaje. Su propósito principal es crear un proceso de producción más rápido con componentes y herramientas más precisos, así como con consistencia del material. CAM es un proceso asistido por computadora posterior a CAD y, algunas veces, ocurre después de CAE, pues un modelo generado en CAD y verificado en CAE puede introducirse en un programa CAM, que controla las máquinas herramienta (Metropolitan Autonomous University, 2017).

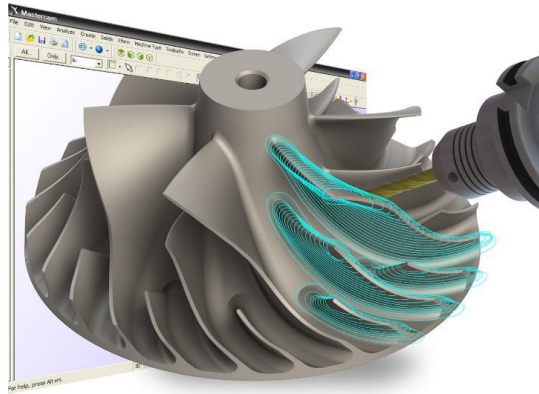


Figura 13. Fabricación Asistida por Computadora - acerería

Fuente: (Metropolitan Autonomous University, 2017).

El programa de Fabricación Asistida por Computadora es el código detrás de las máquinas que manufacturan los productos. Las máquinas de control numérico (CNC, por sus siglas en inglés), (Metropolitan Autonomous University, 2017).

Las máquinas CNC incluyen:

- Fresadoras
- Tornos
- Grabadoras
- Lijadoras de superficies
- Soldadoras
- Electroerosión o manufactura por descarga eléctrica

Todo aquello que se le pediría a un operador con máquinas herramienta convencional es susceptible de programación con las máquinas CNC. CAM provee instrucciones paso a paso para las máquinas herramienta, de manera que se complete la fabricación del producto. Antes de CAM, un maquinista tenía que capturar las

instrucciones en el código antes de implementar el programa (Metropolitan Autonomous University, 2017).

Esta introducción manual podía ser muy laboriosa, dependiendo de la complejidad del producto final. CAM simplificó el proceso gracias a la incorporación de un programa inteligente que desarrollara el código basado en la plataforma de interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés). Esto hizo que la escritura del código de fabricación fuera más sencilla, casi solo hay que hacer clic en el botón del proceso deseado y entonces se generará el código para la máquina CNC (Metropolitan Autonomous University, 2017).

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA BIELA

3.1. Análisis y estudio de diseño

Para dar inicio a esta investigación se realiza un análisis de la disponibilidad del material a seleccionar y de la tecnología necesaria para mecanizar la biela de motocicleta, además de un análisis de costos lo cual se detalla a continuación.

3.1.1. Viabilidad del Material

IVAN BOHMAN C.A. con 80 años de trayectoria, son líderes en el sector metal mecánico que mantienen un vínculo estrecho con las principales industrias del país, es una comercializadora de aceros, soldaduras, herramientas, maquinarias, equipos para el agro y demás producto de gran calidad y reconocimiento.

Cuentan con más de 40 líneas de productos y 30,000 ítems, todos ellos respaldados con garantía y servicio post venta.

Dentro de la línea de aceros especiales disponen en stock el acero bonificado para maquinaria denominado como AISI 4140, el cual es ideal para la construcción de elementos de máquinas, el cual posee una alta resistencia especialmente en medidas pequeñas y medianas. Como norma, el AISI 4140 es suministrado templado y

revenido (temple tenaz bonificado), por lo que no se requeriría un tratamiento térmico posterior, a no ser que así lo exija la aplicación y en ese caso, se templaría en aceite para obtener propiedades mecánicas más elevadas.

3.1.2. Viabilidad tecnológica

Para la investigación de este proyecto se hace uso de la fabricación asistida por computadora ya que se obtiene procesos de producción más rápido con componentes y herramientas más precisas, previo al diseño en CAD y verificado en CAE.

Esta tecnología tenemos disponible en algunas ciudades del país, como en la ciudad de Machachi. SISTEMAS AUTOMATIZADOS INDUSTRIALES CAIZA es una empresa que mediante el uso de la máquina CNC de la marca ANAYAC modelo Anak Matic realiza mecanizados según el requerimiento del usuario.

3.1.3. Viabilidad de costos

IVAN BOHMAN C.A distribuye el acero AISI 4140 en forma de eje en las siguientes medidas y se facturan de acuerdo al peso una vez efectuado el corte.

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
25	3,9	85	45,5
28	4,9	90	51,0
32	6,5	95	56,9
35	7,7	100	63,0
38	9,1	105	69,5
40	10,1	120	90,7
45	12,8	125	98,4
50	15,8	130	106,5
55	19,1	140	123,5
60	22,7	155	151,4
65	26,6	160	161,3
70	30,9	170	182,1
75	35,4	180	204,1
80	40,3	200	252,0

Figura 14. Medidas en stock del acero AISI 4140

Fuente: (Bohman, 2016)

El acero AISI 4140 por kilogramo de peso tiene un costo de 4.25 dólares americanos. El costo del mecanizado en CNC depende de las horas de trabajo que se requieran para la construcción del elemento de máquina. El costo de la hora de trabajo es de 15 dólares americanos.

3.2. Modelado de la biela

Para el análisis del comportamiento de la biela en el programa CAE es necesario realizar el modelado completo del tren alternativo (pistón, biela, y cigüeñal). Tomando en cuenta que el elemento de análisis de este estudio es la biela, se detallará el procedimiento del modelado solo de este elemento.

Al carecer de una ficha técnica de las dimensiones de la biela de la motocicleta Shineray XY de 150 cc, se procede a tomar las medidas de la biela teniendo en cuenta

la geometría de la biela de fábrica, mediante el uso de herramientas de medición exacta, como el calibrador pie de rey y micrómetro.

Con estas mediadas obtenidas se procede a realizar el modelado de la biela en el Software CAD, partiendo de un croquis inicial en uno de los planos que ofrece el software para realizar los trazos y los bocetos de la geometría de la biela

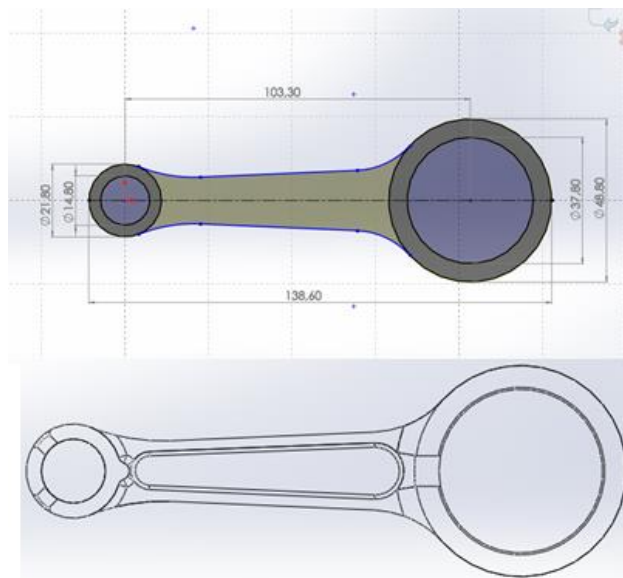


Figura 15. Boceto inicial de la biela de motocicleta

Posteriormente se crea un modelo digital de la biela a manufacturar mediante las opciones y herramientas que ofrece el software.

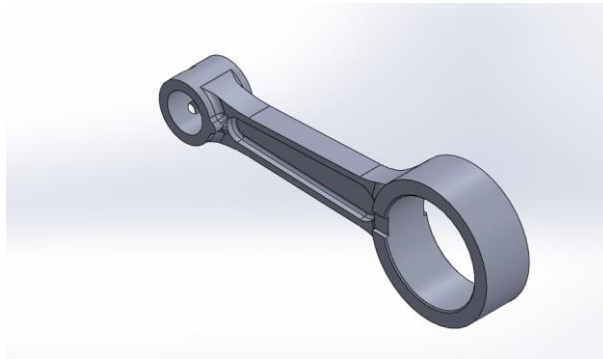


Figura 16. Modelado de la biela terminado

Teniendo en cuenta las mismas consideraciones se modela y se ensambla el resto de los elementos del tren alternativo para visualizar el comportamiento de la biela en el análisis CAE.

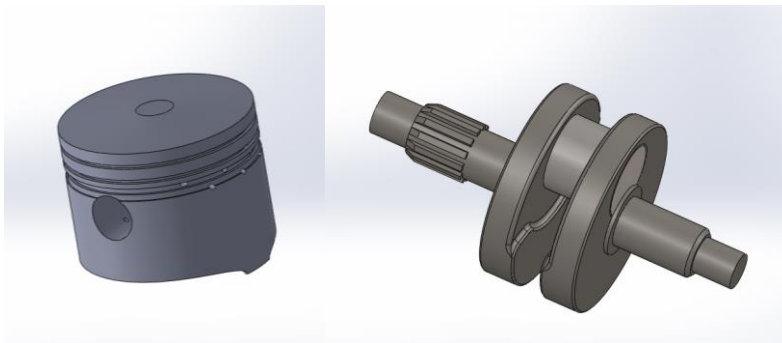


Figura 17. Modelado del pistón y el cigüeñal

3.3. Cálculo de esfuerzos de la biela.

Para obtener los datos técnicos del motor de la motocicleta Shineray XY 150cc se realiza el despiece del mismo para medir de una manera directa, mediante el uso de herramientas de medición exactas obteniendo los valores de la carrera, diámetro del pistón y el volumen de la cámara de combustión.

3.3.1 Datos obtenidos de la motocicleta

a. Medición de la cámara de combustión

La medición del valor de la cámara de combustión se realiza mediante una práctica sencilla la cual consiste en llenar la cámara de combustión con algún líquido puede ser agua o aceite, utilizando una jeringa graduada.

El volumen que se obtuvo de la medida de la cámara de combustión es de **19.7 cm³**.



Figura 18. Medición del volumen de la cámara de combustión

b. Medición del diámetro del pistón

Para obtener el valor del diámetro del pistón se toma la medida del diámetro de la cabeza del pistón como referencia para los cálculos, debido a que el pistón no es un elemento totalmente cilíndrico, puede ser ovalado o cónico, lo que significa que no tiene un diámetro específico.

La medida del diámetro del pistón es de $62\text{ mm} \rightarrow 6.2\text{ cm}$.



Figura 19. Medición del diámetro de cabeza del pistón

c. Medición de la carrera del pistón

La carrera del pistón se obtiene mediante la medición de la distancia recorrida hacia abajo del pistón en el PMI utilizando el calibrador pie de rey

El valor de la carrera del pistón es de $49.5\text{ mm} \rightarrow 4.95\text{ cm}$.



Figura 20. Medición de la carrera del pistón.

d. Cilindrada unitaria.

Para obtener los valores de la cilindrada unitaria reemplazamos los datos obtenidos de la motocicleta en la fórmula de la cilindrada unitaria.

$$V_h = \frac{\pi \phi^2 S}{4}$$

Ecuación 1. Cilindrada unitaria

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

V_h =Cilindrada unitaria (cm^3)

ϕ =Diametro del pistón (cm)

S = Carrera del pistón (cm)

Remplazando los datos tenemos:

$$V_h = \frac{\pi(6.2cm)^2(4.95cm)}{4} = 149.44 cm^3$$

e. Cilindrada Total

En un motor mono cilindro la cilindrada total es equivalente a la cilindrada unitaria.

$$V_h = n * V_h$$

Ecuación 2. Cilindrada Total

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

n =Numero de cilindros

V_h =Cilindrada unitaria (cm^3)

Remplazando los datos tenemos:

$$VH = 1 * 149.44\text{cm}^3 = \mathbf{149.44 \text{ cm}^3}$$

f. Relación de compresión

Es la relación volumétrica del volumen de la cámara de combustión contenida en el cilindro.

$$\varepsilon = \frac{Vh + Vc}{Vc}$$

Ecuación 3. Relación de compresión

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

ε =Relación de compresión (adimensional).

V_h =Cilindrada unitaria (cm^3).

V_c =Volumen de la cámara (cm^3).

Remplazando los datos tenemos

$$\varepsilon = \frac{149.44 + 19.7}{19.7}$$

$$\varepsilon = \mathbf{8.58}$$

g. Volumen total de los cilindros

Es la suma del volumen de la cámara más la cilindrada total

$$V_a = V_c + V_h$$

Ecuación 4. Volumen total de los cilindros

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

V_a = Volumen total de los cilindros (cm^3)

Remplazando los datos tenemos:

$$V_a = 17.58 \text{ cm}^3 + 149.44 \text{ cm}^3$$

$$V_a = 167.02 \text{ cm}^3$$

h. Área del pistón

Superficie en donde actúa la fuerza de explosión.

$$A = \frac{\pi \phi^2}{4}$$

Ecuación 5. Área del pistón

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde

$A = \text{Área del pistón (cm}^2\text{)}$

Remplazamos los datos tenemos:

$$A = \frac{\pi(6.2\text{cm})^2}{4}$$

$$A = 30.18 \text{ cm}^2$$

i. Presión en el ciclo de admisión

El motor mono cilíndrico es atmosférico, por lo cual la presión del medio ambiente es semejante a la presión de admisión en este caso se consideró la presión atmosférica de Quito, donde se realizarán las pruebas dinamométricas.

$$P_a = P_o - (\beta^2 + \xi) \frac{w a d^2}{2} \rho_o \cdot 10^{-6}$$

Ecuación 6. Presión de admisión

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

$P_a =$ Presión de admisión (MPa)

$P_o =$ Presión inicial (Pa)

$\beta =$ Coeficiente de amortiguación de la velocidad de la sección examinada del cilindro (adimensional)

$\xi =$ Coeficiente de resistencia del sistema de admisión referida a su sección más estrecha (adimensional)

wad = La velocidad del aire en la entrada del sistema de admisión (m/s)

ρ_o = Densidad de la carga de Admisión (kg/m^3)

Siendo

- $P_o = 1016hPa \rightarrow (101600Pa)$ correspondiendo el peso del aire sobre unidad de superficie a nivel del mar



Hora	Predicción	Viento	Precipitaciones	Nubes	Prob. tormenta	Humedad relativa	Presión
07.00 h	 16°	↑ 5 km/h	0,1 mm	99%	0%	87%	1020 hPa
08.00 h	 14°	↑ 5 km/h	0,1 mm	99%	0%	82%	1020 hPa
09.00 h	 13°	↑ 5 km/h	0,1 mm	99%	0%	77%	1020 hPa
10.00 h	 11°	↑ 6 km/h	0,1 mm	100%	0%	72%	1020 hPa
11.00 h	 13°	↑ 6 km/h	0,1 mm	99%	0%	69%	1019 hPa
12.00 h	 15°	↑ 7 km/h	0,1 mm	99%	0%	67%	1017 hPa
13.00 h	 18°	↑ 8 km/h	0,1 mm	99%	0%	65%	1016 hPa
14.00 h	 18°	↑ 7 km/h	0,1 mm	97%	0%	66%	1015 hPa

Figura 21. Datos de la temperatura y la presión atmosférica.

Fuente: (Foreca, 2018)

- La densidad de la carga en la admisión está determinada por:

$$\rho_o = \frac{P_o}{RT_o}$$

Ecuación 7. Densidad de la carga de admisión

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde

T_0 = Es la temperatura inicial la cual es $21^\circ C \rightarrow (294.15^\circ K)$. Asumida según condiciones de altura sobre el nivel del mar.

R = Constante universal de los gases ($286.9 \frac{N.m}{Kg.^{\circ}K}$)

Reemplazando datos tenemos:

$$\rho_0 = \frac{101600 \left[\frac{N}{m^2} \right]}{286.9 \frac{N.m}{Kg.^{\circ}K} (294.15^\circ K)}$$

$$\rho_0 = 1.20 \text{ kg/cm}^3$$

- **La velocidad del aire en la entrada del sistema de admisión (m/s) [wad]**

“Según datos experimentales obtenidos al investigar motores de automóviles, para la apertura completa de la válvula en el régimen nominal, la velocidad de movimiento de la carga en la sección de paso es = 50.....130 m/s” (Jóvaj, 1982)

Determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm^3 con lo cual procedemos a la realización de una Interpolación a 150 cm^3 correspondiente a la cilindrada de la motocicleta.

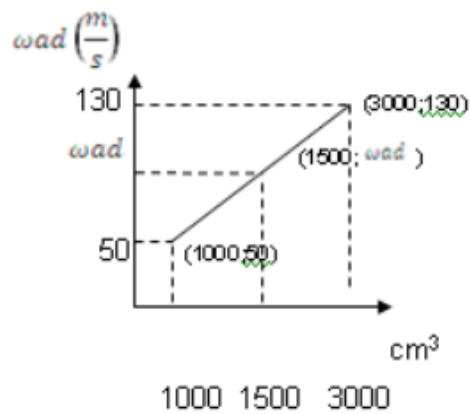


Figura 22. Velocidad de apertura de la válvula de admisión

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Ecuación pendiente de una recta

$$m = \frac{y - y_1}{x - x_1}$$

Ecuación 8. Pendiente de una recta

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Remplazando los valores de Velocidad de apertura de la válvula de admisión tenemos:

$$m = \frac{50 - 130}{1000 - 3000} = \frac{1}{25}$$

Ecuación de la Recta Punto Pendiente

$$(y - y_1) = m(x - x_1)$$

Ecuación 9. Recta Punto Pendiente

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Reemplazando los valores tenemos:

$$(y - 50) = \frac{1}{25}(x - 1000)$$

$$y = \frac{x + 250}{25}$$

Ecuación 10. La velocidad del aire en la entrada del sistema de admisión (m/s)

Donde:

$x =$ cilindrada total (cm^3)

$y = wad$ (m/s)

Reemplazando los datos tenemos:

$$wad = \frac{150cm^3 + 250}{25}$$

$$wad = 16 \text{ (m/s)}$$

- **Coefficiente de resistencia del sistema de admisión referida a su sección más estrecha (adimensional) $[\xi]$**

“Según datos experimentales obtenidos al investigar motores de automóviles, para

la apertura completa de la válvula en el régimen nominal, la velocidad de movimiento de la carga en la sección de paso es $\beta^2 + \xi = 2.5 \dots 4 \text{ m/s}$ (Jóvaj, 1982).

Determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm^3 con lo cual procedemos a la realización de una Interpolación a 1500 cm^3 correspondiente a la cilindrada de la motocicleta. (Jóvaj, 1982)

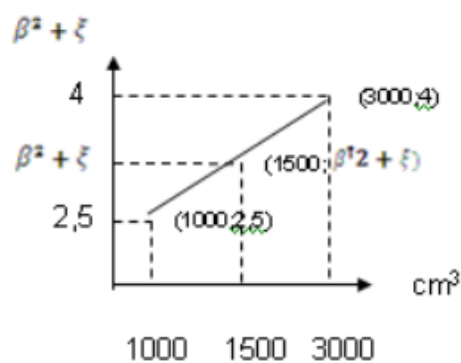


Figura 23. Velocidad de apertura de la válvula de admisión referida a su sección más estrecha

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Reemplazamos los puntos en la Ec.8 tenemos:

$$m = \frac{2.5 - 4}{1000 - 3000} = \frac{3}{4000}$$

Reemplazando en la ecuación 9 tenemos:

$$(y - 4) = \frac{3}{4000}(x - 3000)$$

$$y = \frac{3x + 7000}{4000}$$

Ecuación 111. Coeficiente de resistencia del sistema de admisión referida a su sección más estrecha

Donde:

$x = \text{cilindrada total (cm}^3\text{)}$

$y = \beta^2 + \xi$

Remplazando los datos tenemos:

$$\beta^2 + \xi = \frac{3(150 \text{ cm}^3) + 7000}{4000}$$

$$\beta^2 + \xi = 1.86$$

Finalmente podemos determinar el valor de la Presión de admisión reemplazando los valores antes obtenidos en la **Ec.6**

$$Pa = \left[101600 \frac{\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{m}^2} \right] - (1.86) \frac{\left[16 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]^2}{2} \left[1.20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 10^{-6}$$

$$Pa = 101599.99 \text{ Pa}$$

$$\mathbf{Pa = 0.10 MPa}$$

j. Temperatura en el ciclo de admisión

El pistón desciende desde el punto muerto superior (PMS) hacia el punto muerto inferior (PMI), abriendo la válvula de admisión ingresando la mezcla aire combustible a una temperatura semejante al del medio ambiente.

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + Y_r T_r}{1 + Y_r}$$

Ecuación 122. Temperatura de admisión

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

T_a = Temperatura en el ciclo de admisión ($^{\circ}K$)

T_o = Temperatura inicial ($^{\circ}K$)

ΔT = Incremento de temperatura en el proceso de calentamiento de la carga ($^{\circ}C$)

Y_r = Coeficiente de gases residuales (adimensional)

T_r = Temperatura de gases residuales ($^{\circ}K$)

Siendo:

$T_o = 21^{\circ}C \rightarrow (294.15^{\circ}K)$ Asumida según condiciones de altura sobre el nivel del mar.

$\Delta T = 15^{\circ}C = 288^{\circ}K$

“En los motores a gasolina y a gas sin sobrealimentación, a plena carga = 0,06.....0,10”, (Jóvaj, 1982).

Determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm^3 con lo cual procedemos a la realización de una Interpolación a 1500 cm^3 correspondiente a la cilindrada de la motocicleta. (Jóvaj, 1982)

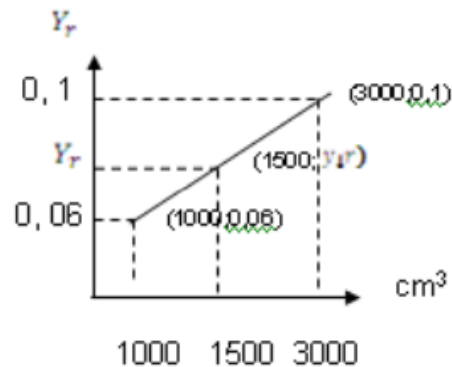


Figura 24. Coeficiente de gases residuales Y_r

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Reemplazamos los valores del coeficiente de gases en la Ec. 8 tenemos:

$$m = \frac{0.06 - 0.1}{1000 - 3000} = \frac{1}{5000}$$

Reemplazando en la ecuación 9 tenemos:

$$(y - 0.1) = \frac{1}{50000}(x - 3000)$$

$$y = \frac{x}{50000} + \frac{1}{25}$$

Ecuación 133. Coeficiente de gases residuales

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

x = Cilindrada total cm^3

$y = Y_r$ = Coeficiente de gases residuales

Remplazando los datos tenemos:

$$Y_r = \frac{150 \text{ cm}^3}{50000} + \frac{1}{25}$$

$$Y_r = 0.04$$

“Al calcular el coeficiente se puede asumir que la temperatura de los gases residuales en los motores a gasolina es $T_r = 900$ a $1000^\circ K$ ” (Jóvaj, 1982).

Determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm^3 con lo cual procedemos a la realización de una Interpolación a 150 cm^3 correspondiente a la cilindrada del vehículo. (Jóvaj, 1982)

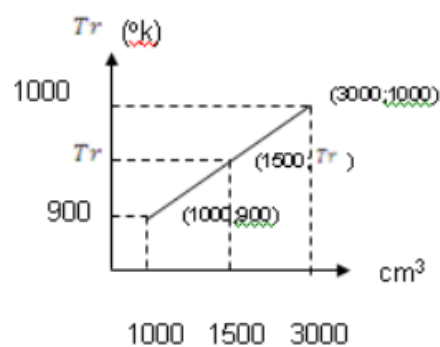


Figura 25. Temperatura de gases residuales

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Reemplazamos los puntos en la Ec. 8 tenemos:

$$m = \frac{900 - 1000}{1000 - 3000} = \frac{1}{20}$$

Reemplazando en la ecuación 9 tenemos:

$$(y - 900) = \frac{1}{20}(x - 1000)$$

$$y = \frac{x + 17000}{20}$$

Ecuación 144. Temperatura de gases residuales

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

$x = \text{cilindrada total (cm}^3\text{)}$

$y = Tr = \text{Temperatura de gases residuales}$

Reemplazamos los datos tenemos:

$$Tr = \frac{150 \text{ cm}^3 + 17000}{20}$$

$$Tr = 857.5 \text{ } ^\circ K$$

Reemplazamos en la **Ec 13.** Temperatura de admisión los datos obtenidos anteriormente.

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + Y_r T_r}{1 + Y_r}$$

$$T_a = \frac{294.15^\circ K + 288 + 0.04(857.5^\circ K)}{1 + 0.04}$$

$$T_a = 592.74^\circ K$$

k. Presión de en el ciclo de compresión

Es la presión de la mezcla aire combustible, al terminar el recorrido del pistón del punto muerto inferior (PMI) hacia el punto muerto superior (PMS) comprimiendo la mezcla.

$$P_c = P_a \epsilon^{n_1}$$

Ecuación 15. Presión de compresión

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

P_c = Presión en el ciclo de compresión (MPa)

P_a = Presión en el ciclo de admisión (MPa)

n_1 = Exponente politrópico medido de compresión (adimensional)

ϵ = Relación de compresión (adimensional)

En la figura se determina el exponente poli trópico medido de compresión (n_1) hasta cilindradas de 3000 cm^3 con lo cual gracias a una interpolación en 150 cm^3 correspondiente a la cilindrada de la motocicleta se podrá determinar este exponente para este cilindraje.

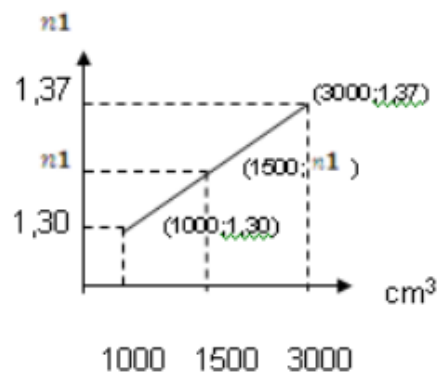


Figura 26. Exponente poli trópico medio de compresión.

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Remplazando los puntos en la Ec. 8 tenemos:

$$m = \frac{1.30 - 1.37}{1000 - 3000} = \frac{7}{200000}$$

Reemplazando en la ecuación 9 tenemos:

$$y = \frac{7x}{200000} + \frac{253}{200}$$

Ecuación 15. Exponente politrópico medido de compresión

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

$x = \text{cilindrada total (cm}^3\text{)}$

$y = n_1 = \text{Exponente politrópico medido de compresión (adimensional)}$

Remplazando los datos tenemos:

$$n1 = \frac{7(150\text{cm}^3)}{200000} + \frac{253}{200}$$

$$n1 = 1.27$$

Remplazamos en la Ec.15 Presión de compresión los datos obtenidos.

$$Pc = Pa\epsilon^{n1}$$

$$Pc = 0.10 \text{ MPa} \cdot 8.45^{1.27}$$

$$Pc = 1.50 \text{ MPa}$$

I. Temperatura en el ciclo de compresión

Es la temperatura de la mezcla aire combustible, al terminar el recorrido del pistón del punto muerto inferior (PMI) hacia el punto muerto superior (PMS) comprimiendo la mezcla.

$$Tc = Ta \cdot \epsilon^{n1-1}$$

Ecuación 16. Temperatura en compresión

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

Tc = Temperatura en el ciclo de compresión ($^{\circ}K$)

$$Tc = 592.74 \text{ }^{\circ}K * 8.45^{1.27-1}$$

$$Tc = 1054.66 \text{ }^{\circ}K$$

m. Temperatura en el ciclo de explosión

Esta temperatura es superior en comparación al resto de temperaturas en todo el ciclo de trabajo de un motor de combustión interna, debido a que la chispa de la bujía salta cuando el pistón está en el punto muerto superior (PMS)

T_z = Temperatura en el ciclo de explosión ($^{\circ}K$)

μ_z = La energía interna de los productos de combustión $\mu_z = 68600 \frac{KJ}{Kmol}$

“El valor buscado para la temperatura de combustión, correspondiente al valor de la energía interna se encuentra interpolando en la figura 27 entre la gama de temperaturas $2300^{\circ}C < T_z < 2400^{\circ}C$ ” (Jóvaj, 1982).

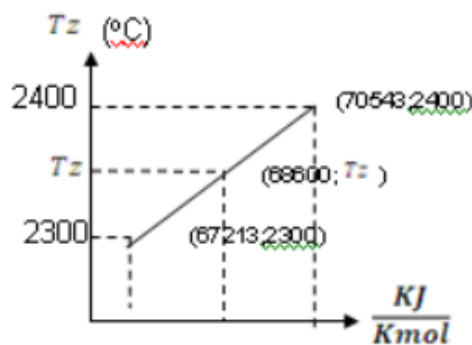


Figura 27. Temperatura de combustión.

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Reemplazamos los puntos en la Ec. 8 tenemos:

$$m = \frac{2300 - 2400}{67213 - 70543} = \frac{10}{333}$$

Reemplazando en la ecuación 9 tenemos:

$$(y - 2300) = \frac{10}{333}(x - 67213)$$

$$y = \frac{10x + 93770}{333}$$

Ecuación 17. Temperatura en el ciclo de explosión

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

$$x = \mu_z = \text{La energía interna de los productos de combustión} = 68600 \frac{KJ}{Kmol}$$

$$y = T_z = \text{Temperatura en el ciclo de explosión } (^{\circ}K)$$

Remplazando los datos tenemos:

$$T_z = \frac{10(68600 \frac{KJ}{Kmol}) + 93770}{333}$$

$$T_z = 2341.67^{\circ}C \quad (T_z = 2614.82^{\circ}K)$$

n. Presión en el ciclo de explosión

Presión máxima de un motor de combustión interna ciclo Otto, es decir que con esta presión se analizará el comportamiento del pistón.

$$P_z = \mu_r \frac{T_z}{T_c} P_c$$

Ecuación 18. Presión en el ciclo de explosión

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

P_z = Presión en el ciclo de la explosión (MPa)

μ_r = Coeficiente real de variación molecular (adimensional)

$$\mu_r = \frac{\mu_o + Y_r}{1 + Y_r}$$

Ecuación 19. Coeficiente real de variación molecular

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

μ_o = Es el coeficiente teórico de variación molecular

$\mu_o = 1.08$ (Adimensional)

Remplazando valores tenemos:

$$\mu_r = \frac{1.08 + 0.04}{1 + 0.04}$$

$\mu_r = 1.076$ (Adimensional)

Reemplazamos los valores obtenidos en la Ec.19 Presión en el ciclo de explosión tenemos:

$$P_z = 1.076 * \frac{2614.82 \text{ }^\circ K}{1054.66 \text{ }^\circ K} * 1.50 MPa$$

$$P_z = 4.0015 MPa$$

o. Fuerza aplicada en la cabeza del pistón (F_e).

Es el esfuerzo que se aplica en el área de la cabeza del pistón, la que servirá para estudios en el software CAE.

$$F_e = P_z \cdot \text{Área}_{\text{pistón}}$$

Ecuación 20. Fuerza en la cabeza del pistón.

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

F_e = Fuerza en la parte superior del pistón (N)

Reemplazando los valores antes obtenidos de la presión en el ciclo de explosión y el área del pistón, obtenemos en la Ec 21.

$$F_e = 4001500 \frac{N}{m^2} * 0.002951(m^2)$$

$$F_e = 11808.42 N$$

3.4. Diseño de la biela en 3D

Para el diseño de la biela se debe considerar que la Máquina CNC no mecaniza ciertos detalles que presenta la biela de fábrica por tal razón existen detalles que se deben omitir para que el mecanizado no presente restricciones

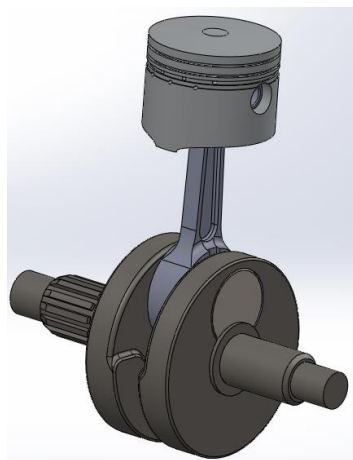


Figura 28. Ensamble final del tren alternativo

3.4.1. Modificaciones a considerar en el diseño

La zona en la que podemos observar una ligera diferencia es en el contorno de la biela debido al acabado que se genera por la utilización de un método diferente de construcción en la biela de fábrica, por lo que se debe realizar un rediseño, como se muestra en la figura 29.

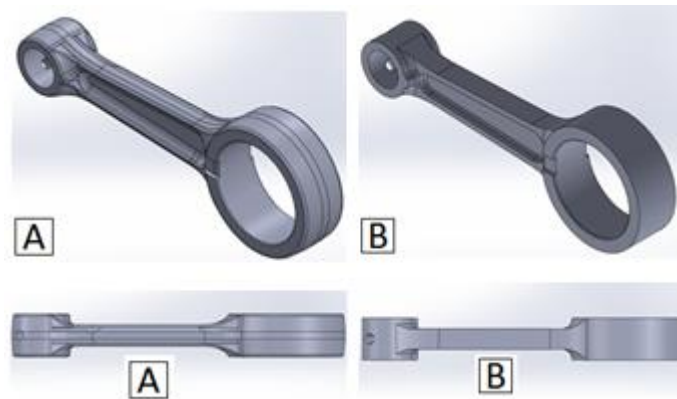


Figura 29. Imagen comparativa vista lateral A): Biela de fábrica B): Biela rediseñada

En las imágenes de la izquierda se aprecia el modelado de la biela de fábrica con los detalles externos los cuales la máquina CNC no puede mecanizar o a su vez tiene difícil acceso, es así que tomando en cuenta estos parámetros, las imágenes de la derecha muestran el rediseño del exterior de la biela el cual si puede mecanizar la máquina CNC.



Figura 30. Detalles en el pie de biela A): Biela de fábrica B): Biela rediseñada

Las imágenes del lado izquierdo muestran los detalles presentes en el pie de biela de fábrica los cuales en las imágenes de la derecha se muestra el rediseño de esta zona en la biela a maquinar.

3.5. Ensayo metalográfico en la biela de fábrica

El objetivo de realizar ensayos metalográficos es para determinar el tipo de acero con el que está construida la biela de la motocicleta Shineray XY de 150cc y a su vez conocer sus propiedades químicas, físicas y mecánicas para realizar una comparación con el acero existente en nuestro país.

3.5.1. Ensayo de impacto en la biela de fábrica

a. Preparación de las probetas.

Este ensayo se realizó en probetas obtenidas del cuerpo de biela de la motocicleta Shineray XY 150cc Charpy bajo la Norma ASTM E23, utilizando máquinas y herramientas que permitan mecanizar y desbastar el cuerpo de la biela de fábrica hasta obtener probetas normalizadas, esto con el fin de determinar los valores resistencia al impacto (J/cm²)

Tabla 2.

Medidas y tolerancias aceptadas para probetas para ensayo Charpy.

Designación	Dimensiones nominales	Tolerancias de maquinado
Longitud	55 mm	± 0.25 mm
Espesor	2.5 mm	± 0.075mm
Ancho	09 mm	± 0.075mm
Angulo de la ranura	45°	1°
Profundidad de la ranura	2mm	± 0.025mm
Distancia del centro de la ranura a los extremos de la probeta	27.5 mm	0.42 mm

Las dimensiones y geometría de las probetas de ensayo Charpy se pueden apreciar en la figura 31.

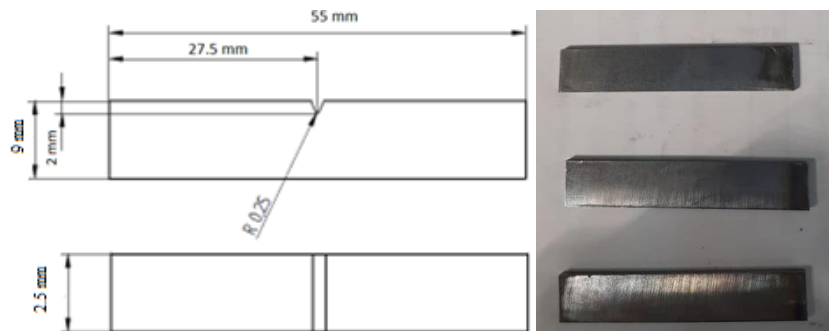


Figura 31. Dimensiones y geometría de las probetas de ensayo

b. Desarrollo del ensayo.

Este ensayo se realizó en el laboratorio de resistencia de materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de la ciudad de Ambato, en la Máquina de ensayos Charpy PIC 450 J. Modelo 450/C Serie M152552ar14.

Se procede a colocar cada una de las probetas en la máquina Charpy para sobre ellas liberar el péndulo de la máquina Charpy y así determinar la energía que es capaz de soportar el material de la biela de fábrica.

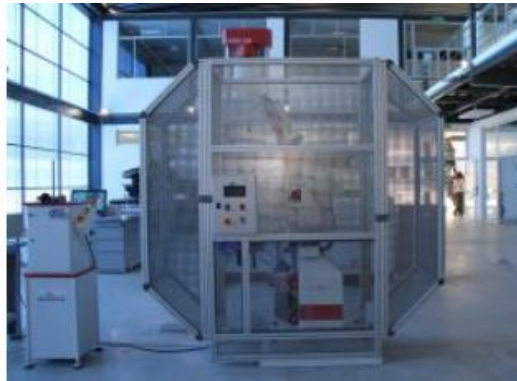


Figura 32. Máquina para ensayos de impacto de materiales metálicos hasta 450J.

c. Resultados del ensayo.

En la tabla se detalla la energía que es capaz de absorber el material de la biela de fábrica, mediante la medición de las tres probetas normalizadas se determina que absorbe una energía de **19.93 J**



Figura 33. Probetas después del ensayo de impacto

Tabla 3.

Resultados del ensayo de impacto

Probeta	Sección Transversal de la Probeta			Energía Absorbida (J)
	Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	
EIM 01-1	0.814	0.275	0.224	19.69
EIM 01-1	0.816	0.283	0.231	19.69
EIM 01-3	0.812	0.270	0.219	20.42
				19.933

3.5.2. Ensayos de dureza en la biela de fábrica

Este ensayo se realizó en la cabeza de biela de la motocicleta Shineray XY 150cc.

Para este ensayo se utilizó un Durómetro digital marca TECMICRO modelo FM-800 serie FMX 8340 con capacidad de realizar mediciones de dureza Vickers y dureza Rockwell C (HRC).

a. Preparación de la probeta

La superficie a ser penetrada debe estar libre de impurezas, para lo cual mediante el uso de un banco de lijas de grano fino (250, 320), grano extrafino (400,600), grano ultra fino (1500) se procede a pulir la cara donde se encuentre la sección de acero.



Figura 34. Ensayo de dureza en la biela de fábrica

b. Desarrollo del ensayo

Mediante el elemento penetrante del durómetro digital se procede a realizar el ensayo de dureza provocando una huella la cual es analizada electrónicamente por el

durómetro, obteniéndose así los valores de dureza del material de la biela de fábrica.

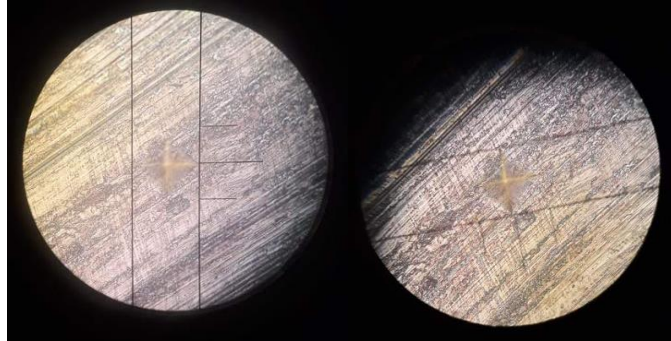


Figura 35. Diámetro de la huella en la cabeza de la biela

c. Resultados del ensayo

En la tabla se detalla el valor de cada una de las mediciones realizadas en la cabeza de la biela de fábrica obteniéndose un valor promedio de dureza de **58 HRC**.

Tabla 4.

Resultados del ensayo de dureza.

Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	N° mediciones	Dureza Vickers	Dureza HRC
22.1	57.5	1	678	59
		2	644	58
		3	650	57
Promedio			657	58



Figura 36. Resultado de la tercera medición en la biela de fábrica

3.5.3. Ensayo de tracción

Este ensayo consiste en provocar la deformación de la probeta a ensayar aplicando una carga progresiva en sentido axial, este ensayo se desarrolla bajo la Norma ASTM E8, la cual determina las dimensiones de las probetas a ensayar.

a. Preparación de las probetas

Las probetas para este ensayo se obtuvieron del cuerpo de la biela, de donde se obtienen dos probetas por cuerpo de biela

Las dimensiones de las probetas para este ensayo se muestran en la figura.

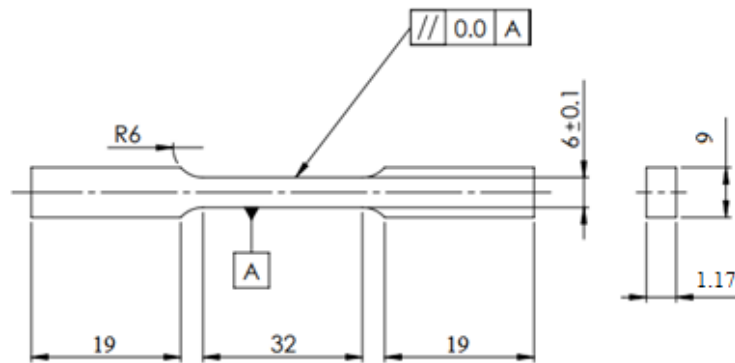


Figura 37. Dimensiones de la probeta para ensayo según la norma ASTM E 8



Figura 38. Probetas para ensayo de tracción obtenidas del cuerpo de la biela de fábrica

Este ensayo se realizó en el laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas sede Sangolquí, utilizando la máquina para ensayos de tracción AMSLER MRM – 29 I



Figura 39. Ubicación de la probeta en la máquina ASMLER MRM-29

Tabla 5.

Resultados del ensayo de tracción

Probeta	Sección Transversal de la Probeta				Sección Reducida de la probeta		Fuerza de fluencia	Fuerza de tracción
	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área inicial (mm ²)	Área final (mm ²)	Longitud inicial (mm) L_o	Longitud final (mm) L_f		
ET-1	1.14	4.71	5.37	2.97	25.00	27.45	399 kg	435 kg
ET -2	1.11	4.91	5.45	3.88	25.00	27.53	400 kg	468 kg
ET-3	1.12	4.86	5.44	3.84	25.00	27.45	371 kg	483 kg
		Promedio	5.42	3.56	25.00	27.50	390 kg	462 kg

Del ensayo se obtienen las siguientes propiedades.

b. Elongación

Una vez llegado al punto de rotura se puede determinar el valor de la elongación midiendo la longitud final y se comparando con la longitud inicial utilizando la siguiente ecuación

$$EL = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\%$$

Ecuación 21. Elongación

Donde

L_f = Longitud Final

L_o = Longitud inicial

Reemplazando los datos tenemos que el porcentaje de elongación es de **10 %**

$$EL = \frac{27.5 - 25.00}{25.00}$$

$$EL = 10 \%$$

c. Porcentaje de reducción de área

La medida de la sección transversal original también se compara con la sección transversal final para obtener la reducción del área

$$RA = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100\%$$

Ecuación 22. Reducción de área

Donde

A_f = Área Final

A_o = Área inicial

Reemplazando los datos tenemos que el porcentaje de reducción de área es de **34 %**

$$RA = \frac{5.42 - 3.56}{5.42} \times 100\%$$

$$RA = 34.31\%$$

d. Esfuerzo de fluencia

La zona de fluencia es donde aparece un considerable alargamiento o fluencia del material como se ve en la gráfica

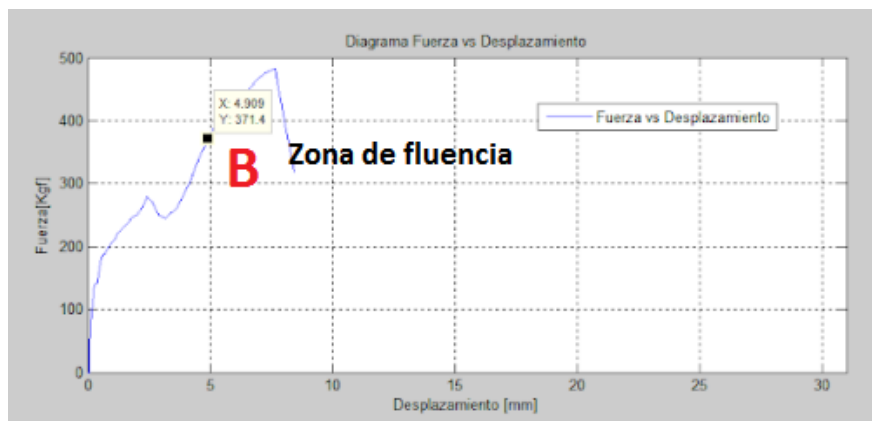


Figura 40. Punto de fluencia en la biela de fábrica

En la fluencia se aprecia una zona de transición entre las deformaciones elásticas y plásticas donde se observa un rápido incremento de la deformación.

El esfuerzo a la fluencia es la relación entre la carga aplicada en la zona de fluencia sobre el área transversal inicial de la probeta normalizada

$$\sigma_f = \frac{P}{A_0}$$

Ecuación 234. Esfuerzo de fluencia

Donde

σ_f = Esfuerzo de fluencia

P = Esfuerzo en la fluencia

A_0 = Área transversal inicial de la probeta normalizada

Reemplazando los datos tenemos que el esfuerzo a la fluencia es de **72 kg/mm²**

$$\sigma_T = \frac{390 \text{ kg}}{5.42 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_T = 71.96 \text{ kg/mm}^2$$

e. Esfuerzo último a la tracción

El punto de máxima resistencia corresponde al máximo absoluto de Fuerza que soporta el acero AISI 4140 como se observa en el diagrama



Figura 41. Zona de fractura del acero de la biela de fábrica

Para determinar el esfuerzo último a la tracción se relaciona la fuerza en el punto de rotura del material sobre el área inicial transversal de la probeta normalizada.

$$\sigma_T = \frac{P}{A}$$

Ecuación 24. Esfuerzo último a la tracción

Donde

σ_T = Esfuerzo último a la tracción

A_o = Área inicial transversal

Reemplazando los datos tenemos que el esfuerzo ultimo a la tracción es de **$85kg/mm^2$**

$$\sigma_f = \frac{462 \text{ kg}}{5.42 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_f = \mathbf{85.23 \text{ kg/mm}^2}$$

3.5.4. Ensayo de Caracterización Química por espectrometría

Este ensayo se realiza con el fin de determinar la composición química del material base con el que está construida la biela de fábrica, se requirió de una sola probeta la cual se obtuvo de un fragmento de las probetas de impacto

Este ensayo se realiza bajo la norma ASTM E1085 2016: el cual es un método de prueba estándar para el análisis de los aceros de baja aleación por longitud de onda dispersa de rayos X espectrometría de fluorescencia utilizando un Espectrómetro Olympus DPO2000-C Serie: 541828, previo al ensayo se debe calibrar la máquina con el patrón de Acero Inoxidable 316 OLYMPUS.



Figura 42. Espectrómetro Olympus DPO2000-C Serie: 541828



Figura 43. Patrón de calibración. Acero Inoxidable 316 OLYMPUS



Figura 44. Material base a ensayar en el espectrómetro Olympus DPO2000-C
Serie: 541828

a. Resultados del ensayo

Tabla 6.

Composición química de la biela de fábrica

Temperatura °C	Precisión	Corriente De Funcionamiento	Energía	Composición Química			
				Fe %	Cr %	Mn %	Mo %
21.5	0.01	0.2 mA	40 ke V	98.58	0.77	0.48	0.164
			+/- ERROR	0.04	0.02	0.03	0.005

De acuerdo a la librería de materiales del equipo se designa al material como: AISI

4130

ELEMENT	C%	+/-
Fe	98.58	0.04
Cr	0.77	0.02
Mn	0.48	0.03
Mo	0.164	0.005

Figura 45. Composición química del material base de la biela de Motocicleta Shineray XY 150cc.

3.6. Ensayos metalográficos en el material seleccionado

El objetivo de realizar ensayos metalográficos en el material seleccionado es para confirmar las propiedades físicas y mecánicas del Acero AISI 4140

3.6.1. Ensayo de impacto en el material seleccionado

Este ensayo se realizó en el laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad de las Fuerza Armadas ESPE sede Sangolquí bajo la Norma ASTM E23, con el fin de determinar la energía que es capaz de absorber el material.

a. Preparación de las probetas

Las probetas para este ensayo se obtuvieron de un eje de acero AISI 4140 de 155mm de diámetro cuyas dimensiones se muestran en la figura.

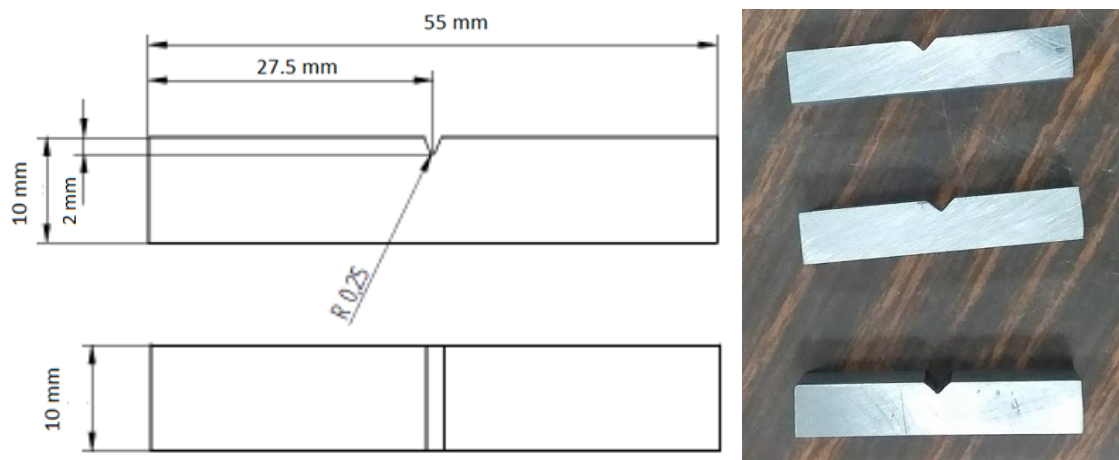


Figura 46. Dimensiones y geometría de las probetas de ensayo

Para este ensayo se utilizó la máquina Charpy para ensayos de impacto.



Figura 47. Máquina Charpy para ensayos de impacto de materiales metálicos.

b. Resultados del ensayo

Del ensayo de las tres probetas normalizadas se determinó que la energía de absorción del acero AISI 4140 es de **27 J**.

En la tabla se detalla cada uno de los ensayos realizados.

Tabla 7.

Resultados del ensayo de impacto del acero AISI 4140

Probeta	Sección Transversal de la Probeta			Energía Absorbida (J)
	Altura (cm)	ancho (cm)	Área (cm ²)	
4140 – 01	1.0	0.8	0.8	29.43
4140 – 02	1.0	0.8	0.8	25.506
4140 – 03	1.0	0.8	0.8	27.468
			Promedio	27.46

3.6.2. Ensayo de tracción

Para este ensayo preparamos las probetas a partir de un eje de acero AISI 4140 de diámetro de 155mm, bajo la norma ASTM E8.

a. Preparación de las probetas

Mediante equipos de corte se obtienen tres probetas con las dimensiones establecidas bajo la norma ASTM E8

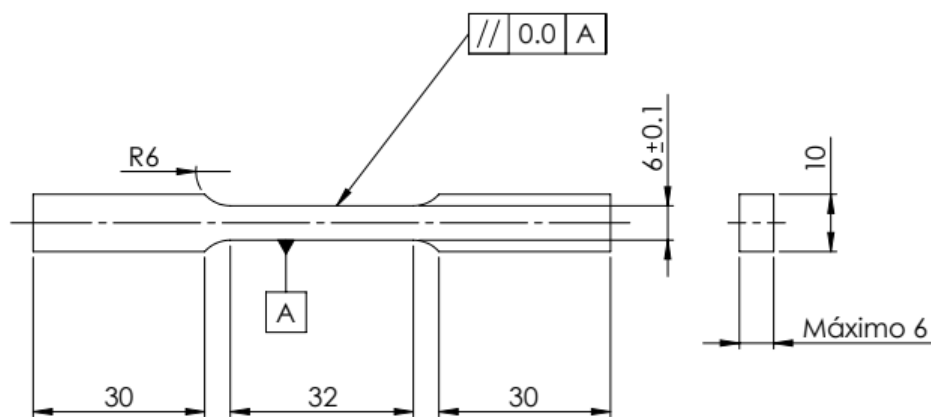


Figura 48. Dimensiones de la probeta para ensayo de tracción según la norma ASTM E 8



Figura 49. Probetas para ensayo de tracción en acero AISI 4140

b. Desarrollo del ensayo

Este ensayo se realizó en el laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas sede Sangolquí, utilizando la máquina para ensayos de tracción AMSLER MRM – 29 I

Se aplica el mismo procedimiento realizado en el ensayo de tracción del Acero de fábrica.



Figura 50. Máquina para ensayos de tracción AMSLER MRM-29

Tabla 8.

Resultados del ensayo de tracción del acero AISI 4140

Probeta	Sección Transversal de la Probeta				Sección Reducida de la probeta		Fuerza de fluencia	Fuerza de tracción
	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área inicial (mm ²)	Área final (mm ²)	Longitud inicial (mm) L_o	Longitud final (mm) L_f		
ET02-1	6.00	5.82	34.92	22.30	25.00	28.70	2665 kg	3335.kg
ET02 -2	5.93	5.78	34.28	21.36	25.00	28.65	2618 kg	3065 kg
ET02-3	6.00	5.97	35.82	21.38	25.00	27.70	1982 kg	3266 kg
		Promedio	35.00	21.68	25.00	28.35	2422 kg	3222 kg

Del ensayo se obtienen las siguientes propiedades.

c. Elongación

Una vez llegado al punto de rotura se puede determinar el valor de la elongación midiendo la longitud final y se comparando con la longitud inicial utilizando la siguiente ecuación

Reemplazando los datos en la ecuación 22 tenemos:

$$EL = \frac{28.35 - 25.00}{25.00} \times 100\%$$
$$EL = 12.36\%$$

d. Porcentaje de reducción de área

La medida de la sección transversal original también se compara con la sección transversal final para obtener la reducción del área.

Reemplazando los datos en la ecuación 23 tenemos:

$$RA = \frac{35 - 21.68}{35} \times 100\%$$
$$RA = 38.06\%$$

e. Esfuerzo de fluencia

La zona de fluencia es donde aparece un considerable alargamiento o fluencia del material como se observa en el diagrama.

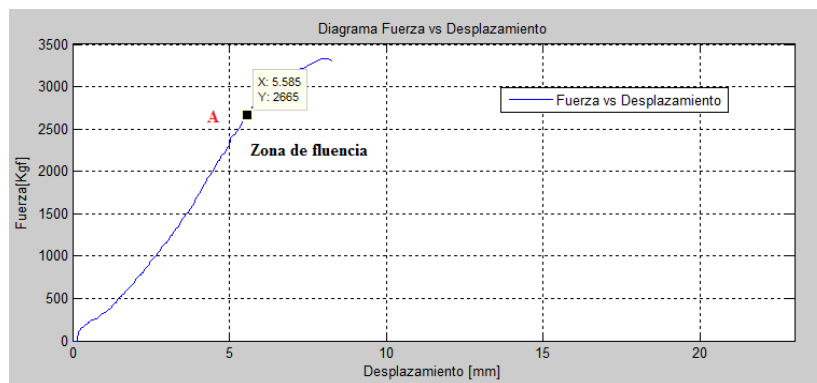


Figura 51. Zona de fluencia en el diagrama Fuerza vs Desplazamiento del acero AISI 4140

El esfuerzo a la fluencia es la relación entre la Carga aplicada en la zona de fluencia sobre el área transversal inicial de la probeta normalizada

Reemplazando los datos en la ecuación 24 tenemos

$$\sigma_f = \frac{2422 \text{ kg}}{35 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_f = 69.2 \text{ kg/mm}^2$$

f. Esfuerzo último a la tracción

El punto de máxima resistencia corresponde al máximo absoluto de Fuerza que

soporta el acero AISI 4140 como se observa en el diagrama.

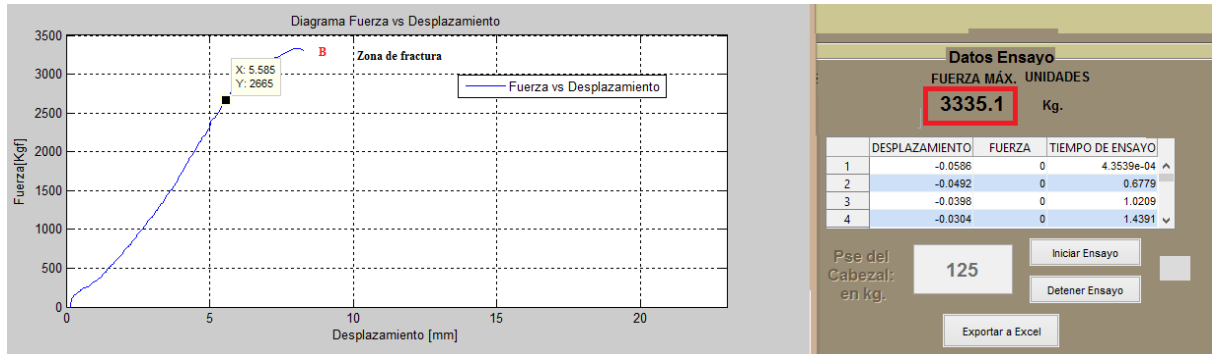


Figura 52. Zona de fractura en el Diagrama Fuerza vs Desplazamiento del acero AISI 4140

Para determinar el esfuerzo último a la tracción se relaciona la fuerza en el punto de rotura del material sobre el área inicial transversal de la probeta normalizada.

Reemplazando los datos en la ecuación 25 tenemos

$$\sigma_T = \frac{3222 \text{ kg}}{35 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_T = 92.06 \text{ kg/mm}^2$$

3.7. Proceso de tratamiento térmico del acero AISI 4140.

Para el tratamiento térmico del acero AISI 4140 utilizamos un conjunto de operaciones aplicando cambios térmicos de manera brusca consiguiendo de esta manera una variación en la estructura interna de manera que se adapte o mejore sus propiedades de dureza con respecto al acero de fábrica denominado como un acero AISI 4130.

Los tratamientos térmicos recomendados para el acero AISI 4140 son el templeado y revenido para elevar los valores de dureza que requiere el material base, para que la biela a mecanizar se adapte al ciclo de trabajo dentro del motor de combustión interna.

Estos tratamientos térmicos se desarrollaron en el laboratorio de Ciencias de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas Sede Sangolquí bajo la supervisión del Ingeniero Javier Sánchez, jefe de laboratorio de ciencia de materiales.



Figura 53. Horno para tratamientos térmicos

Para este procedimiento se utilizó una probeta de acero AISI 4140 de dimensiones de 10x10x55 mm.



Figura 54. Probetas del acero AISI 4140.

3.7.1. Templado.

Para el desarrollo de este tratamiento térmico se utilizó un horno marca WILD BARFIEL que trabaja con temperaturas de 0 a 1200 °C

Para cumplir con los requerimientos de la biela de fábrica se toma de referencia los valores de dureza de la tabla 4 donde especifica que la dureza es de **58 HRC**, Para lo cual la ficha técnica del acero AISI 4140 determina el siguiente procedimiento para obtener una dureza de **57 HRC**.

Se prepara al horno a una temperatura de 870°C, la ideal para llegar a la zona de autenticación del acero a ensayar.



Figura 55. Temperatura ideal para austenizar el acero.

Posterior a ello se ingresa la probeta en el horno, dejándola reposar por un tiempo de 30 minutos para después enfriarla bruscamente en aceite SAE 40



Figura 56. Probeta de acero AISI 4140 sometida a 750°C



Figura 57. Templado en aceite SAE 40

3.7.2. Revenido.

Para el proceso del revenido se deja enfriar al horno hasta una temperatura de 200°C, para luego ingresar a la probeta de acero por dos horas para tener dureza de 57HRC. Se deja enfriar la probeta hasta que llegue a temperatura ambiente.



Figura 58. Probeta tratada térmicamente

3.8. Ensayos de dureza en el material seleccionado

Este ensayo se desarrolló en el laboratorio de metrología de la Universidad de las Fuerzas Armadas sede Sangolquí, mediante el uso de un durómetro digital METKON modelo DUROLINE-

Este ensayo se realizó en la probeta sometida a los tratamientos térmicos de templado y revenido para verificar que los valores obtenidos después del tratamiento térmico sean los requeridos para el funcionamiento de la biela dentro del motor de combustión interna.

Previo a realizar las mediciones de dureza se debe preparar la probeta limando las asperezas en la superficie a penetrar



Figura 59. Preparación de la probeta de acero AISI 4140.

Se realizan tres mediciones sobre la probeta para poder obtener un valor de dureza más preciso, gracias a la automatización que posee el durómetro los resultados de la acción del penetrador es analizado por la computadora interna del durómetro calculando los valores de dureza los cuales se observan en la pantalla.

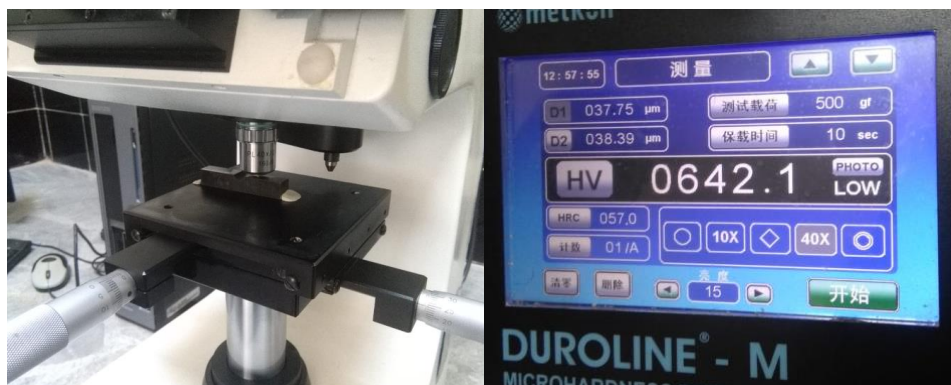


Figura 60. Ensayo de dureza en la probeta sometida a tratamientos térmicos

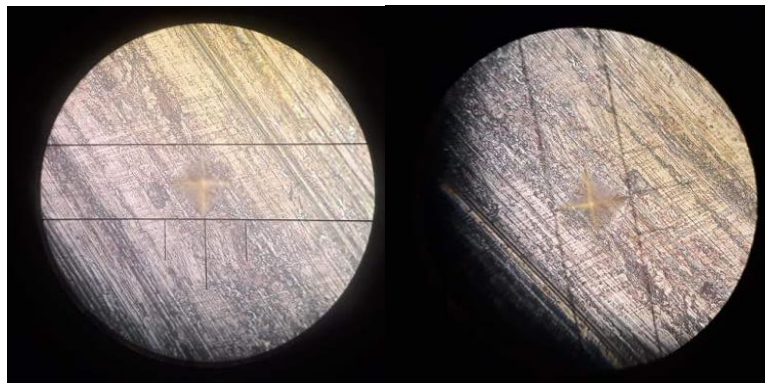


Figura 61. Diámetro de la huella en la probeta

En la tabla podemos observar las mediciones obtenidas del ensayo de dureza donde se verifica que las temperaturas empleadas para el desarrollo de los tratamientos térmicos son las adecuadas para mejorar las propiedades del acero AISI 4140.

Tabla 9.

Resultados del ensayo de dureza del acero AISI 4140

Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	N° mediciones	Dureza Vickers	Dureza HC
22.1	57.5	1	642.10	57.0
		2	573.8	573.8
		3	614.3	55.8
		Promedio	610.1	56.77

3.9. Selección del material

Para la selección del material se realiza una comparación de las propiedades físicas, químicas y mecánicas obtenidas de los ensayos metalográficos del acero base de la biela de fábrica determinado como AISI 4130 y de un acero disponible en el país determinado como AISI 4140.

3.9.1. Características del acero AISI 4130 vs el acero AISI 4140

Las características generales entre estos dos aceros determinan sus propiedades y aplicaciones semejantes, las cuales se detalla en la tabla

Tabla 10.

Características generales del acero AISI 4130 y el acero AISI 4140

	Acero de la biela de fábrica ACERO AISI 4130	Acero disponible en el país. ACERO AISI 4140
Características	*Baja aleación y medio carbono *Alta templabilidad *Alta dureza y tenacidad	* Baja aleación y medio carbono *Alta templabilidad * Alta dureza y tenacidad
Aplicaciones automotrices	Bielas, cigüeñales, semi ejes para remolques, rotulas,	Ejes, bielas, árboles de transmisión, cigüeñales.
Maquinabilidad	Mecanizado fácil métodos convencionales Mecanizado difícil si le eleva su dureza	Mecanizado fácil métodos convencionales Mecanizado difícil si le eleva su dureza

3.9.2. Propiedades Químicas

En la tabla se compara los porcentajes de los elementos químicos que conforman al acero AISI 4130 y al acero AISI 4140

Tabla 11.

Composición Química entre los aceros AISI 4130 y AISI 4140

COMPOSICIÓN QUÍMICA		
Elemento	Acero de la biela de fábrica ACERO AISI 4130	Acero disponible en el país. ACERO AISI 4140
% Hierro (<i>Fe</i>)	98.58	98.22
% Manganeso (<i>Mn</i>)	0.48	0.60
% Silicio (<i>Si</i>)	0.15	0.15
% Cromo (<i>Cr</i>)	0.77	0.90
% Molibdeno (<i>Mo</i>)	0.15	0.16
%Fósforo (<i>P</i>)	0.040	0.030
%Azufre (<i>S</i>)	0.035	0.040

De donde podemos determinar que el Acero AISI 4140 en comparación al acero AISI 4130 tiene mayor cantidad de manganeso (Mn), Cromo (Cr) y Molibdeno (Mo)

3.9.3. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas entre el acero AISI 4130 y al acero AISI 4140 se detallan en la tabla

Tabla 12.

Comparación de las propiedades mecánicas entre los aceros AISI

Elemento	PROPIEDADES MECÁNICAS	
	Acero de la biela de fábrica ACERO AISI 4130	Acero disponible en el país. ACERO AISI 4140
Resistencia a la tracción	85.24 kg/mm^2	94.91 kg/mm^2
Elongación	10%	12%
Reducción de área	34.31%	38.06%
Energía de absorción	19.9 J	27.46 J
Dureza	17HRC	28HRC
Dureza posterior al tratamiento térmico	58 HRC	57 RC

3.10. Proceso de simulación CAE.

Un software CAE nos permite realizar análisis dinámicos sobre cualquier mecanismo, el cual nos permitirá visualizar el desempeño del modelo 3D. Este tipo de análisis permite estimar de manera muy acertada el comportamiento que tendrán los componentes, modelados y diseñados, en un ambiente real de trabajo realizando un análisis virtual mostrando posibles fallas que se podrían presentar.

3.10.1. Creación del proyecto

Para empezar con el análisis es necesario tomar muy en cuenta los datos de ingeniería celda A2 en donde se agregarán los materiales necesarios para la simulación. Los valores correspondientes a las características del material se pueden editar de ser necesario.

En la celda B2 agregar el archivo que será sometido a la simulación. En las celdas C2 y D3 se encuentra el estudio termal y el estudio estructural respectivamente.

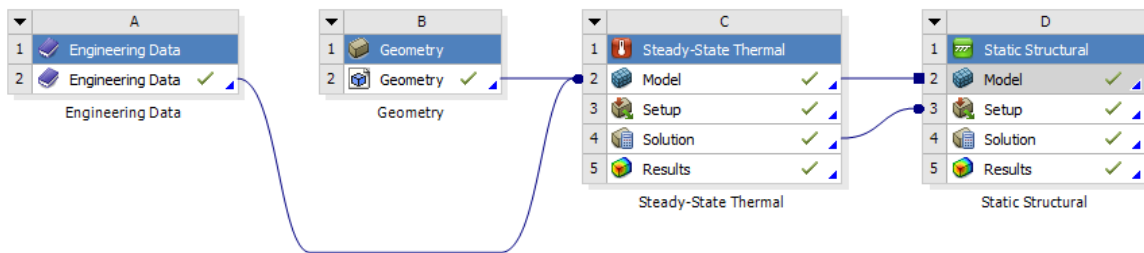


Figura 62. Creación del proyecto

La primera configuración que se realiza esta dedicado a los datos de ingeniería, donde se ingresa los datos obtenidos en las diferentes pruebas realizadas al material con el cual se mecanizara la biela. De la misma forma se agregarán los materiales de los diferentes elementos que intervienen en el análisis.

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Acerol 4140				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
4	Aluminum Alloy				General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.
5	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
*	Click here to add a new material				

Figura 63. Selección y modificación de materiales

Abrir el modelo que será parte del estudio térmico y estructural.



Figura 64. Mecanismo biela manivela

3.10.2. Contacto de los elementos

Debemos configurar los contactos presentes en el ensamble. El contacto entre el pistón y el bulón se lo realiza tomando la cara externa del bulón y los alojamientos internos del pistón, con el comando **Contact bonded**.

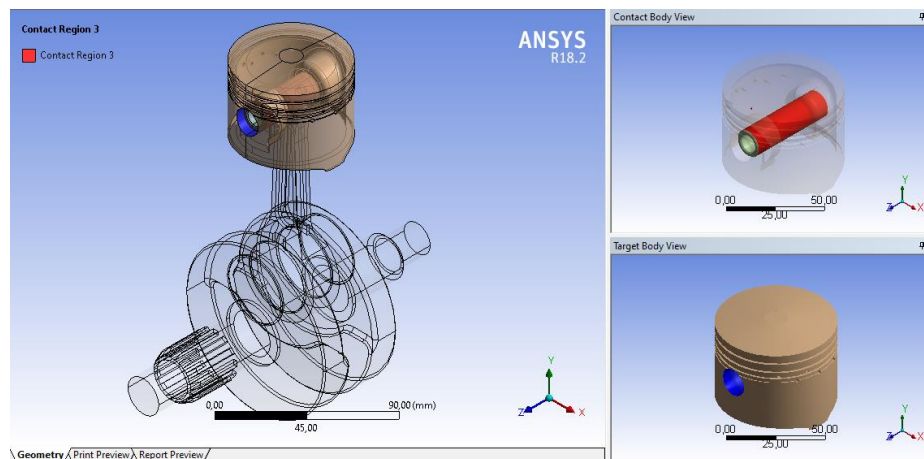


Figura 65. Contacto entre el pistón y bulón

El contacto entre el bulón y la biela se lo realiza seleccionando la cara exterior del bulón y la cara interior del pie de biela con ayuda del comando **Contact bonded**.

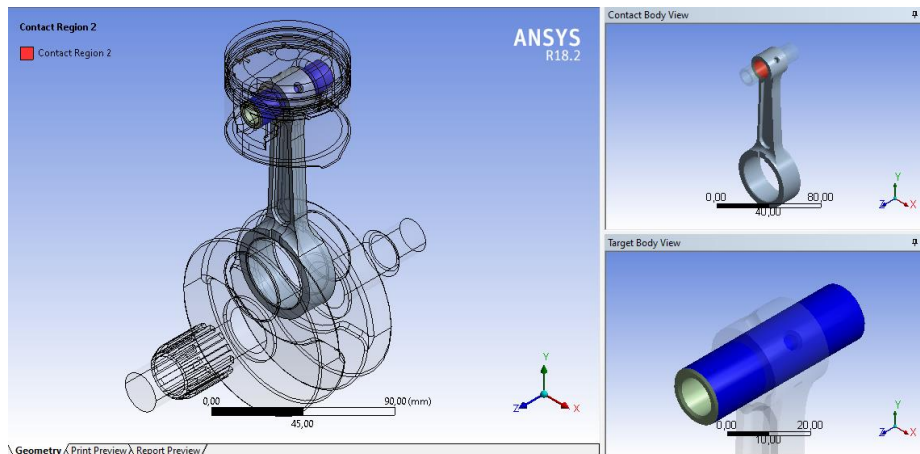


Figura 66. Contacto entre el bulón y la biela

El contacto entre la biela y el cigüeñal se lo realiza seleccionando la cara interior de la cabeza de la biela y la cara exterior de la muñequilla de biela del cigüeñal, con ayuda del comando **Contact bonded**.

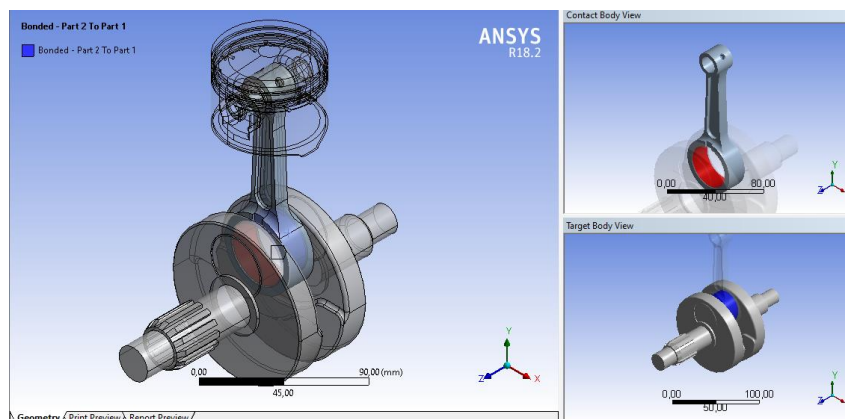


Figura 67. Contacto entre la biela y el cigüeñal

3.10.3. Mallado de la biela

Cuando se trabaja con elementos finitos se debe definir la malla. Esto consiste en dividir el objeto de estudio en un número finito de subregiones, para lo cual se debe realizar un estudio más exhaustivo para determinar el número de subdivisiones por

tanto se trabaja con los valores predeterminados por el software.

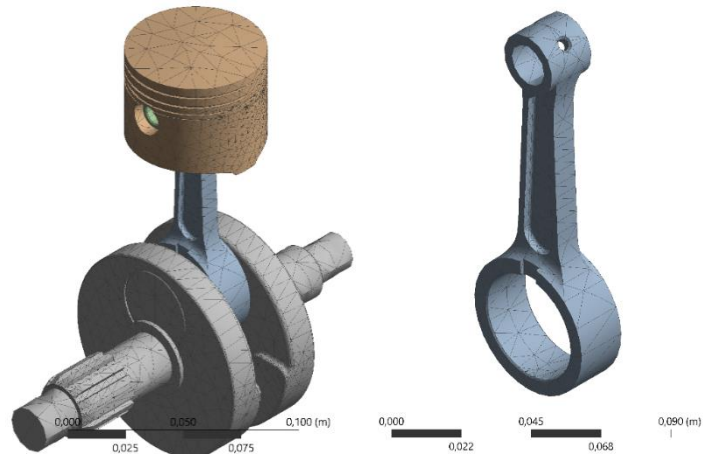


Figura 68. Mallado de los elementos en análisis

3.10.4. Aplicación de cargas

a. Estudio termal

Colocar la temperatura en el tiempo de explosión en todas las superficies del pistón que tienen contacto directo con la combustión. En este caso se obtuvo una temperatura de explosión de 2341 °C.

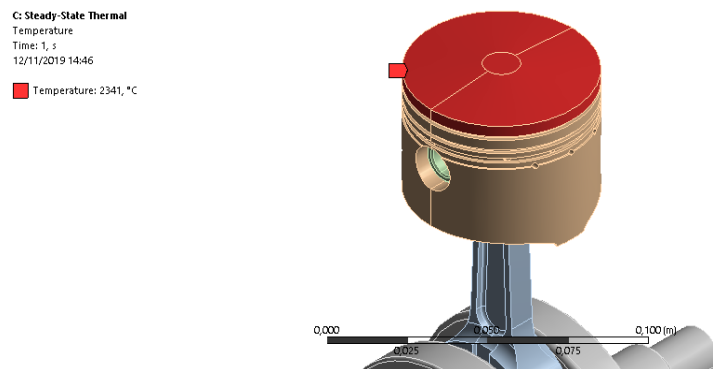


Figura 69. Aplicación de la temperatura en el pistón

Se obtiene la disipación de temperatura en el tiempo de explosión tanto en el ensamble completo como individualmente. Podemos observar que la temperatura se disipa por el pistón hacia el bulón y la biela.

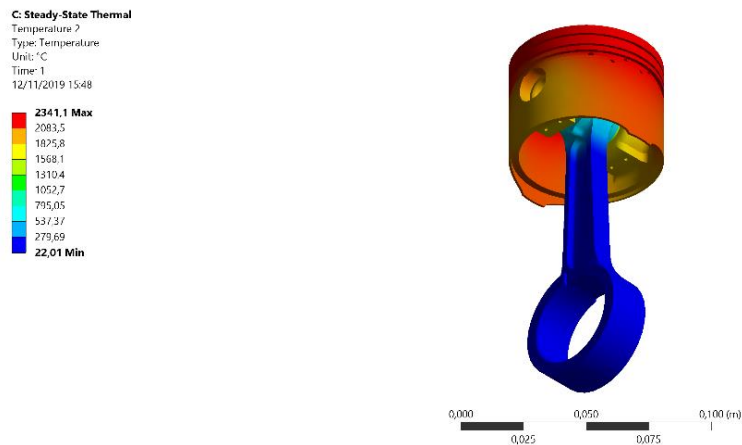


Figura 70. Simulación de la disipación de calor en el sistema biela manivela

En la biela obtenemos una temperatura máxima de 978 °C, localizados en los puntos de coloración roja.

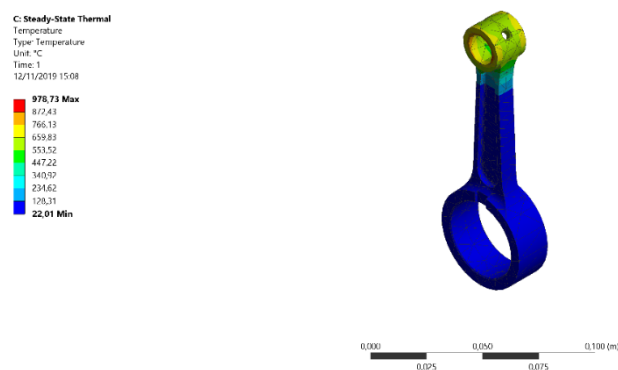


Figura 71. Temperatura en la biela

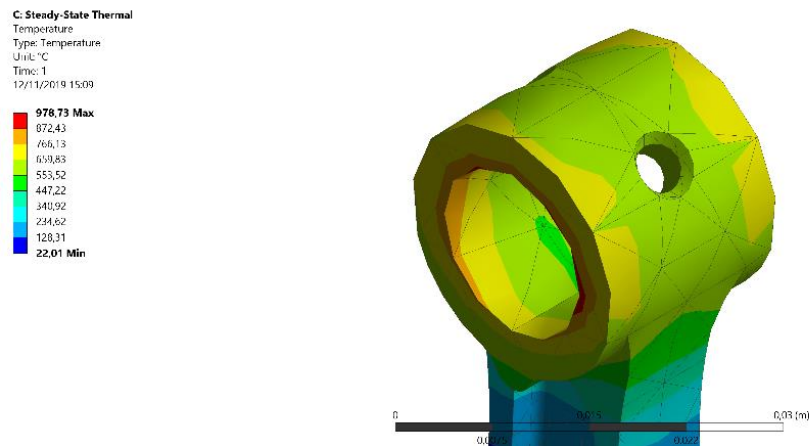


Figura 72. Temperatura en el pie de biela

Realizar un corte para visualizar de mejor manera la disipación de calor que se produce en la simulación.

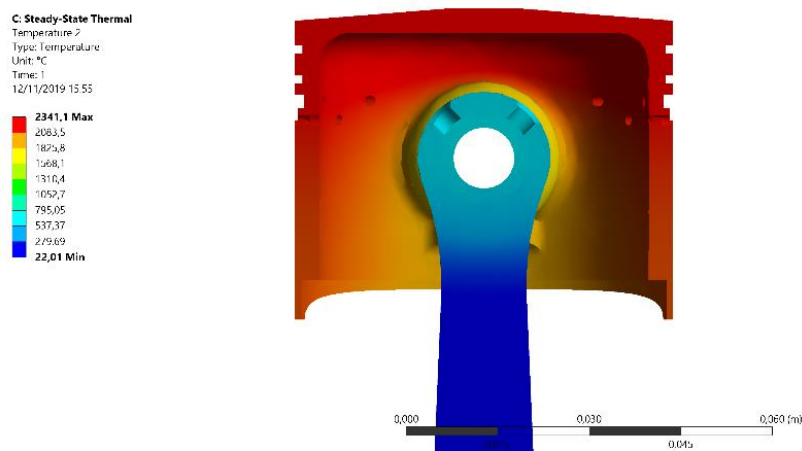


Figura 73. Distribución de temperatura en el mecanismo biela manivela en corte

En el ensamble tenemos una temperatura máxima de 2341 °C debido a que la temperatura es aplicada directamente en la cabeza del pistón, la temperatura se va disipando a través de los diferentes elementos.

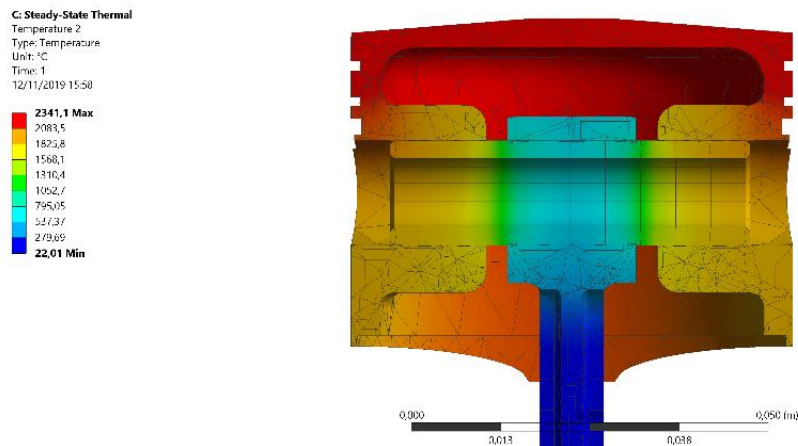


Figura 74. Disipación de calor en el mecanismo en corte

b. Estudio estático estructural

Para el análisis estructural tendremos precargado los resultados del análisis termal, ya que estos también influyen en el comportamiento estructural.

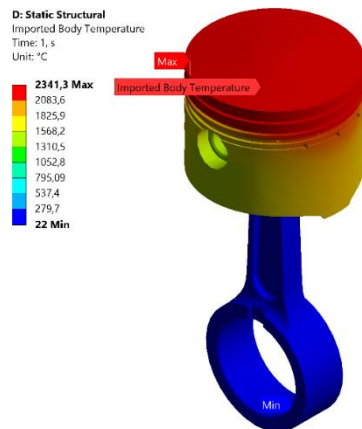


Figura 75. Importación de resultados del análisis termal

Introducimos el valor de la presión de explosión obtenido previamente $P_z=4,0015$ MPa y seleccionamos la cabeza del pistón como campo de acción de dicha fuerza, seleccionamos el eje y como eje de acción y colocamos el valor con signo negativo denotando que se trata de una fuerza de compresión.

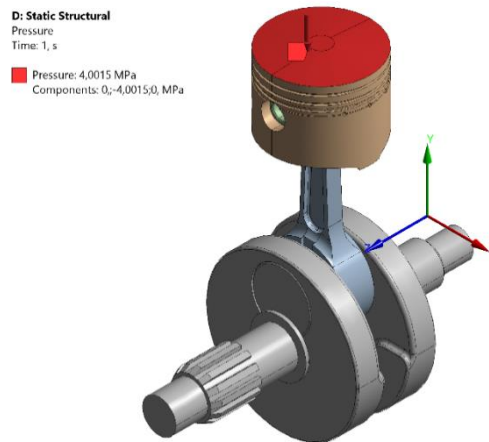


Figura 76. Asignación de la presión sobre la cabeza del pistón

c. Deformación total

Después de aplicar la fuerza obtenemos la deformación total máxima de 0,5 mm ubicada en la falda del pistón, esta deformación excesiva se debe a que no se considera la disipación de calor que se produce desde los segmentos hacia el cilindro.

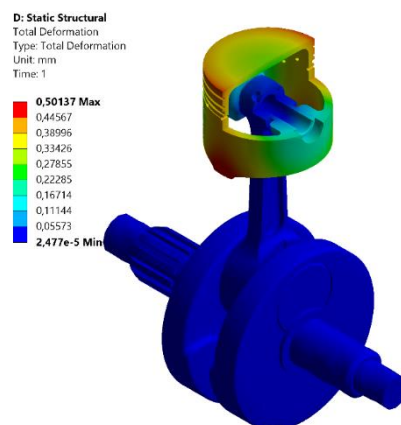


Figura 77. Deformación del mecanismo biela manivela

d. Deformación en la biela

Observamos que tenemos una deformación máxima de 0,10528 mm, representadas de color rojo ubicadas en los extremos del pie de biela, la deformación mínima se encuentra en la cabeza de la biela.

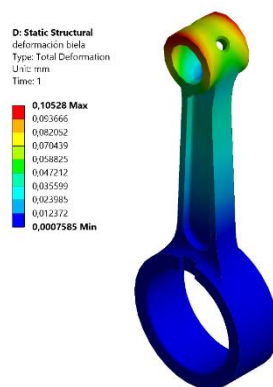


Figura 78. Deformación de la biela

e. Deformación direccional en el eje x

Por efecto de la temperatura y la presión que se encuentran dirigidas en el eje x se tiene una deformación máxima de 0,064 mm.

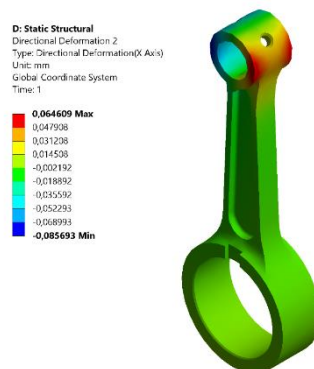


Figura 79. Deformación direccional de la biela en el eje x

f. Deformación direccional en el eje y

Debido a las fuerzas ejercidas sobre la biela se obtuvo como resultado una deformación en el eje y de 0,091 mm, esta deformación es producida ya que en las partes de color rojo poseen menor cantidad de material.

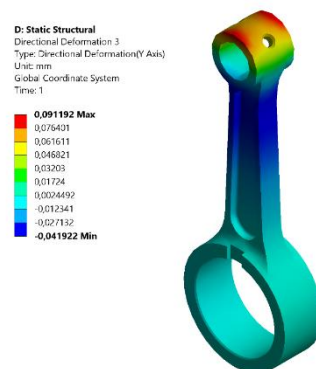


Figura 80. Deformación direccional de la biela en el eje y

g. Deformación direccional en el eje z

Debido a las fuerzas producidas en el eje z obtenemos una máxima deformación de 0,065 mm.

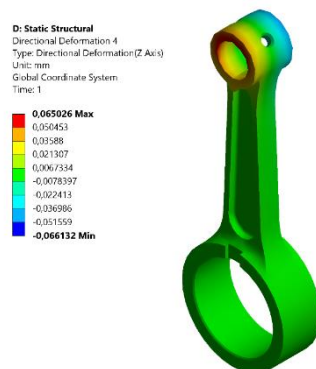


Figura 81. Deformación direccional de la biela en el eje z

h. Esfuerzo equivalente (Von Misses)

El esfuerzo equivalente al aplicar una presión de 4,0015 MPa tuvo como resultado un valor máximo de 575,8 MPa. El esfuerzo equivalente se basa en el criterio de falla de Von-Misses, el cual determina un parámetro para ver si el material se plastifica.

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 6(K^2)$$

Ecuación 256. Esfuerzo de Von Misses

Donde

$$\sigma_y = 190 \text{ GPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_y$$

$$\sigma_2 = 0$$

$$\sigma_3 = 0$$

$$K = \frac{190000 \text{ MPa}}{\sqrt{3}}$$

$$K = 109699,77 \text{ MPa}$$

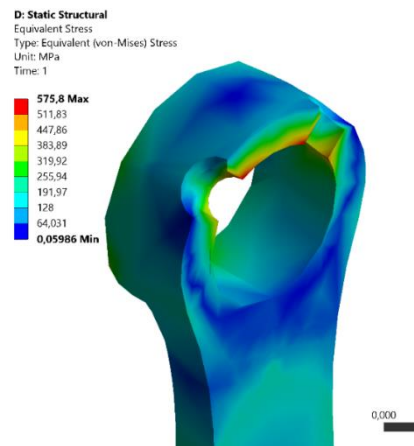


Figura 82. Criterio de falla en la biela

i. Factor de seguridad

El factor de seguridad es una relación entre el esfuerzo último sobre el esfuerzo admisible, la carga última hace referencia al esfuerzo de fractura, por lo general se considera un factor de seguridad a valores mayores a 1 para que el material no presente fallas.

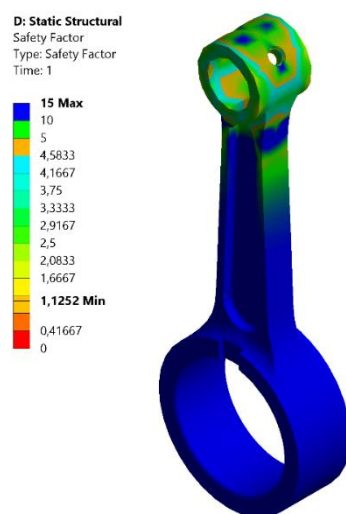


Figura 83. Factor de seguridad de la biela

j. Esfuerzo de fricción.

El esfuerzo de fricción permite determinar las tensiones que actúan tangencialmente a las superficies de acoplamiento entre los elementos de contacto, en este caso el contacto producido entre el bulón y el pie de biela. Se producirá desprendimiento de material en las zonas de color rojo al alcanzar el valor máximo de 297,71 MPa.

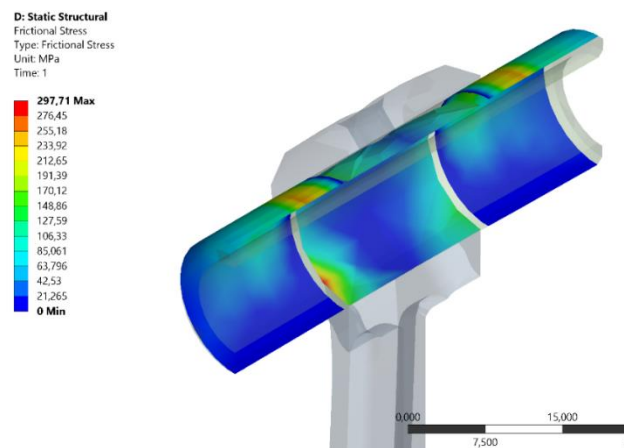


Figura 84. Esfuerzo de fricción entre la biela y el bulón

k. Presión de contacto

En el contacto entre el bulón y el pie de biela observamos que se produce una presión de contacto uniforme en la gran mayoría de la sección de contacto, excepto en sus extremos los cuales están de color verde, lo cual denota que existe un aumento de presión de contacto y una pequeña sección de color rojo en un punto determinado lo cual nos indica que no se producirá un gripado entre estos dos elementos

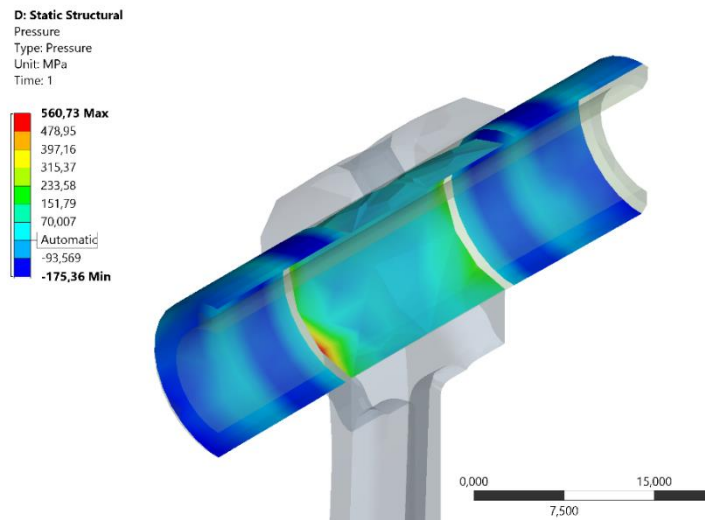


Figura 85. Presión de contacto entre la biela y el bulón

I. Desgaste

El desgaste entre dos elementos en contacto está directamente relacionado con la presión de contacto, por lo tanto, tenemos una gráfica similar. En las regiones de color rojo tendrán un desgaste máximo de 0,0031 mm.

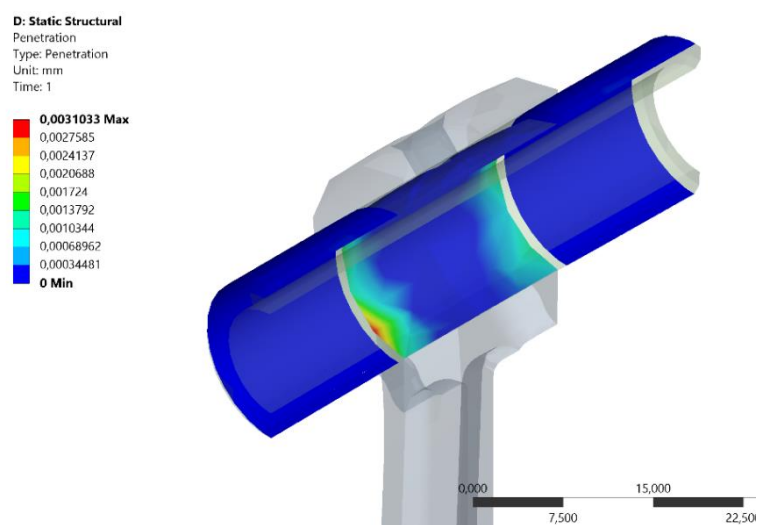


Figura 86. Desgaste producido entre la biela y el bulón

CAPÍTULO IV

MANUFACTURA Y PRUEBAS

4.1. Selección de la máquina de herramientas.

Para realizar el mecanizado de la biela de motocicleta se utilizó la máquina CNC de la marca **ANAYAC** modelo **Anak Matic**, mediante un software CAM la máquina procesa las líneas de códigos generados. Con este proceso de manufactura se logra un proceso más rápido, preciso y más rentable para la industria.



Figura 87. Máquina CNC de la marca **ANAYAC** modelo **Anak Matic**

4.2. Programación del mecanizado en CNC

El software CAE permite simular el proceso de mecanizado de la máquina CNC,

para dar inicio al mecanizado es necesario seguir una serie de pasos los cuales se detallan a continuación.

4.2.1. Código GUI.

Mediante a plataforma de interfaz gráfica de usuario GUI se generan líneas de códigos alfanuméricos, las cuales se basan en el proceso de fabricación asistida por computador y son enviados al control de la máquina CNC. Para el mecanizado de la biela.



Figura 88. Generación de código GUI

La biela se mecaniza por partes tomando en cuenta las caras superior o inferior de la misma, para lo cual se crean varios procesos de mecanizado, para el desbaste exterior la biela, el taladrado del pie y cabeza de biela y el afinado de la misma.

Para el mecanizado de la biela se utilizó un eje de acero AISI 4140 con un diámetro de 155mm, una longitud de 25mm, estas dimensiones son ingresadas a la máquina CNC previo a la ejecución de los procesos de mecanizado.



Figura 89. Eje de acero AISI 4140

En la opción de Pos proceso del software se despliega diferentes modelos de máquinas CNC, para este caso se selecciona la opción UNCX01.P02 que es el código de la máquina Anayak –Matic-7-cnc; una ventana de comando emergerá en el monitor donde se ingresará el nombre del proceso de mecanizado a realizar, para esta ocasión se ha elegido el proceso de **taladrado** como ejemplo.

Se selecciona la opción **EXT-TNC** el cual transfiere un archivo del computador al controlador de la máquina **Anayak–Matic-7-cnc** mediante un cable **R323**, posteriormente se selecciona la extensión del código del proceso en **archivo.H**, en este caso el nombre del archivo es: **taladrado profundo.H**

El controlador reconoce el archivo y transfiere las líneas de código del proceso de mecanizado de taladrado de la cabeza y pie de la biela, el cual posee 1236 líneas de código.



Figura 90. Parámetros del proceso de mecanizado de taladrado de la cabeza de la biela

La máquina se calibra a un punto de cero de referencia llamado CERO DE PIEZA, las dimensiones del eje de acero AISI 4140 se puede observar en las líneas de código del software CAM especifica de la siguiente manera: 1ra fila ejes de coordenadas negativas (X-150 Y-60 Z-22) del eje a mecanizar, y 2da fila ejes de coordenadas positivas (X+5 Y+2 Z+0) del eje a mecanizar, y en la fila 5ta el comando TOOL que describe el número de herramienta que se va a utilizar, que para todo el mecanizado fueron necesarias 5 herramientas.

Se realiza una vista preliminar del proceso de mecanizado del taladrado de los orificios de la cabeza y pie de la biela al seleccionar ACEPTAR en el centro de control de la máquina Anayak –Matic-7-cnc, con la finalidad de prevenir un choque entre la herramienta y el área de mecanizado y una posible inadecuada selección del diseño.

En la figura 91 se visualiza el proceso de mecanizado del taladrado de los orificios de la cabeza y pie de biela.



Figura 91. Proceso de mecanizado del taladrado del orificio de la cabeza de la biela

4.2.2. Características de las líneas de código

Las líneas de código que genera el software CAM pueden ser modificadas de forma correctiva o preventiva manualmente en el controlador de la máquina CNC mediante su teclado, considerando: el proceso a mecanizar, el cero de máquina, cero de herramienta, cero de pieza y funciones que están relacionadas con la torreta de herramientas.



Figura 92. Mandos manuales del controlador Anayak –Matic-7-CNC.

Las líneas de códigos son instrucciones para la máquina CNC donde se detalla cada movimiento y selección de las herramientas para realizar el mecanizado en la figura 93 se observa las líneas de códigos para el proceso de mecanizado del taladrado de la cabeza y pie de la biela

```

0 BEGIN PGM BIELA MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-150 Y-60 Z-22
2 BLK FORM 0.2 X+5 Y+2 Z+0
3 ; PROGRAMA
4 ; TOOL
5 ; DIAMETRO 38
6 ; COMMENT.
7 TOOL CALL 2 S250
8 M3
9 L X-119,7 Y-26,55 FMAX
10 L Z+3 FMAX M8
11 L Z+3 R0 FMAX
12 CYCL DEF 1.0 TALADRADO PROFUNDO
13 CYCL DEF 1.1 DIST.-3
14 CYCL DEF 1.2 PROF.-35
15 CYCL DEF 1.3 PASO-3
16 CYCL DEF 1.4 T.ESPRO
17 CYCL DEF 1.5 F20
18 L X-119,7 Y-26,55 M99
19 L Z+0 FMAX
20 M5
21 ; PROGRAMA
22 ; TOOL
23 ; DIAMETRO 15
24 ; COMMENT.
25 TOOL CALL 2 Z S500
26 M3
27 L X-16,2 Y-26,55 FMAX
28 L Z+3 FMAX M8
29 L Z+3 R0 FMAX
30 CYCL DEF 1.0 TALADRADO PROFUNDO
31 CYCL DEF 1.1 DIST.-3
32 CYCL DEF 1.2 PROF.-35
33 CYCL DEF 1.3 PASO-3
34 CYCL DEF 1.4 T.ESPRO
35 CYCL DEF 1.5 F50
36 L X-16,2 Y-26,55 M99
37 L Z+0 FMAX
38 M5
39 ; PROGRAMA
40 ; TOOL
41 ; DIAMETRO
42 ; COMMENT.
43 TOOL CALL 6 Z S900
44 M3
45 L X-162,216 Y-89,361 FMAX
46 L Z+0 FMAX M8
47 L Z-0,5 F800
48 L X-156,431 Y-75,521
49 CC X-142,591 Y-81,307
50 C X-136,806 Y-67,468 DR-
51 CC X-119,7 Y-26,55
52 C X-88,131 Y-57,7 DR+
53 CC X-82,406 Y-63,35
54 C X-87,364 Y-57,016 DR-
55 CC X-99,663 Y-41,308
56 C X-83,6 Y-53,14 DR+
57 L X-83,6 Y-53,14
58 CC X-119,7 Y-26,55
59 C X-83,6 Y+0,039 DR+
60 CC X-99,663 Y-11,791
61 C X-87,364 Y+3,916 DR+
62 CC X-82,401 Y+10,255
63 C X-88,131 Y+4,6 DR-
64 CC X-119,7 Y-26,55
65 C X-136,806 Y-67,468 DR+
66 CC X-142,591 Y-81,307
67 C X-128,752 Y-87,093 DR-
68 L X-134,538 Y-100,932
69 L Z+0
70 L X-10,864 Y-88,993 FMAX
71 L Z-0,5 F800
72 L X-15,681 Y-74,788
73 CC X-1,475 Y-69,971
74 C X-6,292 Y-55,765 DR-
75 CC X-16,2 Y-26,55
76 C X-39,757 Y-6,63 DR+
77 L X-40,082 Y-7,021
78 CC X-27,1 Y-26,55
79 C X-40,082 Y-46,078 DR+
80 CC X-16,2 Y-26,55
81 C X-6,292 Y-55,765 DR+
82 CC X-1,475 Y-69,971
83 C X+12,729 Y-65,154 DR-
84 L X+17,546 Y-79,359
85 L X-162,253 Y-89,336
86 L Z-1
87 L X-156,459 Y-75,5
88 CC X-142,624 Y-81,294
89 C X-136,83 Y-67,458 DR-
90 CC X-119,7 Y-26,55
91 C X-88,131 Y-57,7 DR+
92 CC X-82,401 Y-63,355
93 C X-86,982 Y-56,735 DR-
94 CC X-98,342 Y-40,322
95 C X-84,136 Y-54,344 DR+
96 CC X-98,336 Y-40,33
97 C X-81,57 Y-51,144 DR+
98 CC X-119,7 Y-26,55
99 C X-81,57 Y-1,954 DR+
100 CC X-98,338 Y-12,772
101 C X-86,982 Y+3,635 DR+
102 CC X-82,404 Y+10,252
103 C X-88,131 Y+4,6 DR-
104 CC X-119,7 Y-26,55
105 C X-136,83 Y-67,458 DR+
106 CC X-142,624 Y-81,294
107 C X-128,788 Y-87,087 DR-
108 L X-134,581 Y-100,923
109 L Z+0
110 L X+3,571 Y-86,021 FMAX
111 L Z-1 F800
112 L X-4,43 Y-73,333
113 CC X+8,257 Y-65,332
114 C X+0,256 Y-52,644 DR-
115 CC X-16,2 Y-26,55
116 C X-29,67 Y+1,203 DR+
117 L X-29,852 Y+1,118
118 L X-30,564 Y+0,777
119 L X-31,445 Y+0,305
120 CC X-16,2 Y-26,55
121 C X-40,103 Y-6,997 DR+
122 CC X-27,1 Y-26,55
123 C X-40,103 Y-46,102 DR+
124 CC X-16,2 Y-26,55
125 C X-31,445 Y-53,405 DR+
126 L X-30,558 Y-53,88
127 L X-29,852 Y-54,218

```

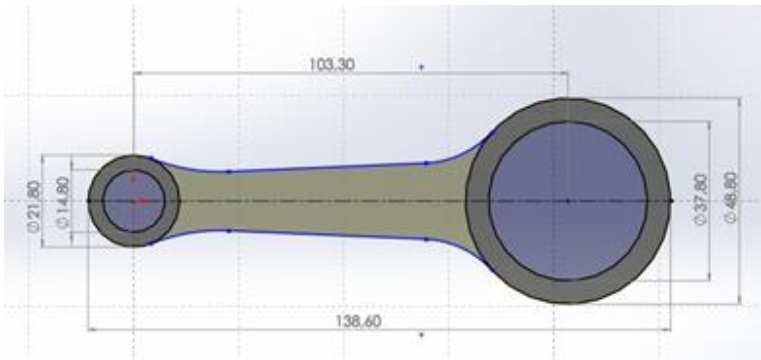
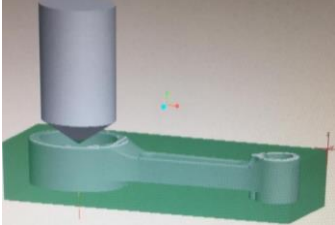

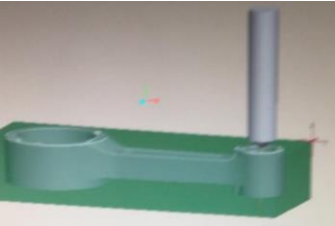

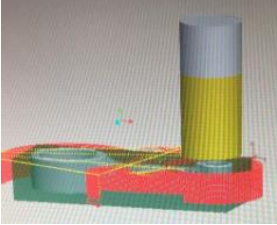

Figura 93. Líneas de código del proceso de mecanizado del taladrado de la cabeza y pie de biela

4.3. Proceso de mecanizado de la biela.

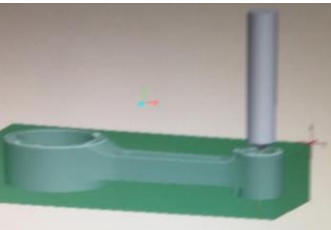

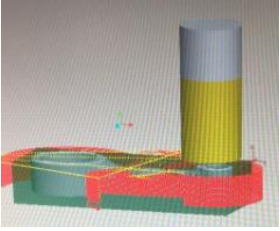


La serie de parámetros antes mencionados se realiza en cada uno de los procesos del mecanizado de la biela a continuación se los detalla

Tabla 13.

Hoja de procesos para la manufactura de la biela en acero AISI 4140

HOJA DE PROCESOS			
Nombre del proceso	Mecanizado de la biela de motocicleta en acero AISI 4140	Revisa. Ing. Stalin Mena.	
Responsable	Cerón Fuentes Priscila Lisseth Hinojosa Inapanta Bryan Armando		
Departamento	Ciencias de la Energía y Mecánica Carrera de Ingeniería Automotriz		
			
OPERACIONES			
Designación	Herramientas y parámetros de trabajo	Vista previa de la operación	Resultado
CARA SUPERIOR DEL EJE DE ACERO AISI 4130			
Taladrado profundo (Cabeza de Biela)	Diámetro mayor = 38 mm Vc = 250 mm/min		
Taladrado profundo (Pie de Biela)	Diámetro mayor = 15 mm Vc = 500 mm/min		
Afinado exterior	Diámetro mayor = 39.9 mm Vc = 1000 mm/min		

CONTINÚA →

<p>Mandrilado (Cabeza de biela)</p>	<p>Diámetro mayor = 38 mm Vc = 250 mm/min</p>	 
<p>Mandrilado (Pie de biela)</p>	<p>Diámetro menor = 15 mm Vc = 500 mm/min</p>	 
<p>Afinado de los detalles de la biela</p>	<p>Diámetro 8mm Vc = 1000 mm/min</p>	 
CARA POSTERIOR DEL EJE DE ACERO AISI 4130		
<p>Afinado exterior</p>	<p>Diámetro mayor = 38 mm Vc = 250 mm/min</p>	 
<p>Afinado de los detalles de la biela</p>	<p>Diámetro = 8 mm Vc = 1000 mm/min</p>	 
<p>Rectificado</p>	<p>Mesa imantada Rodillo para superficies planas</p>	<p>Se rectifica para llegar al espesor requerido.</p> 

4.4. Tratamiento térmico en la biela manufacturada

Una vez mecanizada la biela se procede a realizar los tratamientos térmicos anteriormente realizados

4.4.1. Templado

Se ingresa la biela mecanizada en el horno a una temperatura ambiente para luego someterla a una temperatura de 870 °C durante un periodo de tiempo de 30 minutos.



Figura 94. Biela dentro del horno a temperatura ambiente.

Una vez cumplidos los 30 minutos dentro del horno se procede a enfriar a la biela rápidamente en aceite en este caso se utilizó un aceite SAE 40.



Figura 95. Templado de la biela en lubricante.

4.4.2. Revenido

Posterior al tratamiento térmico de templado se procede a ingresar nuevamente la biela mecanizada en el horno hasta alcanzar una temperatura de 200 °C durante 120 minutos, para luego enfriarlo a temperatura ambiente con solo con la apertura de la puerta del horno.



Figura 96. Biela dentro del horno a 200°C

Al finalizar el tratamiento térmico se realiza un ensayo de dureza sobre la biela manufacturada y de esta manera realizar la comparación entre el acero de fábrica y el acero seleccionado los valores se detallan en la tabla.

Tabla 14.

Comparación de la dureza posterior al tratamiento térmico de los aceros AISI 4130 Y AISI 4140

Acero de fábrica AISI 4130	Acero seleccionado AISI 4140	
Ensayo de Dureza aplicado en la biela RHC	Previo al tratamiento térmico RHC	Posterior al tratamiento térmico RHC
58	28	57

4.5. Peso de la biela

Para conocer el peso de la biela de fábrica y de la biela manufacturada se utiliza una balanza la cual nos indica que el peso de la biela manufacturada es de 0.42 kg y que el peso de la biela de fábrica es de 0.42kg determinando que tenemos el mismo peso en las dos bielas, es decir que los tratamientos térmicos realizados en la biela no interfieren en el peso de la biela manufacturada.

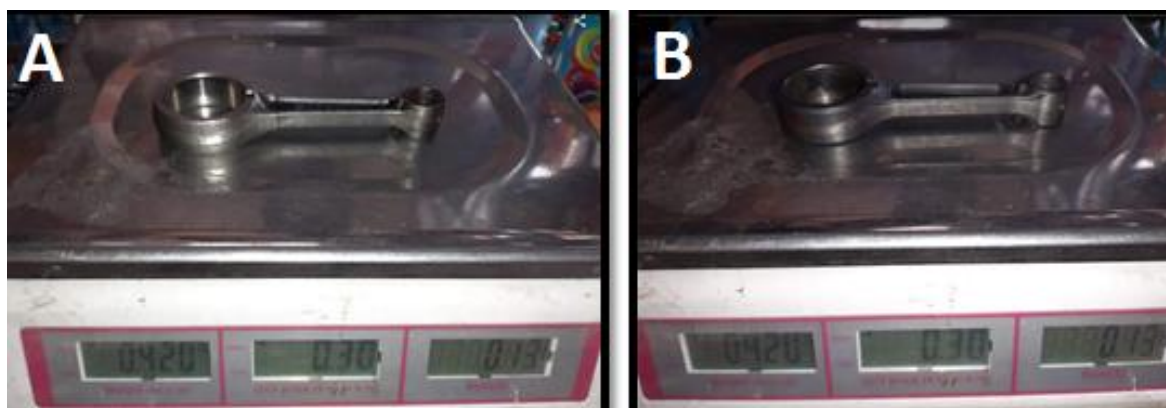


Figura 97. Pesos A: Biela de fábrica, B: Biela manufactura

4.6. Protocolo de pruebas dinamométricas de la motocicleta

Esta prueba dinamométrica se realiza con el fin de determinar la cantidad de potencia generada en caballos de fuerza (HP) y el torque generado por el motor de la motocicleta funcionando con la biela de fábrica, así como también con la biela manufacturada para analizar los resultados y comparar el desempeño entre ambas.

El dinamómetro está conectado a rodillos en el suelo movidos por las ruedas del vehículo simulando transitar normalmente, los cuales están conectados a sensores que miden la fuerza, potencia, torque y las rpm que el motor entrega a determinada velocidad.

Esta prueba se la realizó en el taller de preparación de vehículos de competencia Dinamyca Competición con un dinamómetro marca Dyno-Max PRO bajo la supervisión de los técnicos responsables del dinamómetro.

La motocicleta debe ser anclada de tal manera que la rueda trasera, la cual transfiere la potencia del motor, se ubique sobre el rodillo con la finalidad de que sea movida por la tracción generada por la motocicleta.

Previo a realizar la prueba se requiere que el motor tenga la temperatura normal de funcionamiento, para ello se debe mantener en ralentí por un tiempo promedio de 10 minutos.



Figura 98. Anclaje de la motocicleta Shineray XY al dinamómetro

Se procede a realizar la prueba donde la motocicleta mueve los rodillos, la prueba empieza partiendo de las 2000 rpm hasta que alcance las 7000 u 8000 rpm, en nuestro caso en segunda marcha.

Los resultados de potencia y torque máximos se visualizan en la pantalla mediante las señales receptadas por el dinamómetro gracias a la configuración del software



Figura 99. Prueba dinamométrica

4.6.1. Pruebas de potencia y torque utilizando la biela de fábrica en la motocicleta Shineray XY 150cc.

Las curvas generadas durante la prueba dinamométrica con la biela de fábrica, la curva de potencia se la aprecia de color rojo y la curva de torque de color amarillo, la potencia máxima obtenida fue de **9.106 HP @ 5150 rpm** como se ve en el punto A, en el punto B se aprecia el torque máximo que resultó de **9.6 Lb.in @ 4600 rpm** y en la línea C la mayor eficiencia de **8.4 HP / 9.6 Lb.in @ 4600 rpm**.

A continuación, se visualiza las curvas generadas durante la prueba con la biela de fábrica.

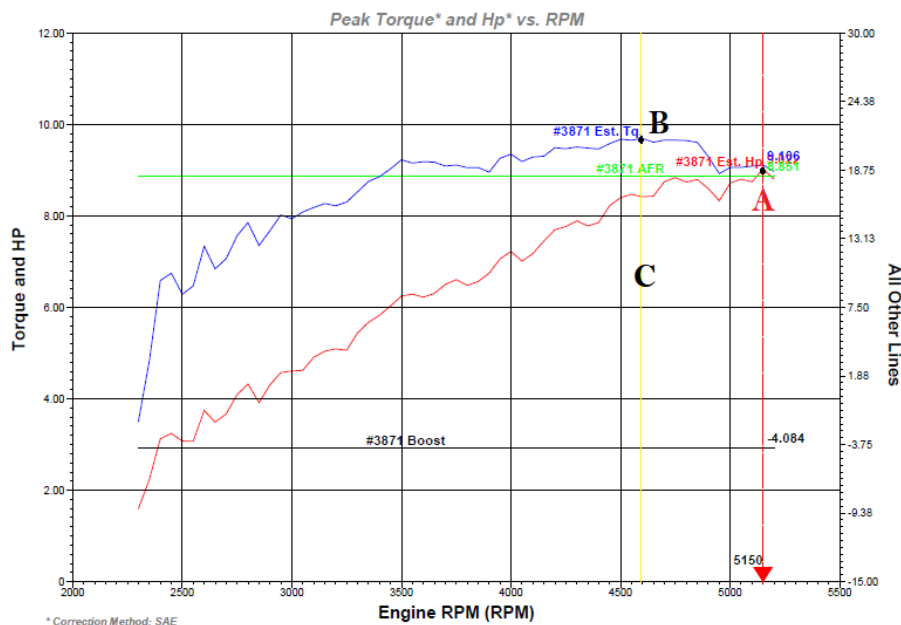


Figura 100. Gráfica de potencia y torque de la biela de fábrica

4.6.2. Pruebas de potencia y torque utilizando la biela manufacturada para la motocicleta Shineray XY 150cc.

En la figura se observa las curvas generadas durante la prueba con la biela de acero AISI 4140, la potencia máxima obtenida fue de **11.73 HP @ 7150 rpm** como se ve en el punto A, en el punto B se aprecia el torque máximo que resultó de **9.10 Lb.in @ 5600 rpm**; obteniendo la mayor eficiencia en el punto A con **11.73 HP / 8.662 Lb.in @ 7150 rpm**.

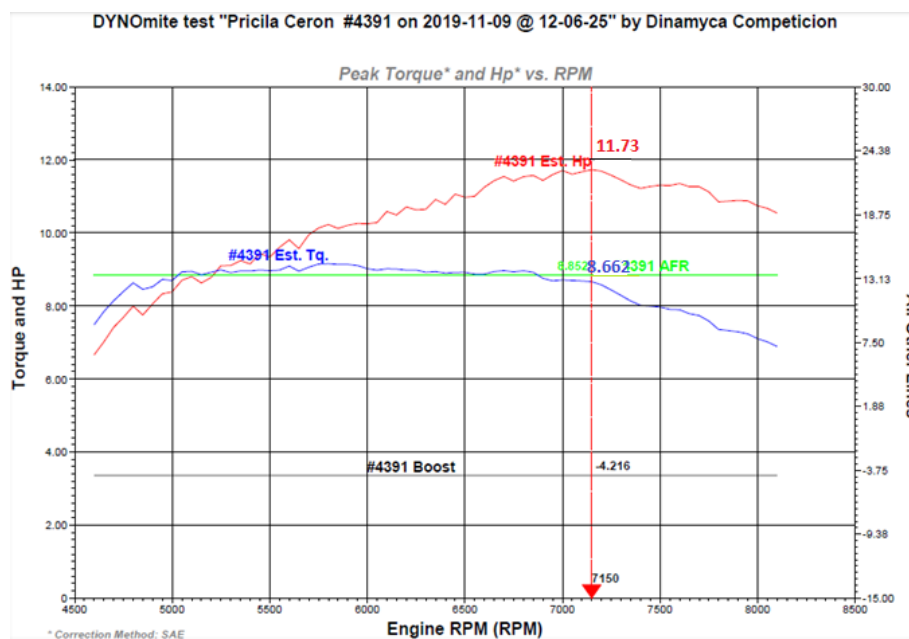


Figura 101. Gráfica de potencia y torque para biela manufacturada.

Al comparar el comportamiento de ambas bielas, se observa una notable mejoría con la biela manufacturada en acero AISI 4140, ya que la potencia máxima obtenida con la biela de fábrica es de 9.022 HP @ 5150 rpm; mientras que con la biela manufacturada es de 11.73 HP @ 7150 rpm. Se evidencia un incremento de 2.70 HP, que representa una mejora del 23.08 % con respecto a la biela de fábrica.

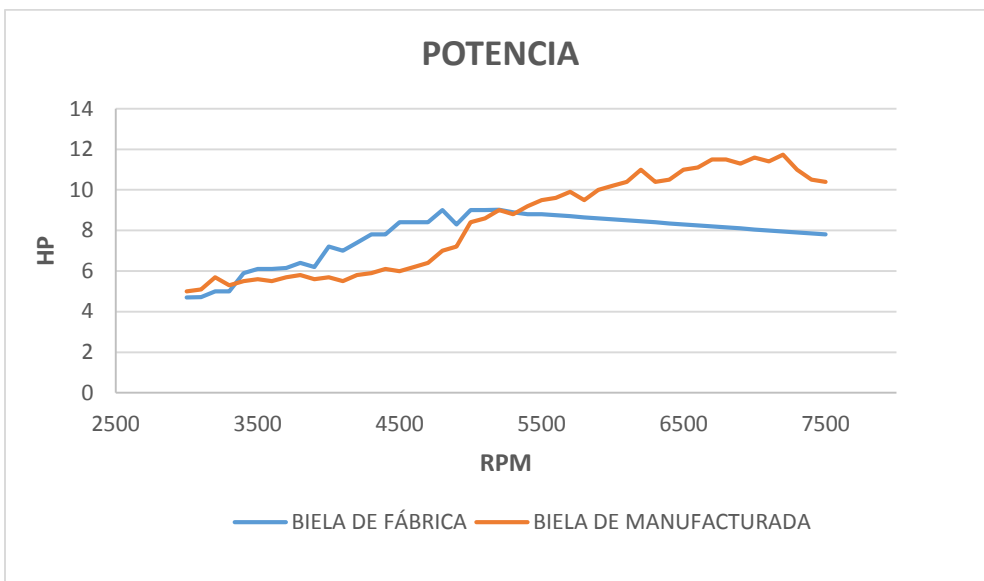


Figura 102. Gráfica comparativa de las curvas de potencia entre la biela de fábrica y la biela manufacturada

En referencia al torque, se evidencia que la biela de fábrica presenta valor máximo de 9,21 Lb.in @ 4600 rpm; mientras que con la biela manufacturada se obtuvo un torque máximo de 9.10 Lb.in @ 5600 rpm. Se evidencia un descenso en torque de 0.11 Lb in, que representa una disminución del 1.19 % con respecto a la biela de fábrica.

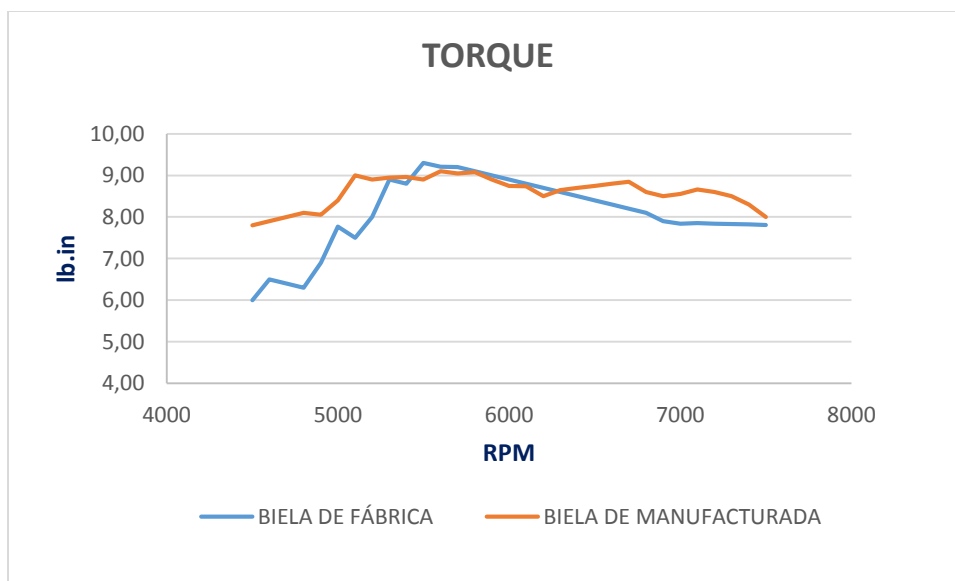


Figura 103. Gráfica comparativa de las curvas del torque entre la biela de fábrica y la biela manufacturada

Se concluye de acuerdo a los datos obtenidos, que se evidencia una mejora del rendimiento del motor de combustión interna ya que permite una mejor eficiencia del motor, la biela elaborada nos presenta un aumento del 23,08 % en potencia y un leve descenso del 1,19 % referente al torque, cuyo descenso es mínimo el cual no afecta en las prestaciones de la biela y del motor en sí.

4.6.3. Viabilidad de la biela manufacturada en acero AISI 4140

Posterior a las pruebas dinamométricas se realizó un análisis del comportamiento de la biela dentro del motor durante su ciclo de trabajo



Figura 104. Biela manufacturada montada en el motor de combustión interna de la motocicleta Shineray XY 150cc.

De acuerdo a las especificaciones técnicas del manual de usuario de la motocicleta Shineray XY, se recomienda que posterior a una reparación de motor se realice el cambio de aceite de motor a los 500km considerando esta distancia como referencia de prueba para determinar el comportamiento de la biela dentro del motor de combustión interna.

La ruta de prueba seleccionada fue en la cual se evaluó el desempeño del motor con la biela manufacturada, gracias a las irregularidades de la carretera.

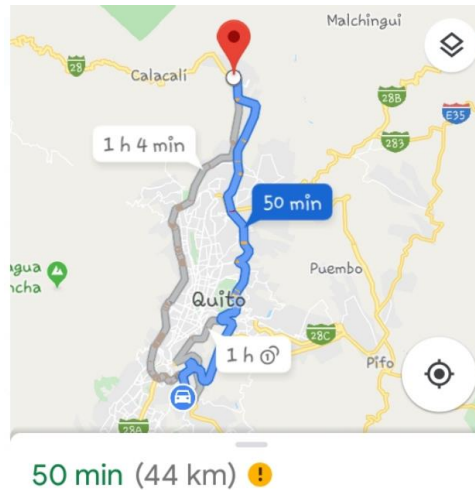


Figura 105. Prueba de ruta realizadas con la motocicleta.

Concluidos los 500km de recorrido, se procede a desmontar la biela del motor para observar su estado y realizar un análisis comparativo.

Primordialmente se realiza un análisis de los soportes de conexión de la biela con el pistón y de la biela con el cigüeñal.

El manual de fallas MAHLE establece que la mayor parte del desgaste normal de un pasador y el alojamiento del mismo ocurre en la puesta en marcha del motor o en el inicio de la operación, luego el desgaste continuará, pero con un ritmo reducido. En la imagen se observa el desgaste normal del pasador del cigüeñal conjuntamente en la parte interna de la biela de fábrica.

De acuerdo al manual de fallas de MAHLE se considera desgaste normal a la pequeña cantidad de rayas en la superficie del eje y su alojamiento, las cuales son provocadas por partículas extrañas no retenidas por el filtro. Así mismo estas rayas no representan problemas, mientras la aleación base no sea alcanzada, siendo que, con la operación continúa, puede ocurrir que desaparezcan las rayas antes mencionadas.



Figura 106. Pasador y Canastilla del cigüeñal



Figura 107. Bulón del pistón

En la sección de la cabeza de la biela se observa un desgaste normal producido por la puesta en marcha del motor de combustión interna



Figura 108. A. Estado de la cabeza de biela de fábrica,
B: Estado de la cabeza de biela en acero AISI4140

En la sección del pie de biela se observa gripaje el cual según el manual de fallas de MAHLE se produce por la presencia de partículas extrañas impregnadas en la aleación antifricción provocando el desplazamiento del material, esto se debe al acabado superficial provocado por los tratamientos térmicos realizados en la biela manufactura, donde a pesar del bruñido realizado en el pie de la biela no se logró desprender todas estas partículas debido a la falta de tolerancia en esta sección.

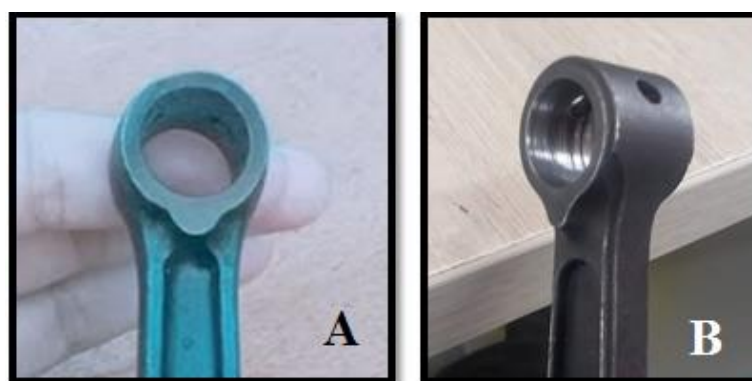


Figura 109. A. Estado del pie de biela de fábrica,
B: Estado del pie de biela en acero AISI4140

Visualmente se descarta una ruptura de la biela manufacturada sin embargo es necesario descartar si la biela esta torcida o deformada.



Figura 110. Máquina de comprobación de brazos de biela marca Sunnen

Utilizamos una máquina diseñada para comprobar brazos de biela Marca Sunnen, mediante un calibrador de láminas se verifica que exista planitud en cada sección de la biela con una referencia de 0.02 mm de separación.

En la imagen se muestra la ubicación de la biela manufacturada en la máquina y de un soporte ubicado a 90° entre la máquina y la biela, para determinar que la separación existente no supere o sea inferior a la medida de referencia.

Una vez realizado estas mediciones en las caras de la biela manufacturada se descarta una deformación en la biela manufacturada debido a que el valor de referencia se mantiene en todas sus caras.

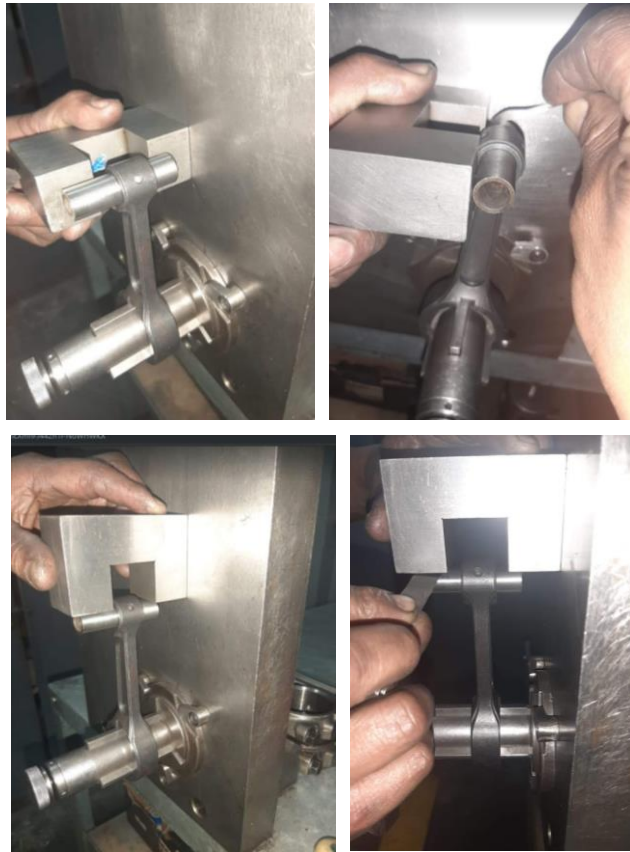


Figura 111. Verificación de la planitud de la biela manufacturada en acero AISI 4140

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Del análisis micro estructural se pudo determinar que el acero utilizado en la biela de fábrica de la motocicleta Shineray XY 150cc, presenta una microestructura constituida por hierro al 98.58%, cromo al 0.77%, manganeso al 0.48% y molibdeno al 0.164%, según la librería de materiales del equipo del Centro de Fomento Carrocero de la ciudad de Ambato se designa al material como un acero AISI 4130.
- Gracias al ensayo de tracción se determinó que el punto de fractura de la biela manufacturada se presenta a los $94.91 \frac{kg}{mm^2}$, y de la biela de fábrica a los $85,23 \frac{kg}{mm^2}$, donde se aprecia un incremento a la resistencia a la fractura del 10,19% en la biela manufacturada.
- Mediante el análisis por elementos finitos se determinó un factor de seguridad de 1.125, cuyo valor está dentro de los rangos mínimos, para que el elemento no presente deformaciones, debido a que el software no considera los factores de lubricación y enfriamiento que contribuyen al aumento del factor de seguridad.
- En el análisis por elementos finitos se obtuvo que la presión de contacto máxima en un solo punto ubicado en la parte inferior de la biela es de 560.73

MPa, lo cual producirá un fenómeno llamado deformación diametral lo que evita el gripado entre la biela y el bulón, gracias a este análisis se determinó que el gripado existente en el pie de biela no fue causando por fallas en el diseño sino por presencia de partículas extrañas entre los dos elementos.

- De acuerdo al valor del esfuerzo equivalente calculado de Von Mises es de 109699.77 MPa para que se presente un fallo, con respecto al calculado por el software que se obtuvo un valor máximo de 575.8 MPa, este es considerablemente pequeño por lo que se concluye que no existirá fallo plástico.
- Se realizó la manufactura de la biela a partir de un eje de acero AISI 4140 en una máquina CNC, mediante la ejecución de los procesos de manufactura controlados por líneas de comando generados y simulado por el software CAM.
- Mediante los ensayos realizados en la biela de fábrica se determinó que la dureza es de 58HRC, para lo cual era necesario someter a la biela manufacturada en acero AISI 4140 a tratamientos térmicos para equiparar los valores de la biela de fábrica, obteniendo un valor de dureza de 57HRC.
- Al realizar las pruebas dinamométricas en la motocicleta con la biela manufacturada se obtuvo una notable mejoría de potencia, se evidencio un incremento de 2.70 HP lo cual representa un 23.08 % de eficiencia respecto a la biela de fábrica.
- El proyecto se realizó en base a la viabilidad tecnológica y de recursos existentes en nuestro país, ya que después de realizar los ensayos metalográficos se determinó que el acero AISI 4140 cumple con las características de la biela de fábrica elaborada en acero AISI 4130.

5.2. Recomendaciones

- Es necesario ingresar la mayor cantidad de información acerca del material seleccionado en el Software CAE para obtener resultados más reales.
- En la simulación por elementos finitos al momento de producir la malla se debe considerar que existe un cálculo adicional para determinar el número de subdivisiones, por ello trabajamos con los valores óptimos que considera el software.
- Para mecanizar la biela es necesario realizar una vista previa del proceso de construcción en el software para evitar algún error en el proceso real.
- Se debe considerar una tolerancia mayor a la establecida en el diseño de biela, para poder realizar un acabado superficial posterior al tratamiento térmico sin afectar al desempeño de la biela en el motor de combustión interna.
- Para determinar el tratamiento térmico ideal se debe tomar en cuenta las propiedades del acero seleccionado y verificar en la ficha técnica los tratamientos adecuados según el objeto de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceros Otero. (2019). *Barras de acero aleado*. Retrieved Octubre 20, 2019, from http://www.acerosotero.cl/pdf/fichas/acero_carbono_sae4140.pdf
- ASTM International. (2014). Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials. *American Association State Highway and Transportation Officials Standard. E10-15*, 1-32. Retrieved Octubre 15, 2019, from <https://vostok-7.ru/upload/iblock/baa/baa379b91cdeedceebfdb9e2f575315b.pdf>
- Blogspot. (2012, Noviembre 30). *Motores de combustión interna en automoción (Parte VIII)*. Retrieved Septiembre 15, 2019, from El automóvil al desnudo: http://jeroitim.blogspot.com/2012/11/motores-de-combustion-interna-en_30.html
- Bohman, I. (2016, Febrero 07). *Aceros bonificados para maquinaria*. Retrieved Septiembre 30, 2019, from Aceros: <http://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2016/02/709.pdf>
- Colombo. (2018, Marzo 09). *SHINERAY XY 150 MAX FIRE*. Retrieved Agosto 09, 2019, from Colombo Motors: <https://www.colombomotors.com.br/?carregar=motos&detalhar=153&termo=XY>
- Consultacton Inc. (2016). *AISI 4130 barra redonda del surtidor, exportador*. Retrieved Octubre 25, 2019, from Consultacton Inc: <http://www.aadinathmetal.com/aisi-4130-uns-g41300-alloy-steel-round-bar-supplier-exporter.html>
- Crouse, W. H. (1996). *Motores de automóvil. Construcción, funcionamiento y mantenimiento*. Barcelona: Alfaomega.

- D+S Diagnóstico y Soluciones. (2018). *CAD - Diseño Asistido por Computadora*. (Ingeniería y Desarrollo) Retrieved Octubre 31, 2019, from <https://www.diagnosticoysoluciones.com/ingydes.php>
- Diseño de fórmula 1. (2015, Junio 29). *Diseño de un motor de combustión interna alternativo MCIA*. Retrieved Septiembre 20, 2019, from Diseño de fórmula 1: <https://jasf1961.wordpress.com/tag/piston/>
- Foreca. (2018, 12 20). *Tiempo y temperatura*. Retrieved Agosto 12, 2019, from <http://tiempoytemperatura.es/ecuador/ambato.html#por-horas>
- Ingemecánica. (2018, Marzo 10). *La potencia y el par motor, estudio de la cadena cinemática, estabilidad en los vehículos*. Retrieved Septiembre 10, 2019, from Ingemecánica. Ingeniería, Consultoría y Formación: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn63.html>
- Jóvaj, M. S. (1982). *Motores de automóvil*. Editorial Mir.
- Latam Autos. (2018, Enero 30). *Torque y Potencia de un motor. ¿Sabes realmente lo que son?* Retrieved Septiembre 05, 2019, from Todo Autos: <http://www.todoautos.com.pe/portal/auto/mecanica/1808-torque-y-potencia-de-un-motor-isabes-realmente-lo-que-son>
- Mena Rodríguez, M. A. (2014, Septiembre). *Estudio y análisis teórico - práctico del comportamiento de un motor suzuki G10 previo y posterior a su trucaje*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL. Retrieved Agosto 13, 2019, from <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8963/1/T-ESPEL-MAI-0484.pdf>
- Metropolitan Autonomous University. (2017). *Un resumen de la Ingeniería Asistida por Computador*. Retrieved Octubre 25, 2019, from

<https://www.coursehero.com/file/34260831/Un-resumen-de-la-Ingenier%C3%ADa-Asistida-por-Computadoradocx/>

Racecar. (2016, Marzo 2016). *Selección de los pistones de un motor*. Retrieved Septiembre 01, 2019, from Racecar Academy: <http://www.racecaracademy.com/seleccion-de-los-pistones-de-un-motor/>

SHINERAY. (2015, Mayo 5). *Ficha técnica*. Retrieved Agosto 15, 2019, from SHINERAY MOTOS: <http://shineraymotos.livreforum.com/t13-ficha-tecnica>

ANEXOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. **CERÓN FUENTES PRISCILA LISSETH** y el Sr. **HINOJOSA INAPANTA BRYAN ARMANDO**.

En la ciudad de Latacunga a los 13 días del mes de diciembre de 2019.

Aprobado por:

Ing. Mena Stalin

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE LA CARRERA

Dr. Darwin Albán Yáñez

SECRETARIO ACADÉMICO