



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL, DISEÑO DEL
CIGÜEÑAL Y LA BIELA DE UNA MOTOCICLETA DE 4
TIEMPOS – DESAGREGACIÓN TECNOLÓGICA”**

**CHÁVEZ PUCHA HÉCTOR VLADIMIR
GAVILANES CARRILLO JÉSSICA SILVANA**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2015-01-20

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

CHÁVEZ PUCHA HÉCTOR VLADIMIR
GAVILANES CARRILLO JÉSSICA SILVANA

Titulada:

“ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL, DISEÑO DEL CIGÜEÑAL Y LA BIELA
DE UNA MOTOCICLETA DE 4 TIEMPOS – DESAGREGACIÓN
TECNOLÓGICA”

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Maro Santillán Gallegos
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Bolívar Cuaical Angulo
DIRECTOR

Ing. César Morales Villacres
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CHÁVEZ PUCHA HÉCTOR VLADIMIR

TÍTULO DE LA TESIS: “ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL, DISEÑO DEL CIGÜEÑAL Y LA BIELA DE UNA MOTOCICLETA DE 4 TIEMPOS – DESAGREGACIÓN TECNOLÓGICA”

Fecha de Examinación: 2016-05-25

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Celin Padilla Padilla PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Bolívar Cuaical Angulo DIRECTOR DE TESIS			
Ing. César Morales Villacres ASESOR DE TESIS			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Celin Padilla Padilla
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GAVILANES CARRILLO JÉSSICA SILVANA

TÍTULO DE LA TESIS: “ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL, DISEÑO DEL CIGÜEÑAL Y LA BIELA DE UNA MOTOCICLETA DE 4 TIEMPOS – DESAGREGACIÓN TECNOLÓGICA”

Fecha de Examinación: 2016-05-25

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Celin Padilla Padilla PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Bolívar Cuaical Angulo DIRECTOR DE TESIS			
Ing. César Morales Villacres ASESOR DE TESIS			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Celin Padilla
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos–científicos y los resultados son exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Chávez Pucha Héctor Vladimir

Gavilanes Carrillo Jéssica Silvana

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Chávez Pucha Héctor Vladimir y Gavilanes Carrillo Jéssica Silvana, declaramos que el presente trabajo de grado es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Chávez Pucha Héctor Vladimir
Cédula de Identidad: 060356698-5

Gavilanes Carrillo Jéssica Silvana
Cédula de Identidad: 060519205-3

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado está dedicado a mi padre Héctor Chávez, a mi madre Gladys Pucha y a mi hermana Katherine; quienes han sido los pilares más importantes, quienes me han apoyado hasta conseguir llegar a una meta más en esta vida y gracias a sus consejos ser una mejor persona.

A mi hija Emily Chávez quien ha sido mi compañía y apoyo más grande para levantarme y salir adelante en cada día, venciendo cada obstáculo que se ha puesto en mi camino.

Héctor Vladimir Chávez Pucha

Dedico este trabajo a mi madre Martha Carrillo y a mi padres Luis Gavilanes por ser el pilar fundamental de mi vida, y la razón principal para salir adelante.

A mis hermanas y hermanos, Daniel, Verónica, Luis, Rolando, Ximena y Viviana porque todos han aportado con un granito de arena para poder cumplir esta meta.

Jéssica Silvana Gavilanes Carrillo

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios por darme la fe y fuerza para caminar siempre hacia adelante sin retroceder, por estar presente en cada aspecto de mi vida ayudándome cuando más lo necesitaba y dándome la salud para vivir cada día una nueva experiencia.

Agradezco a mis papas y a mi hermana quienes me han apoyado sin ninguna restricción, que me han brindado las fuerzas necesarias para no rendirme y gracias a sus palabras y consejos los cuales los llevare siempre para los desafíos que se me presenten en el vivir de cada día.

A mi director y asesor de tesis por apoyarnos en la realización de este proyecto.

Héctor Vladimir Chávez Pucha

Agradezco a Dios por todos los retos que ha puesto en mi camino porque me ha hecho ser más fuerte y humilde y por todos los momentos especiales porque me ha dado la fuerza y esperanza para salir adelante. Sobre todo le agradezco por regalarme a esos dos hermosos seres a quienes llamo mamá y papá.

A mi madre y a mi padre por brindarme su apoyo incondicional y su amor constante. Porque cada día me dan un motivo más para seguir a delante.

A mi compañero de tesis Héctor Chávez por ser un gran amigo, y apoyarme siempre.

A mi director y asesor de tesis por su gran apoyo para la realización de este proyecto.

Jéssica Silvana Gavilanes Carrillo

CONTENIDO

Pág.

1.	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación	1
1.3	Objetivos	2
1.3.1	Objetivo general.	2
1.3.2	Objetivos específicos:	2
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	Motor de combustión interna	3
2.1.1	<i>Ciclos del motor de combustión interna</i>	3
2.1.2	<i>Partes del motor</i>	5
2.2	Cigüeñal	6
2.2.1	<i>Generalidades del cigüeñal</i>	6
2.2.2	<i>Partes del cigüeñal</i>	6
2.2.3	<i>Consideraciones generales para el diseño del cigüeñal</i>	7
2.2.4	<i>Materiales de construcción del cigüeñal</i>	8
2.3	Biela	9
2.3.1	<i>Generalidades de la biela</i>	9
2.3.2	<i>Partes de la biela</i>	10
2.3.3	<i>Biela enteriza</i>	13
2.3.4	<i>Consideraciones generales para el diseño de la biela</i>	13
2.3.5	<i>Materiales de construcción de la biela</i>	13
2.4	Principio de funcionamiento del conjunto cigüeñal – biela	14
2.5	Cálculos del mecanismo biela – manivela	15
2.5.1	<i>Ciclo Otto</i>	15
2.5.2	<i>Cálculo termodinámico</i>	16
3.	CARACTERIZACIÓN DEL CIGÜEÑAL Y BIELA	
3.1	Preparación de las probetas	20
3.1.1	<i>Preparación de la probeta para el análisis micro-estructural</i>	20
3.1.2	<i>Preparación de la probeta para la prueba de dureza del metal</i>	27
3.1.3	<i>Preparación de la probeta para las pruebas de espectrometría</i>	28
3.2	Recopilación de datos de las pruebas	29
3.2.1	<i>Recopilación de datos de las pruebas de la contrapesa del Cigüeñal</i>	30
3.2.2	<i>Recopilación de datos de las pruebas del eje del cigüeñal</i>	32
3.2.3	<i>Recopilación de datos de las pruebas de la biela</i>	35
3.2.4	<i>Recopilación de datos de las pruebas de la muñequilla del cigüeñal</i>	37
3.3	Análisis de resultados	38
3.3.1	<i>Análisis de resultados de la contrapesa del cigüeñal</i>	38
3.3.2	<i>Análisis de resultados del eje del cigüeñal</i>	40
3.3.3	<i>Análisis de resultados de la biela</i>	41
3.3.4	<i>Muñequilla del cigüeñal</i>	43
4.	CÁLCULOS TERMODINÁMICOS Y DINÁMICOS DEL CONJUNTO CIGÜEÑAL – BIELA	

4.1	Cálculos termodinámicos de conjunto cigüeñal – biela.....	45
4.1.1	<i>Análisis termodinámico del ciclo Otto</i>	45
4.1.2	<i>Análisis termodinámico del ciclo real</i>	50
4.2	Cálculos dinámicos del conjunto cigüeñal – biela.....	53
4.2.1	<i>Cálculos de la fuerza en función del tiempo</i>	53
5.	MODELACIÓN Y DISEÑO DEL CONJUNTO CIGÜEÑAL – BIELA	
5.1	Modelación de las piezas del conjunto cigüeñal – biela.	54
5.1.1	<i>Modelación del cigüeñal</i>	54
5.2	Ensamblaje de piezas del conjunto cigüeñal – biela mediante software.	61
5.3	Análisis de esfuerzo del conjunto cigüeñal - biela por Elementos Finitos mediante software	62
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones	69
6.2	Recomendaciones	70

BIBLIOGRAFÍA
PLANOS

LISTAS DE TABLAS

1	Dimensiones relativas del cigüeñal	8
2	Materiales Forjados	9
3	Dureza de la contrapesa	31
4	Resultados de la espectrometría de la contrapesa.....	31
5	Dureza del eje del cigüeñal (parte central)	33
6	Dureza del eje del cigüeñal (borde).	33
7	Resultados de la espectrometría del eje del cigüeñal.	34
8	Composición química del acero 1050	34
9	Propiedades del acero AISI 1050	34
10	Dureza de la Biela.....	36
11	Espectrometría de la Biela	36
12	Dureza de la muñequilla del cigüeñal	37
13	Datos de la espectrometría de la muñequilla del cigüeñal.....	37
14	Composición química del acero AISI 5120.....	38
15	Propiedades del acero AISI 5120	38
16	Composición química del acero AISI 1050 y de la contrapesa del cigüeñal ...	39
17	Composición química del acero AISI 1050 y del eje del cigüeñal.....	41
18	Composición química del acero AISI 5120 y de la biela	42
19	Composición química del acero AISI 5120 y de la muñequilla.....	43
20	Calores específicos y constante de gases a baja presión	47
21	Fuerza en función del tiempo	53

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Motor de 2 tiempos 3
2	Motor de 4 tiempos 4
3	Partes del cigüeñal de una motocicleta 6
4	Partes de una biela 10
5	Bulón fijo 11
6	Bulón semi – flotante 11
7	Bulón flotante 12
8	Sistema biela manivela 14
9	Ciclo Otto 15
10	Máquina de corte 20
11	Disco de corte 21
12	Colocación del elemento 21
13	Corte de la probeta 21
14	Mesa de desbaste 22
15	Lija 22
16	Desbaste de la probeta 23
17	Pulidora 23
18	Alúmina 24
19	Tela de billar para pulido 24
20	Pulido de la probeta 24
21	Químico para el ataque (Nital) 25
22	Alcohol 25
23	Pipeta 26
24	Ataque químico de la probeta 26
25	Contra ataque de la probeta 26
26	Durómetro 27
27	Pruebas de dureza 27
28	Máquina de corte 28
29	Corte de la probeta 28
30	Pulidora 29
31	Espectrómetro 29
32	Microestructura de la superficie transversal de la contrapesa a 100x 30
33	Microestructura de la superficie transversal de la contrapesa a 200x 30
34	Microestructura de la superficie transversal de la contrapesa a 500x 30
35	Microestructura de la superficie exterior de la contrapesa a 500x 31
36	Microestructura eje del cigüeñal a 200x 32
37	Microestructura del eje del cigüeñal a 500x 32
38	Microestructura del eje del cigüeñal a 500x con mayor tiempo de reacción 32
39	Microestructura del eje del cigüeñal resaltando el cambio de fases 33

40	Microestructura del borde del eje del cigüeñal a 500x	33
41	Microestructura de la biela superficie transversal 500x	35
42	Microestructura de la biela superficie exterior a 500x	35
43	Microestructura cabeza de biela corte transversal a 200x	35
44	Microestructura cabeza de biela corte transversal a 500x	36
45	Microestructura de la muñequilla del cigüeñal.....	37
46	Microestructura de la contrapesa.....	39
47	Microestructura del acero AISI 1050	39
48	Microestructura del eje del cigüeñal a 500x con mayor tiempo de reacción .	40
49	Microestructura del acero AISI 1050.	40
50	Microestructura de la biela	41
51	Microestructura del acero AISI 5120	42
52	Microestructura de la biela	43
53	Microestructura del acero AISI 5120	43
54	Vista isométrica de la contrapesa uno del cigüeñal	54
55	Vista lateral de la contrapesa uno del cigüeñal.....	55
56	Vista frontal de la contrapesa uno del cigüeñal	55
57	Vista posterior de la contrapesa uno del cigüeñal	55
58	Vista en corte de la contrapesa uno del cigüeñal.....	56
59	Vista lateral de la contrapesa dos del cigüeñal	56
60	Vista frontal de la contrapesa dos del cigüeñal	56
61	Vista posterior de la contrapesa dos del cigüeñal.....	57
62	Vista en corte de la contrapesa dos del cigüeñal	57
63	Vista isométrica de la contrapesa dos del cigüeñal	57
64	Vista isométrica de la biela.....	58
65	Vista frontal de la biela.....	58
66	Vista lateral de la biela	59
67	Vista en corte de la biela.....	59
68	Vista isométrica de la muñequilla del cigüeñal	60
69	Vista superior de la muñequilla del cigüeñal.....	60
70	Vista frontal de la muñequilla del cigüeñal	60
71	Vista en corte de la muñequilla del cigüeñal	60
72	Agujero 3 de lubricación de la muñequilla del cigüeñal	61
73	Ensamble del conjunto cigüeñal - biela.....	61
74	Despiece de conjunto cigüeñal - biela	62
75	Creación del acero AISI 1050	63
76	Creación del acero AISI 5120	63
77	Fuerzas aplicadas en la cabeza del pistón.....	64
78	Mallado del conjunto cigüeñal – biela.....	64
79	Deformación total del conjunto cigüeñal – biela, vista isométrica.....	65
80	Deformación total del conjunto cigüeñal – biela, vista lateral.	65
81	Deformación total de la muñequilla.	66
82	Esfuerzo máximo del conjunto cigüeñal – biela, vista isométrica.	66
83	Esfuerzo máximo del conjunto cigüeñal – biela, vista lateral.	67

84	Esfuerzo máximo de la muñequilla, vista lateral.....	67
85	Coefficiente de seguridad del conjunto cigüeñal – biela, vista isométrica	68
86	Coefficiente de seguridad del conjunto cigüeñal – biela, vista lateral.....	68

SIMBOLOGÍA

Fme	Fuerza media efectiva	N
Hi	Poder calorífico inferior	J/kg
K	Relación de calores específicos	
l	Carrera del pistón	mm
L	Longitud de la contrapesa	mm
ma	Masa de aire	kg
mc	Masa de combustible	kg
mt	Masa teórica	kg
N	Número de revoluciones	
Ne	Potencia efectiva	kW
Nin	Potencia indicada	kW
Nt	Potencia efectiva	kW
Pme	Presión media efectiva	MPa
PMI	Punto Muerto inferior	
PMS	Punto Muerto Superior	
Qt	Calor entregado al fluido por ciclo	
R	Constante de los gases	
T	Temperatura	°C
V	Cilindrada total	mm ³
V1	volumen total	mm ³
V2	Volumen de la cámara de combustión	mm ³
Vp	Cilindrada parcial	mm ³
Wt	Trabajo teórico por ciclo	J
Z	Tiempos del motor	
η	Rendimiento Indicado	
τ	Relación de combustión a volumen constante	
φ	Relación de compresión	

RESUMEN

Este proyecto se encaminó al estudio, diseño y caracterización del cigüeñal y la biela de una motocicleta con motor de cuatro tiempos y 125 centímetros cúbicos. Se realizaron pruebas de microestructura, dureza, y espectrometría de la biela, cigüeñal, muñequilla, además se diseñó cada elemento en el software SolidWorks y se analizó los esfuerzos a los que está sometido el conjunto cigüeñal – biela mediante un software de métodos de elementos finitos como es Ansys. Estas pruebas generaron la caracterización de la biela, cigüeñal y muñequilla, con lo que se especificó el material de cada uno los elementos.

Los resultados obtenidos de las pruebas del material que está conformado el conjunto cigüeñal – biela son los aceros AISI 5120 y AISI 1050, dichos materiales no existen en el país debido a que son aceros fabricados específicamente para el diseño y construcción de ejes, cigüeñales y bielas, por lo que se recomienda utilizar el acero AISI 1045 y el acero AISI 304 debido a que sus propiedades mecánicas y químicas son similares.

En el cálculo termodinámico se determinó que: la fuerza mínima es de 257,71 N, fuerza máxima es de 16 128,23 N y la fuerza media efectiva es de 6 402,01 N. Con estas fuerzas se trabajó para la obtención del esfuerzo máximo y mínimo siendo estas de $1,10 \times 10^8$ Pa y 57,69 Pa respectivamente, con un coeficiente de seguridad máximo de 15 y mínimo de 3,36.

Con los resultados obtenidos, se aportará para una futura producción nacional y disminución de importación de bielas, cigüeñales y muñequillas, para una motocicleta de 4 tiempos y 125 centímetros cúbicos.

ABSTRACT

This project is aimed to study, design and characterization of the crankshaft and connecting rod of a motorcycle with four-stroke engine and 125 cubic centimeters. Microstructure, hardness and spectrometry Tests of connecting rod, crankshaft and crankpin were performed each element was designed in Solidworks software, as well as, the crankshaft- connecting rod set is subjected to more strain was analyzed using a finite element methods software like Ansys. These tests generated the connecting rod, crankshaft and crank pin characterization; where by the material of each of the elements was specified.

The obtain results of testing of the materials of crank- connecting rod set are the AISI 5120 and AISI 1050 steels. There is not this kind of materials in our country because these steels are manufactured specifically for the design and construction of shats, crankshafts and connecting rods, so we recommend using AISI 1045 and AISI 304 steels, because their mechanical and chemical properties are similar.

In the thermodynamic calculation was determined that: the minimum force is 257,71 N, the maximum force is 16 128,23 N and the average force is 6 402, 01 N. With these forces, we can obtain the maximum and minimum effort being $1,10 \times 10^8$ and 57,69 Pa respectively, with and maximum safety coefficient of 15 and minimum safety coefficient of 3,36.

With the results, it will provide for future domestic production and the decrease in import of connecting rods, crankshafts and crankpins for a four – stroke motorcycle and 125 cubic centimeters.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Debido al crecimiento de la población y el parque automotor se ha generado mayor congestión vehicular dentro de la ciudad, por lo que se ha creado nuevos medios de transportes como es la motocicleta, que facilitan al usuario a trasladarse de un lugar a otro en especial a lugares pequeños y de difícil acceso.

Dentro del país se ensamblan motocicletas pero no se construyen, ya que no existen fábricas que produzcan partes y piezas de motocicletas, debido a varias razones como falta de recursos económicos, falta de conocimiento, entre otros. Con la implementación de la nueva matriz productiva se realizan estudios para diseñar y fabricar los diferentes elementos de la motocicleta y así reducir costos de importación, ayudando a la economía interna dentro del país.

Por tal motivo se realiza el análisis microestructural en el cual se utilizan diferentes métodos y se hacen pruebas que ayudan a determinar el material del que está conformado y si este puede ser reemplazado por otro de características similares. Las pruebas que se realizan en el laboratorio son de dureza, espectrometría y análisis microestructural donde se determina la microestructura, la composición química y la dureza del material del que está conformado cada uno de los elementos del conjunto cigüeñal – biela.

1.2 Justificación

En la actualidad en nuestro país se está hablando del desarrollo de la matriz productiva donde se pide la creación y producción de partes y piezas en gran cantidad, es importante entonces analizarlas bajo un estudio desarrollado.

Este proyecto está encaminado al estudio, diseño y caracterización del cigüeñal y la biela de una motocicleta con motor de cuatro tiempos y 125 centímetros cúbicos, aportando al desarrollo tecnológico y científico.

Mediante la desagregación tecnológica, aporta a la economía interna del país y por tal razón disminuiría la importación de motocicletas, con esto se trata de mejorar la calidad del producto y cubrir las necesidades del consumidor siendo parte del buen vivir de la sociedad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Caracterizar y diseñar el conjunto cigüeñal - biela de una motocicleta con motor de 4 tiempos y 125 cc.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Realizar el estudio metalográfico del cigüeñal y la biela.

- Estudiar el comportamiento termodinámico para obtención de fuerzas aplicadas a la biela manivela.

- Diseñar el conjunto cigüeñal - biela mediante software.

- Analizar CAD/CAE.

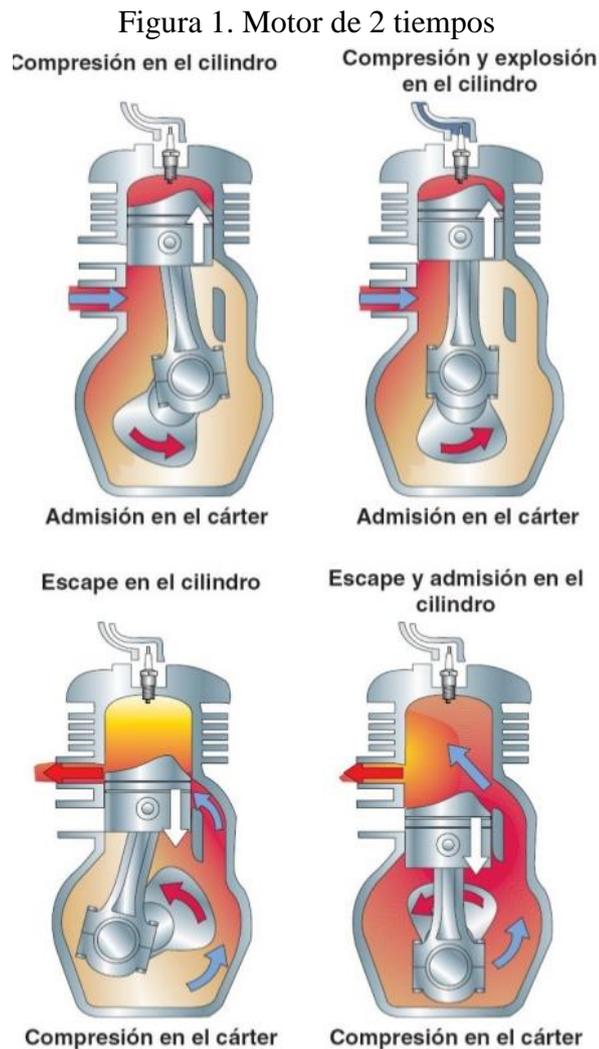
CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

En la actualidad existe una infinidad de modelos y marcas de motocicletas, por tal motivo se realizó un estudio previo en la cual se ha escogido una motocicleta tipo Custom debido a que es altamente comercial y fácilmente modificable.

2.1 Motor de combustión interna

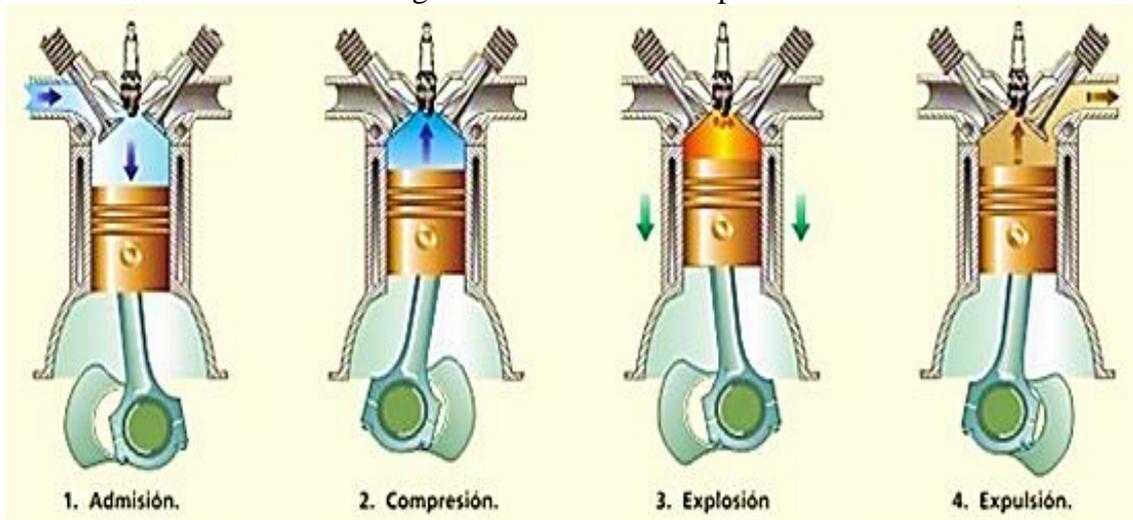
2.1.1 Ciclos del motor de combustión interna. En un motor de dos tiempos su ciclo se produce en una sola vuelta del cigüeñal en donde están presentes los cuatro tiempos (admisión, compresión, explosión y escape).



Fuente: <http://es.slideshare.net/aicvigo1973/motor-de-dos-tiempos>

En un motor de cuatro tiempos su ciclo se produce en dos vueltas del cigüeñal y cuatro del árbol de levas en donde están presentes los cuatro tiempos (admisión, compresión, explosión y escape).

Figura 2. Motor de 4 tiempos



Fuente: <http://alelaviana.blogspot.es/categoria/motores/>

- Primer Tiempo (Admisión): El pistón recorre del PMS hacia el PMI absorbiendo la mezcla aire-combustible encontrándose la válvula de admisión abierta y la válvula de escape cerrada, teóricamente con una relación de 14.7:1 hacia la cámara de combustión.
- Segundo Tiempo (Compresión): El pistón recorre del PMI hacia el PMS comprimiendo la mezcla aire-combustible por lo cual su temperatura aumenta para una mejor combustión encontrándose la válvula de admisión y la válvula de escape cerradas.
- Tercer Tiempo (Explosión y Expansión): La bujía realiza un salto de chispa produciendo una explosión en la cámara de combustión e instantáneamente los gases se expanden y mediante esta fuerza el pistón recorre del PMS hacia el PMI. Encontrándose la válvula de admisión y la válvula de escape cerradas.
- Cuarto Tiempo (Escape): El pistón recorre del PMI hacia el PMS evacuando los gases quemados hacia el exterior. Encontrándose la válvula de admisión cerrada y la válvula de escape abierta.

2.1.2 *Partes del motor.* El motor consta de partes móviles y partes fijas, posteriormente se mencionan las partes más importantes por las que está conformado.

2.1.2.1 *Partes fijas del motor.* Las partes fijas del motor son las siguientes:

- Carter. Se encuentra en la parte inferior del motor, siendo el encargado de almacenar el aceite para la lubricación del mismo. (Martinez pág. 29).
- Bloque de cilindro. Su función principal es alojar los cilindros donde se produce los cuatro tiempos (admisión, compresión, explosión expansión y escape), también está constituida por unos conductos que sirven para la refrigeración y la lubricación.
- Culata. Está ubicada en la parte superior del motor, siendo la encargada de limitar la cámara de combustión y los conductos de los gases, de ubicar las bujías, de permitir el correcto funcionamiento de las válvulas y contiene los conductos de refrigeración. (Martinez pág. 28)

2.1.2.2 *Partes móviles del motor.* Las partes móviles principales del motor son las siguientes.

- Pistón y bulón. El pistón es una de las partes más importantes del motor, pues se desplaza dentro del cilindro ayudando a la compresión y expulsión de los gases, pero sus funciones principales son transmitir la fuerza que se genera en la expansión de los gases hacia el cigüeñal a través de la biela y sellar la cámara de combustión para evitar que se filtre el aceite almacenado en el cárter. El bulón es el encargado de sujetar la biela. (Martinez pág. 36).
- Biela. La biela tiene como función principal transmitir el movimiento del pistón hacia el cigüeñal.
- Cigüeñal. El cigüeñal es el encargado de transformar el movimiento lineal del pistón en movimiento rotativo, uno de los extremos se utiliza para mover el vehículo y el otro aporta el par necesario para mover los elementos auxiliares. (Martinez pág. 40).

2.2 Cigüeñal

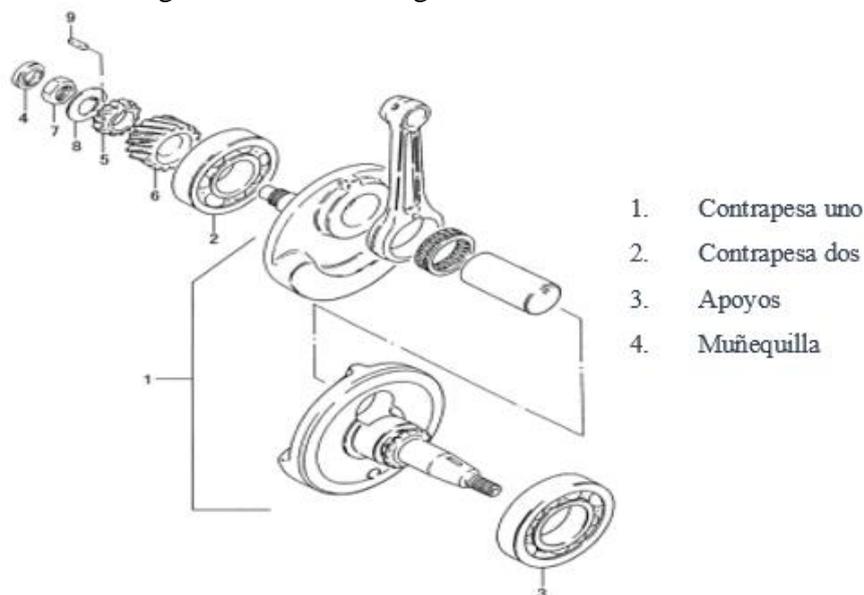
2.2.1 Generalidades del cigüeñal. Es el encargado de transformar el movimiento lineal de los pistones a un movimiento rotativo. Transmite también el giro y fuerza motriz a los demás órganos de transmisión. El cigüeñal también puede ser llamado en forma compuesta como eje cigüeñal, árbol de manivelas o eje motor. El cigüeñal es sin duda el componente más caro, debido a los elevados costos de diseño y fabricación.

En las primeras fases del diseño se determina la longitud del cigüeñal la cual se define por el diámetro del cilindro. La etapa inicial se determina por el radio de la manivela esta debe ser igual a la mitad de la carrera total del pistón. Las dimensiones básicas a determinar en la fase de cálculo de la resistencia estructural del cigüeñal son:

- El diámetro y la longitud de la muñequilla
- El diámetro, la longitud y el número de apoyos.
- Recubrimiento o solape entre el diámetro de la muñequilla y el diámetro del apoyo.
(PAYRI F., 2011)

2.2.2 Partes del cigüeñal. A continuación se detallan las partes más importantes:

Figura 3. Partes del cigüeñal de una motocicleta



Fuente: Autores

Muñequilla del cigüeñal. La longitud de la muñequilla viene determinada por los cojinetes o rodamientos, pero es necesario en cualquier caso comprobar si la geometría del cigüeñal es capaz de resistir los esfuerzos a los que estará sometido. Por lo general las muñequillas suelen ser huecas para reducir la concentración de tensiones. Esta disminución de la masa de la muñequilla se equilibra con las contrapesas, realizando pequeños orificios.

El cigüeñal necesita de una lubricación por medio de taladros interiores, estos deben estar situados en zonas de menores presiones específicas para que no provoquen un deterioro apreciable de la resistencia mecánica del cigüeñal. (PAYRI F., 2011).

2.2.2.1 *Apoyos del cigüeñal.* Los cálculos del apoyo del cigüeñal y de las muñequillas son similares, los apoyos suelen ser de mayor diámetro que el de las muñequillas por tener un mayor espacio. El apoyo del lado de volante de inercia se denomina primer apoyo y es más ancho porque debe resistir el peso del volante. El aumento de número de apoyos da rigidez al cigüeñal, pero al mismo tiempo encarece al mismo aumentando las pérdidas mecánicas. El cigüeñal posee un cojinete de empuje axial. (PAYRI F., 2011).

Brazos y contrapesas. La forma y disposición de brazos y contrapesas dependen principalmente del proceso empleado para la fabricación. Las contrapesas equilibran como máximo del 50 al 60% de las masas rotativas. En los cigüeñales fundidos los brazos pueden ser huecos para aligerar pesos y en los cigüeñales mecanizados pueden emplearse contrapesas postizas. De esta forma pueden aligerarse el volante de inercia ya que las contrapesas ejercen su función. (PAYRI F., 2011)

2.2.3 *Consideraciones generales para el diseño del cigüeñal.* Las dimensiones principales de un cigüeñal referidas al diámetro del cilindro y a la carrera se dan una parte por consideraciones de resistencia de materiales y por otras consideraciones prácticas de fabricación.

La resistencia y la rigidez han ido aumentando a medida que han aumentado las presiones medias efectivas y las velocidades lineales medias de los pistones. Las mejoras que se han dado en el diseño han permitido mantener el tamaño del cigüeñal a pesar del aumento de la p.m.e y del régimen de giro. (PAYRI F., 2011).

Tabla 1. Dimensiones relativas del cigüeñal

Dimensiones	Motores a gasolina	Motores a diésel
Diámetro de la muñequilla ($d_{m,b}$)	(0,55-0,65)D	(0,55-0,70)D
Longitud de la muñequilla ($l_{m,b}$)	(0,45-0,60) ($d_{m,b}$)	(0,50-0,65) ($d_{m,b}$)
Diámetro del apoyo de bancada (d_{apoyo})	(0,60-0,70)D	(0,70-0,80)D
Longitud del apoyo de bancada (d_{apoyo})	(0,45-0,60) d_{apoyo}	(0,40-0,60) (d_{apoyo})

Fuente: (PAYRI F., 2011)

El recubrimiento del apoyo y muñequilla aumentan la rigidez y mejora la resistencia del cigüeñal siempre que no produzca concentración de tensiones. El vaciado tanto de la muñequilla como del apoyo eleva la resistencia mecánica del cigüeñal. En la zona de transición de la manivela deben mecanizarse radios de curvatura más profunda para reducir las tensiones y aumentar la resistencia mecánica del cigüeñal.

En lo posible evitar todo tipo de chavetas y taladros en el cigüeñal dado que su geometría siempre induce a una concentración de tensiones. (PAYRI F., 2011).

2.2.4 *Materiales de construcción del cigüeñal.* Existen dos tipos de procesos de fabricación. La fundición es el método más utilizado para fabricarlo debido a que la geometría del cigüeñal es muy complicada, el otro método utilizado es la forja.

Materiales fundidos

- Fundición gris con grafito esferoidal modificado con magnesio
- Fundición gris maleable de estructura perlita
- Hierro fundido aleado con níquel molibdeno (PAYRI F., 2011).

La fundición permite fabricarlo hueco con el fin de reducir el peso y el costo, aumentar la resistencia a la flexión y se utiliza para conducir el aceite a presión hacia los cojinetes de los apoyos y las muñequillas por los orificios. Utilizados en motores a gasolina.

Materiales forjados

- Aceros al carbono.
- Aceros aleados al Cr-Ni-Mo.

Se fabrica en acero forjado y posteriormente tratado, mecanizado y equilibrado. En los apoyos y las muñequillas se endurecen por tratamientos termicos en los que hay que extremar las precauciones para evitar grietas por fatiga.

Los materiales forjados tienen un módulo de Young mayor haciéndolos más rígidos y presentan un mejor comportamiento ante las vibraciones torsionales, sus características son favorables para evitar el desgaste de los cojinetes debido a que tienen un mejor acabado.

Tabla 2. Materiales Forjados

Materiales	Límite de tracción [MPa]	Límite de elasticidad [MPa]	Módulo de Young [MPa]
Fundición gris con grafito esferoidal GJS-700-2	700	420	180
Acero aleado 38MnS 6	950	550	210

Fuente: (PAYRI F., 2011)

Estos cigüeñales son más utilizados en los motores de combustión interna a diésel por tener a bajo régimen de giro un elevado par.

2.3 Biela

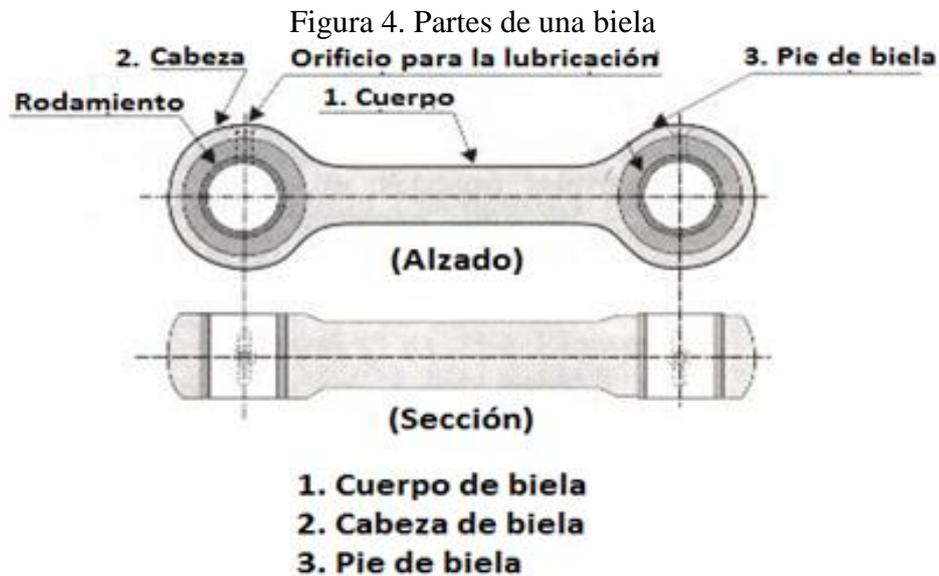
2.3.1 Generalidades de la biela. Es un elemento mecánico encargado de transmitir los esfuerzos generados por los gases de combustión que actúan sobre la cabeza del pistón hacia las manivelas del cigüeñal y viceversa.

También se encuentra sometida a esfuerzos de compresión y flexión debida a la combustión, a las inercias angulares y alternativas y a las fuerzas centrifugas los cuales debe ser capaz de resistirlos sin deterioro o deformación.

El diseño de una biela debe tener la máxima rigidez con la mínima masa para disminuir las fuerzas de inercia. La forma que se confiere al cuerpo de la biela de viga de doble T, es con el fin de hacerla resistente al pandeo, tanto transversal como longitudinalmente.

La distancia entre ejes influye en el peso y el tamaño de la biela para disminuir los esfuerzos angulares y normales del pistón sobre el cilindro.

2.3.2 Partes de la biela. La biela consta de las siguientes tres partes:



Fuente:http://www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/mecanica/maquinas_y_circuitos/16.9.jpg

2.3.2.1 *Pie de biela.* Extremo pequeño de la biela que tiene un orificio que va unida al pistón a través del bulón. Trabaja bajo carga oscilante y alternativa durante los cuatro tiempos del motor en su ciclo Otto por lo que se produce un fuerte desgaste en la parte superior e inferior del diámetro, en efecto para reducir el desgaste se utiliza un cojinete antifricción. Para su montaje se pueden utilizar tres tipos de bulones los cuales pueden ser:

- Bulón fijo
- Bulón semiflotante
- Bulón flotante

Bulón Fijo: En esta forma de montaje el bulón se une al pistón mediante un tornillo o pasador. Pero presenta inconvenientes como el desgaste del tornillo de retención.

Ventajas:

- Eliminación de ruido
- Limitación en las posibles desalineaciones producidas por la holgura entre biela y bulón.

Figura 5. Bulón fijo



Fuente: <http://www.geocities.ws/mecanicainacap/bloque.html>

Bulón Semiflotante: En este tipo de montaje, la biela se fija al bulón a través de una abrazadera de tornillo, girando libremente sobre su alojamiento en el pistón.

Figura 6. Bulón semi – flotante



Fuente: <http://www.geocities.ws/mecanicainacap/bloque.html>

Bulón Flotante: El bulón se desliza al interior del pie de biela, se utiliza un cojinete por interferencia y unos anillos de seguridad que están ubicados en los alojamientos del pistón para evitar el movimiento lateral del bulón. Se utilizan dos métodos para la lubricación del cojinete, el primero proviene del rasgado de los segmentos del pistón a través de un taladro en la parte superior de la biela y el segundo método es enviar el aceite a presión a través de un canal del cuerpo de biela, se canaliza el aceite desde la lubricación del cigüeñal. (PAYRI F., 2011).

Ventaja:

- Se utiliza en motores de altas relaciones de compresión

Figura 7. Bulón flotante



Fuente: <http://www.geocities.ws/mecanicainacap/bloque.html>

La forma geométrica puede tener incidencia en la masa oscilante con movimiento alternativo. Existen dos formas geométricas de pie de biela, una trapezoidal y una paralela, la más utilizada es la geometría trapezoidal por su notable reducción de masa en el pie de biela. (PAYRI F., 2011).

Para elevar la resistencia mecánica del pie de biela aumentando su rigidez y reduciendo la concentración de tensiones, se siguen los siguientes criterios:

- Incremento del radio de transición.
- Reducción del voladizo del pie en la dirección axial del bulón.
- El agujero para el bulón se ubica desplazado hacia arriba con una excentricidad con lo que se consigue un mayor espesor en el cuello que es la zona más crítica.
- La transición en forma de arco por la parte interior contribuye a reducir la concentración de tensiones. (PAYRI F., 2011).

2.3.2.2 Cabeza de Biela. Es el extremo grande de la biela que se une a la muñequilla del cigüeñal. Existen dos formas geométricas la primera está constituida por una sola masa con el cuerpo de la biela y la segunda se construye en dos partes para facilitar su montaje, la primera parte se encuentra unida con el cuerpo de la biela y la otra parte es desmontable llamada sombrero o tapa que es ensamblada por tornillos.

2.3.2.3 *Cuerpo de la Biela.* Es aquella que une la cabeza y el pie transmitiendo las cargas recibidas desde el pistón hacia el cigüeñal.

Para seleccionar la sección del cuerpo hay que tener en cuenta su capacidad para el pandeo, la sección más habitual es la de doble T porque tiene gran rigidez con una masa relativamente pequeña.

Las variaciones bruscas en la biela producen puntos de acumulación de tensiones, por lo tanto la unión entre el cuerpo con la cabeza y el pie debe ser progresiva utilizando los mayores radios posibles. (PAYRI F., 2011).

2.3.3 *Biela Enteriza.* Este tipo de biela es de una sola pieza porque su cabeza de biela no es desmontable y por lo tanto no existe el sombrerete. Entonces para desmontar se debe desarmar la muñequilla del conjunto cigüeñal-biela. *Biela Aligerada.* Este tipo de biela es aquel en donde la cabeza de biela tiene un ángulo que forma el plano que divide las dos mitades de la cabeza de biela.

2.3.4 *Consideraciones generales para el diseño de la biela.* Para el diseño de una biela intervienen muchas variables pero las más importantes que le caracterizan son las siguientes dimensiones:

- La distancia entre los ejes de cabeza y pie.
- El diámetro, la anchura y espesor del pie.
- El diámetro, la anchura, y espesor de la cabeza.
- Espesor del cuerpo. (PAYRI F., 2011).

2.3.5 *Materiales de construcción de la biela.* Los materiales para la construcción de la biela debe tener una estabilidad mecánica debido a los grandes esfuerzos que realiza, su masa debe ser lo suficientemente pequeña para reducir la inercia que se puede crear. Los metales materiales usados son: (MARTÍNEZ)

2.3.5.1 *Aleaciones de Titanio y Aluminio.* Son aleaciones ligeras de baja densidad (<4, 5 g/cc). Se utiliza principalmente en motores de competición debido a que su costo es elevado.

2.3.5.2 Acero al carbono. Tiene una composición del 0,35% de carbono y el 0,60% de manganeso.

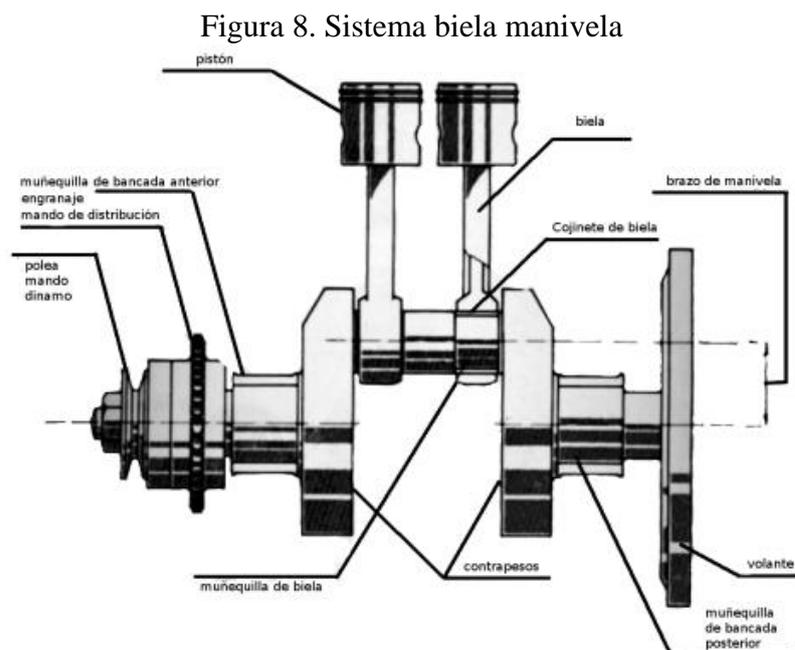
2.3.5.3 Aceros Especiales. Se emplean en los motores rápidos para aumentar la ligereza del conjunto, son en general aceros al cromo níquel.

2.3.5.4 Fundición de grafito esferoidal. Es empleada por sus buenas características mecánicas y su bajo precio. (PAYRI F., 2011).

2.4 Principio de funcionamiento del conjunto cigüeñal – biela

El sistema o mecanismo denominado biela-manivela es el encargado de transformar el movimiento rectilíneo y alternativo del émbolo o pistón en el movimiento giratorio del cigüeñal.

En la figura aparecen los elementos que intervienen: émbolo (que está bajando), biela y cigüeñal. La parte acodada del cigüeñal que es lo que propiamente hay que considerar como manivela, está formada por una muñequilla y dos brazos del cigüeñal (brazos de manivela del cigüeñal), que corresponden al radio de giro de la muñequilla alrededor del eje del cigüeñal.



Fuente:<https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2009/05/ciguenal3.png?w=468&h=374>

Como ya se sabe el émbolo o pistón se desplaza por el interior del cilindro con movimiento rectilíneo alternativo entre los dos puntos muertos (PMS y PMI). Mientras que el cigüeñal gira. El émbolo es el que origina, al bajar en el tiempo de explosión, el giro del cigüeñal, al transmitir su fuerza a las muñequillas del mismo mediante la biela.

El cigüeñal es a su vez el que mueve al émbolo para que realice los tiempos de admisión, compresión y escape.

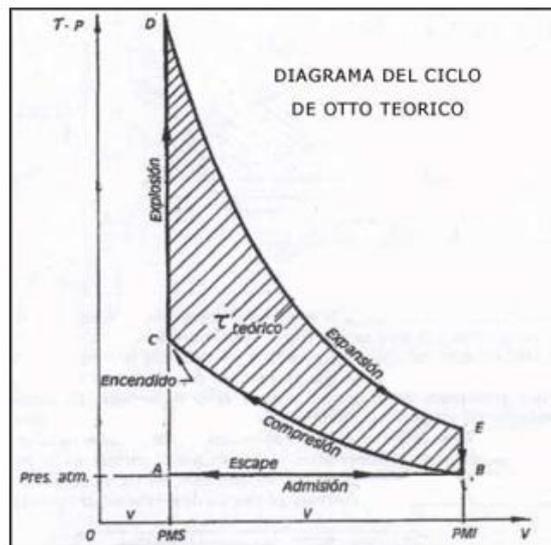
Para un régimen de giro determinado, se puede considerar que el movimiento del cigüeñal es uniforme, o sea, que para girar ángulos iguales tarda tiempos iguales.

Cualquiera que sea el régimen de giro, el movimiento del émbolo varía de velocidad constantemente, pasando desde 0 (en los puntos muertos) hasta un máximo (que se produce un poco por encima del centro de la carrera). Este máximo es mayor a medida que aumentan las revoluciones del cigüeñal.

2.5 Cálculos del mecanismo biela – manivela.

2.5.1 Ciclo Otto. El ciclo Otto es un motor a gasolina de cuatro tiempos, se denomina así por su creador Nikolaus August Otto. Se lo puede representar gráficamente.

Figura 9. Ciclo Otto



- B-C Proceso adiabático isentrópico de compresión
- C-D Proceso de suministro de calor a volumen constante
- D-E Proceso adiabático isentrópico de expansión
- E-B Proceso de rechazo de calor a volumen constante

Fuente: <http://www.aviacionulm.com/definicionytipos.html>

2.5.2 *Cálculo termodinámico.* Se realiza un estudio del comportamiento del motor para determinar las fuerzas existentes en cada tiempo del ciclo las cuales son aplicadas en la cabeza del pistón para producir un movimiento rectilíneo y luego con el cigüeñal transformarlo a rotativo, para posteriormente analizarlas en el software Ansys, donde se obtiene los resultados de los esfuerzos y las deformaciones a los que está sometido cada uno de los elementos del mecanismo biela – manivela. A continuación se presenta las ecuaciones que se van a emplear para el cálculo termodinámico del mecanismo que son las siguientes:

El volumen parcial (V_p) es el volumen en cada cilindro.

$$V_p = \frac{\pi}{4}(d^2)(l) \quad (1)$$

d = Diámetro del cilindro.

l = Carrera del pistón.

Cilindrada Total (V) está determinada por el volumen parcial multiplicada por el número de cilindros, es la cilindrada total del motor.

$$V = Vp(i) \quad (2)$$

i = Número de cilindros.

La relación de compresión (φ) está determinada por la relación entre los volúmenes de la cámara de combustión y el volumen total, para motores a gasolina este valor puede variar de 7 a 11.

$$\varphi = \frac{V_1}{V_2} \quad (3)$$

V_1 = Volumen Total.

V_2 = Volumen de la cámara de combustión.

El volumen total (V_1) es la suma del volumen de la cámara de combustión y el volumen parcial.

$$V_1 = V_2 + V_p \quad (4)$$

Con estas ecuaciones se determina la relación de volúmenes, presiones y temperaturas a entropía constante.

$$P_1(V_1^k) = P_2(V_2^k) \quad (5)$$

$$T_2 = T_1(\varphi)^{(k-1)} \quad (6)$$

k = Relación de calores específicos.

Ecuación de la relación de presiones y temperaturas a volumen constante.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (7)$$

Ecuación de la relación de combustión a volumen constante (τ).

$$\tau = \frac{P_3}{P_2} \quad (8)$$

Ecuación del área del cilindro (A).

$$A = \frac{\pi(d^2)}{4} \quad (9)$$

El objetivo de los cálculos es determinar las fuerzas que se aplican en la cabeza del pistón, las cuales encontramos con la siguiente ecuación.

$$P = \frac{F}{A} \quad (10)$$

Para determinar la presión media efectiva se debe encontrar los rendimientos volumétrico teórico e indicado.

Rendimiento volumétrico (η_v).

$$\eta_v = \frac{m_a}{m_t} \quad (11)$$

m_a = Masa de aire

m_t = Masa teórica

Rendimiento térmico (η_t).

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varphi^{(k-1)}} \quad (12)$$

Rendimiento indicado (η_i).

$$\eta_i = \frac{\eta_T}{\eta_t} \quad (13)$$

(η_T) = Rendimiento termodinámico.

También se debe encontrar la masa teórica y la masa de combustible.

Ecuación de estado (m_t).

$$m_t = \frac{P_1(V_p)}{R(T_1)} \quad (14)$$

R = Constante de los gases

Masa del combustible (m_c).

$$m_c = \frac{m_a}{\varphi} \quad (15)$$

Calor entregado al fluido por ciclo (Q_t).

$$Q_t = m_c(H_i) \quad (14)$$

(H_i) = Poder calorífico del combustible.

Trabajo teórico por ciclo (W_t).

$$W_t = \eta_t(Q_t) \quad (16)$$

Finalmente tenemos las ecuaciones de potencias para poder determinar la presión media efectiva.

Potencia teórica total (N_t).

$$N_t = \frac{z(i)(W_t)(n)}{z} \quad (17)$$

z = Tiempos del motor.

n = Número de revoluciones.

Potencia indicada (N_i).

$$N_i = \eta_i(N_t) \quad (18)$$

Potencia efectiva (N_e).

$$N_e = \eta_m(N_i) \quad (19)$$

(η_m) = Rendimiento mecánico.

Presión media efectiva (P_e).

$$P_e = \frac{N_e}{i(n)(V)} \quad (20)$$

CAPÍTULO III

3. CARACTERIZACIÓN DEL CIGÜEÑAL Y BIELA

3.1 Preparación de las probetas

A continuación se detalla el procedimiento paso a paso para la obtención de cada una de las probetas utilizadas para la realización de las pruebas de microestructura, dureza y espectrometría.

También se mencionan todas las herramientas y máquinas que fueron utilizadas para la obtención de dichas probetas.

3.1.1 *Preparación de la probeta para el análisis micro-estructural.* Se detalla paso a paso como realizar la preparación de las probetas y las consideraciones que se debe tomar, para evitar errores en los resultados.

3.1.1.1 *Extracción de la probeta.* Para la extracción de la probeta se debe realizar un corte, con una refrigeración adecuada para evitar el recalentamiento del material ya que como consecuencia las propiedades del material pueden variar.

- Máquina y herramienta para la extracción de la probeta

Figura 10. Máquina de corte



Fuente: Autores

Figura 11. Disco de corte



Fuente: <http://www.traverstool.com.mx/mm5/images/MEDIANA/361D.jpg>

- Colocación del elemento para realización del corte

Figura 12. Colocación del elemento



Fuente: Autores

- Corte de la probeta

Figura 13. Corte de la probeta



Fuente: Autores

3.1.1.2 Desbaste de la probeta. En el desbaste de la probeta se utiliza papel abrasivo para obtener una superficie plana.

El desbaste se realiza en un solo sentido y con una refrigeración adecuada para evitar cambios en las propiedades del metal. Al obtener un rayado uniforme en la superficie de la probeta se debe girar 90°.

El papel utilizado para el desbaste, son lijas que van de lamas gruesa a la más fina (N° 150, 300, 450, 600, 1000, 1200 y 1500).

- Máquina y material para el desbaste de la probeta

Figura 14. Mesa de desbaste



Fuente: Autores

Figura 15. Lija



Fuente: <http://abrasivosindustriales.com.co/wp-content/uploads/2013/06/hojaLijaAgu-580x400.jpg>

- Desbaste de la probeta

Figura 16. Desbaste de la probeta



Fuente: Autores

3.1.1.3 Pulido de la probeta. El pulido de la probeta se realiza en una pulidora de plato, utilizando como paño de pulido la tela de billar y como abrasivo la alúmina con el objetivo de eliminar las rayaduras y obtener una superficie especular.

Para la limpieza de la probeta se frota ligeramente un algodón sobre la superficie bajo un chorro de agua y se seca con aire comprimido.

- Máquina y materiales de pulido

Figura 17. Pulidora



Fuente: Autores

Figura 18. Alúmina



Fuente: Autores

Figura 19. Tela de billar para pulido



Fuente: http://cdn3.image-tmart.com/prodings/2/26000192/9Foot-Durable-Pool-Table-Billiard-Cover-Blue-Lining-A60033_250x250.jpg

- Pulido de la probeta

Figura 20. Pulido de la probeta



Fuente: Autores

3.1.1.4 Ataque químico de la probeta. El ataque químico se realiza para revelar la microestructura del metal.

Para el ataque de la probeta debido a que es acero se utiliza un reactivo llamado “NITAL”, dependiendo del tipo de acero varia el tiempo de ataque de 2 a 10 segundos.

En el contra-ataque se utiliza agua seguido de alcohol para detener el ataque del reactivo y evitar que la probeta se quememe.

- Materiales a utilizar.

Figura 21. Químico para el ataque (Nital)



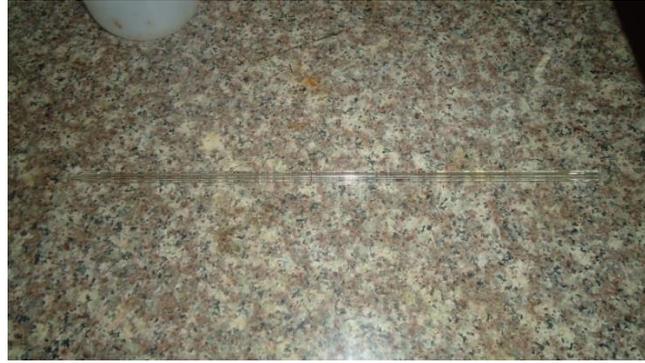
Fuente: Autores

Figura 22. Alcohol



Fuente: Autores

Figura 23. Pipeta



Fuente: Autores

- Ataque químico de la probeta.

Figura 24. Ataque químico de la probeta



Fuente: Autores

- Contra ataque de la probeta.

Figura 25. Contra ataque de la probeta



Fuente: Autores

3.1.2 *Preparación de la probeta para la prueba de dureza del metal.* Para la realización de las pruebas de dureza se necesita que la probeta tenga una superficie plana, no es necesario de que esta sea especular.

Por lo se utiliza las mismas probetas del análisis micro-estructural.

- Máquina y herramienta para las pruebas de dureza

Figura 26. Durómetro



Fuente: Autores

- Prueba de dureza

Figura 27. Pruebas de dureza



Fuente: Autores

3.1.3 *Preparación de la probeta para las pruebas de espectrometría.*

3.1.3.1 *Extracción de la probeta.* Para la extracción de la probeta se debe realizar un corte, con una refrigeración adecuada para evitar el recalentamiento del material ya que las propiedades del material pueden cambiar y como consecuencia se puede haber fallos en los resultados de las pruebas.

El tamaño de la probeta debe tener un mínimo 12 mm de radio debido a la maquina a utilizar.

- Máquina y herramienta para la extracción de la probeta.

Figura 28. Máquina de corte



Fuente: Autores

- Corte de la probeta.

Figura 29. Corte de la probeta



Fuente: Autores

3.1.3.2 *Desbaste de la probeta.* El objetivo del desbaste para las probetas de espectrometría es obtener una superficie plana y uniforme, evitando que la probeta sea muy delgada y que tenga pandeo. El desbaste de las probetas para las pruebas de espectrometría se realiza en una pulidora con un disco de zirconio, debido a que no necesita tener una superficie especular.

- Máquina y material para el desbaste de la probeta.

Figura 30. Pulidora



Fuente: Autores

3.1.3.3 *Pruebas de espectrometría.*

- Máquina para la espectrometría.

Figura 31. Espectrómetro



Fuente: Autores

3.2 Recopilación de datos de las pruebas

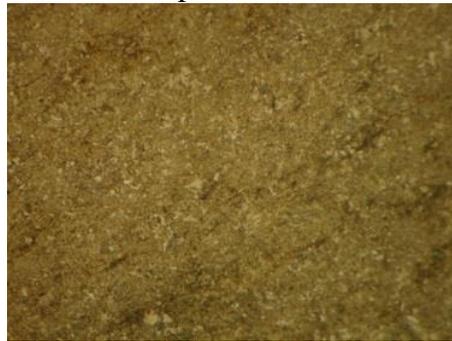
A continuación se muestran todos los datos obtenidos en las pruebas realizadas de microestructura, dureza y espectrometría de cada una de las probetas.

3.2.1 *Recopilación de datos de las pruebas de la contrapesa del Cigüeñal.* Aquí se muestra los resultados de las pruebas como microfotografías tomadas en el microscopio electrónico, la dureza de cada de las probetas y la composición química del material de cada probeta.

3.2.1.1 *Análisis microestructural.*

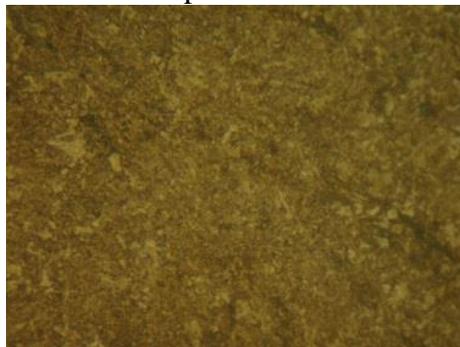
Probeta 1: Superficie transversal de la contrapesa.

Figura 32. Microestructura de la superficie transversal de la contrapesa a 100x



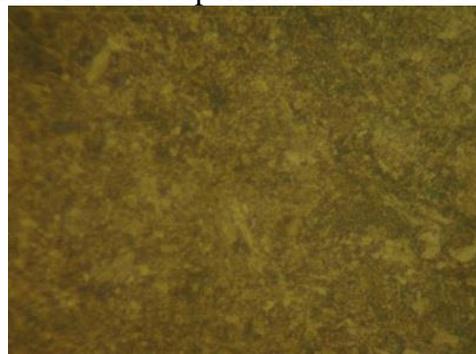
Fuente: Autores

Figura 33 . Microestructura de la superficie transversal de la contrapesa a 200x



Fuente: Autores

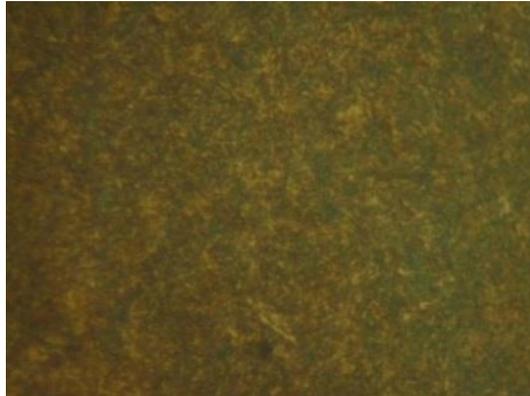
Figura 34 . Microestructura de la superficie transversal de la contrapesa a 500x



Fuente: Autores

Probeta 2: Superficie exterior de la contrapesa.

Figura 35. Microestructura de la superficie exterior de la contrapesa a 500x



Fuente: Autores

3.2.1.2 Dureza de la contrapesa

Tabla 3. Dureza de la contrapesa

Dureza Rockwell		
Escala	Nº Mediciones	Dureza
B	1	63 HRB
	2	63 HRB
	3	64 HRB
Promedio		63 HRB

Fuente: Autores

La dureza Rockwell de la contrapesa es de 63 unidades en la escala B con una carga total (100 kgf =980 N).

3.2.1.3 Análisis de espectrometría de la contrapesa.

Tabla 4. Resultados de la espectrometría de la contrapesa

Datos de la espectrometría en la contrapesa [%]				
Carbono (C) 0,520	Silicio (Si) 0,214	Manganeso (Mn) 0,682	Fósforo (P) < 0,0100	Azufre (S) < 0,0100
Cromo (Cr) 0,149	Molibdeno (Mo) 0,012	Níquel (Ni) 0,019	Cobre (Cu) 0,012	Aluminio (Al) 0,0072
Cobalto (Co) 0,0055	Magnesio (Mg) < 0,0050	Niobio (Nb) <0,0050	Titanio (Ti) <0,0030	Vanadio (V) <0,0050
Wolframio (W) <0,100	Hierro (Fe) 98,38			

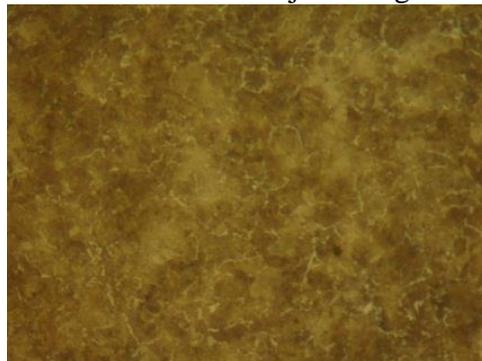
Fuente: Autores

3.2.2 *Recopilación de datos de las pruebas del eje del cigüeñal.*

3.2.2.1 *Análisis microestructural.* Al realizar las pruebas de microestructura del eje del cigüeñal, se pudo observar la diferencia de microestructura en el centro del eje y en el filo.

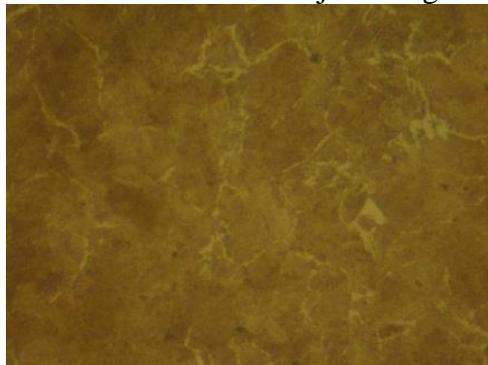
Probeta 3: Superficie transversal del eje del cigüeñal.

Figura 36. Microestructura eje del cigüeñal a 200x



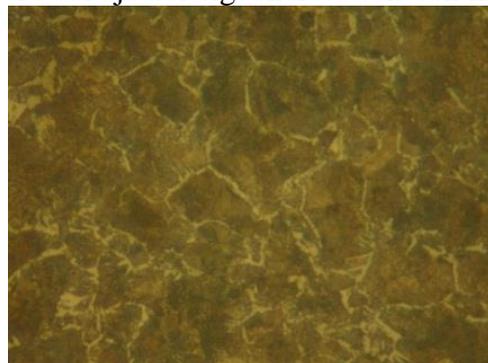
Fuente: Autores

Figura 37. Microestructura del eje del cigüeñal a 500x



Fuente: Autores

Figura 38. Microestructura del eje del cigüeñal a 500x con mayor tiempo de reacción



Fuente: Autores

Figura 39. Microestructura del eje del cigüeñal resaltando el cambio de fases



Fuente: Autores

Figura 40. Microestructura del borde del eje del cigüeñal a 500x



Fuente: Autores

3.2.2.2 Dureza del Eje del Cigüeñal.

Tabla 5. Dureza del eje del cigüeñal (parte central)

Dureza Rockwell del eje del cigüeñal (parte central)		
Escala	Nº Mediciones	Dureza
C	1	30 HRC
	2	29 HRC
	3	30 HRC
Promedio		30 HRC

Fuente: Autores

Dureza Rockwell de 30 unidades en la escala C con una carga total (150 kgf = 1 471 N).

Tabla 6. Dureza del eje del cigüeñal (borde).

Dureza Rockwell del eje del cigüeñal (borde)		
Escala	Nº Mediciones	Dureza
C	1	50 HRC
	2	50 HRC
	3	49 HRC
Promedio		50 HRC

Fuente: Autores

Dureza Rockwell de 50 unidades en la escala C con una carga total (150 kgf = 1 471 N).

3.2.2.3 Análisis de espectrometría del eje del cigüeñal.

Tabla 7. Resultados de la espectrometría del eje del cigüeñal.

Datos de la espectrometría del eje del cigüeñal [%]				
Carbono (C) 0,500	Silicio (Si) 0,222	Manganeso (Mn) 0,686	Fósforo (P) < 0,0100	Azufre (S) < 0,0100
Cromo (Cr) 0,147	Molibdeno (Mo) 0,012	Níquel (Ni) 0,02	Cobre (Cu) 0,012	Aluminio (Al) 0,010
Cobalto (Co) 0,0065	Magnesio (Mg) < 0,0050	Niobio (Nb) <0,0050	Titanio (Ti) <0,0030	Vanadio (V) <0,0050
Wolframio (W) <0,100	Hierro (Fe) 98,39			

Fuente: Autores

3.2.2.4 Acero AISI 1050. Composición química del acero AISI 1050.

Tabla 8. Composición química del acero 1050

Criterios	Minino	Máximo
C	0,4800	0,5500
Mn	0,6000	0,9000
S		0,0500
Ni		0,2000
Cr		0,1500
Mo		0,0600
Cu	0,2000	
B	0,0005	0,0030
Pb	0,1500	0,3500

Fuente: search.totalmateria.com/MaterialDetails/MaterialDetail?vkKey=1250037&keyNum=5006&type=8&hs=1#.

Tabla 9. Propiedades del acero AISI 1050

Propiedades del acero AISI 1050	
Densidad	7,87 g/cc
Módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal	210 GPa
Capacidad calorífica específica o calor específico	450 J/kg.°K
Relación peso/resistencia o resistencia específica	85 a 95 kN.m/kg
Resistencia a la tracción: ultima	660 a 740 MPa
Resistencia a la tracción: rendimiento	370 a 620 MPa
Módulo de corte	80 GPa
Coefficiente de poisson	0,29

Fuente: (MakeItFrom)

3.2.3 *Recopilación de datos de las pruebas de la biela.*

3.2.3.1 *Análisis microestructural.*

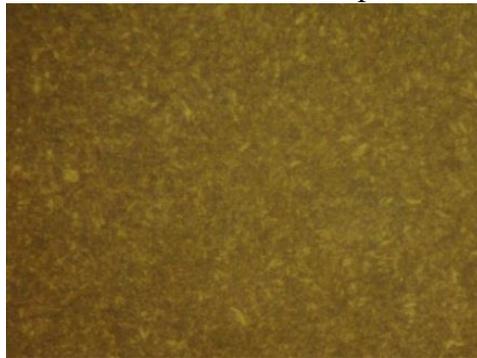
Probeta 4: Cuerpo de la biela.

Figura 41. Microestructura de la biela superficie transversal 500x



Fuente: Autores

Figura 42. Microestructura de la biela superficie exterior a 500x



Fuente: Autores

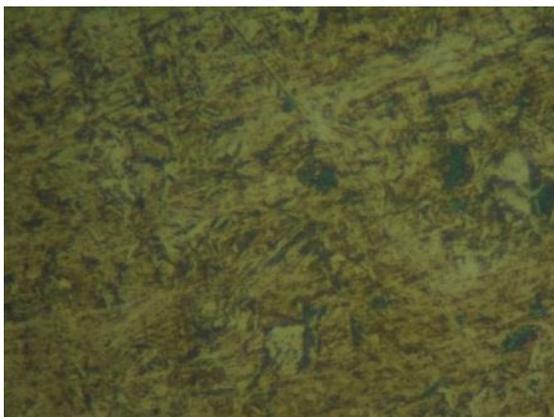
Probeta 5: Cabeza de la Biela

Figura 43. Microestructura cabeza de biela corte transversal a 200x



Fuente: Autores

Figura 44. Microestructura cabeza de biela corte transversal a 500x



Fuente: Autores

3.2.3.2 Dureza de la Biela.

Tabla 10. Dureza de la Biela

Dureza Rockwell de la biela		
Escala	N° Mediciones	Dureza
C	1	40 HRC
	2	41 HRC
	3	41 HRC
Promedio		41 HRC

Fuente: Autores

La dureza Rockwell promediando los tres datos obtenidos es de 41 unidades en la Escala C con una carga total (150 kgf = 1471 N).

3.2.3.3 Análisis de espectrometría. Se obtiene los resultados del análisis espectrométrico, donde se muestra la composición química en porcentajes de cada uno de los elementos de los que está compuesto el material de la biela

Tabla 11. Espectrometría de la Biela

Datos de la espectrometría en la biela [%]				
Carbono (C) 0,168	Silicio (Si) 0,243	Manganeso (Mn) 0,625	Fósforo (P) < 0,0100	Azufre (S) < 0,0100
Cromo (Cr) 0,952	Molibdeno (Mo) 0,154	Níquel (Ni) 0,012	Cobre (Cu) 0,011	Aluminio (Al) 0,024
Cobalto (Co) 0,0057	Magnesio (Mg) < 0,0050	Niobio (Nb) < 0,0050	Titanio (Ti) < 0,017	Vanadio (V) < 0,0050
Wolframio (W) < 0,100	Hierro (Fe) 97,78			

Fuente: Autores

3.2.4 Recopilación de datos de las pruebas de la muñequilla del cigüeñal.

3.2.4.1 Análisis microestructural.

Probeta 6: Muñequilla del cigüeñal.

Figura 45. Microestructura de la muñequilla del cigüeñal



Fuente: Autores

3.2.4.2 Dureza de la muñequilla del cigüeñal

Tabla 12. Dureza de la muñequilla del cigüeñal

Dureza Rockwell del eje de unión del cigüeñal - biela		
Escala	Nº Mediciones	Dureza
C	1	50 HRC
	2	50 HRC
	3	49 HRC
Promedio		50 HRC

Fuente: Autores

La dureza Rockwell promedio de los tres datos obtenidos es de 50 unidades en la Escala C con una carga total (150 kgf = 1471 N).

3.2.4.3 Análisis de espectrometría

Tabla 13. Datos de la espectrometría de la muñequilla del cigüeñal.

Datos de la espectrometría de la muñequilla del cigüeñal [%]				
Carbono (C) 0,170	Silicio (Si) 0,221	Manganeso (Mn) 0,621	Fósforo (P) < 0,0100	Azufre (S) < 0,0100
Cromo (Cr) 0,955	Molibdeno (Mo) 0,164	Níquel (Ni) 0,037	Cobre (Cu) 0,081	Aluminio (Al) 0,021
Cobalto (Co) 0,0087	Magnesio (Mg) < 0,0050	Niobio (Nb) < 0,0050	Titanio (Ti) < 0,013	Vanadio (V) < 0,0050
Wolframio (W) < 0,100	Hierro (Fe) 97,71			

Fuente: Autores

3.2.4.4 Acero AISI 5120. Se tiene la composición química y las propiedades físicas del acero AISI 5120.

Tabla 14. Composición química del acero AISI 5120.

Crterios	Minino	Máximo
C	0,1700	0,2300
Mn	0,6000	1,0000
P		0,0300
S		0,0400
Si	0,1500	0,3500
Ni		0,2500
Cr	0,6000	0,1000
Mo		0,0600
Cu		0,0600

Fuente: search.totalmateria.com/MaterialDetails/MaterialDetail?vkKey=1231484&keyNum=1875&type=2&hs=0.

La propiedad química más relevantes del acero AISI 1050 es la densidad.

Tabla 15. Propiedades del acero AISI 5120.

Propiedades del acero AISI 5120	
Densidad	7.8 g/cm ³
Módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal	210 GPa
Alargamiento a la rotura	16%
Capacidad calorífica específica o calor específico	450 J/kg.°K
Relación peso/resistencia o resistencia específica	77 kN.m/kg
Resistencia a la tracción: última	600 MPa
Resistencia a la tracción: rendimiento	370 a 620 MPa
Expansión térmica o dilatación térmica	11,8 µm/m.°K
Módulo de corte	80 GPa
Coefficiente de Poisson	0.27-0.30

Fuente: (MakeItFrom)

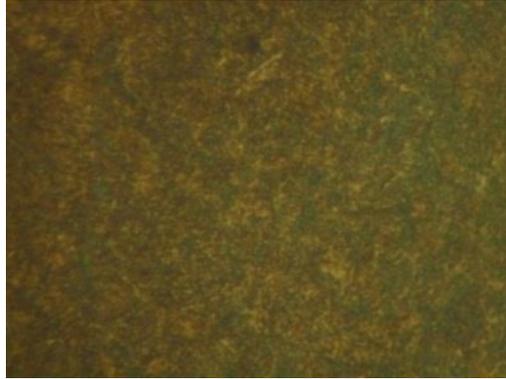
3.3 Análisis de resultados

3.3.1 Análisis de resultados de la contrapesa del cigüeñal. Se realiza una comparación entre los resultados de las pruebas (microestructura y espectrometría) de cada una de las probetas.

También se comparan las tablas de la composición química el acero.

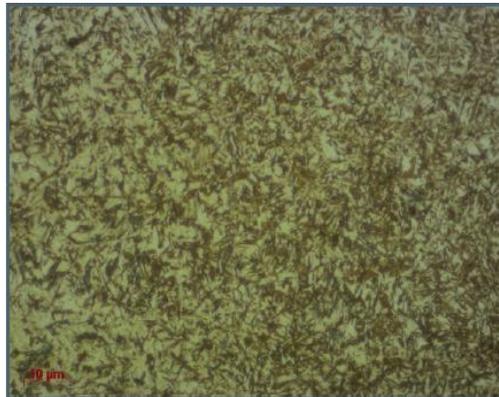
3.3.1.1 Comparación de la microestructura en microfotografías

Figura 46. Microestructura de la contrapesa



Fuente: Autores

Figura 47. Microestructura del acero AISI 1050



Fuente: <http://spotidoc.com/doc/1658644/caracterizaci%C3%A3%C2%B3n-microestructural-de-un-acero-aisi>

3.3.1.2 Comparación de las tablas.

Se compara las tablas 5 y 9 para corroborar el material del que está hecho la contrapesa.

Tabla 16. Composición química del acero AISI 1050 y de la contrapesa del cigüeñal.

Criterios	Datos	Min.	Max.
C	0,520	0,480	0,550
Mn	0,682	0,600	0,900
P	<0,010	-	0,030
S	<0,010	-	0,050
Ni	0,019	-	0,200
Cr	0,149	-	0,150
Mo	0,120	-	0,060
Cu	0,012	0,200	-

Fuente: Autores

Conclusión.- Según la comparación de las micrografías concluimos que es un acero AISI 1050, lo que se corrobora realizando la comparación entre los datos obtenidos de la espectrometría de la contrapesa del cigüeñal y la tabla de la composición química de dicho acero. La contrapesa del cigüeñal está compuesta de un acero de medio carbono, con buena resistencia, tenacidad y resistencia al desgaste.

3.3.2 *Análisis de resultados del eje del cigüeñal.* Se realiza una comparación entre los resultados de las pruebas realizadas y las propiedades químicas del acero AISI 1050.

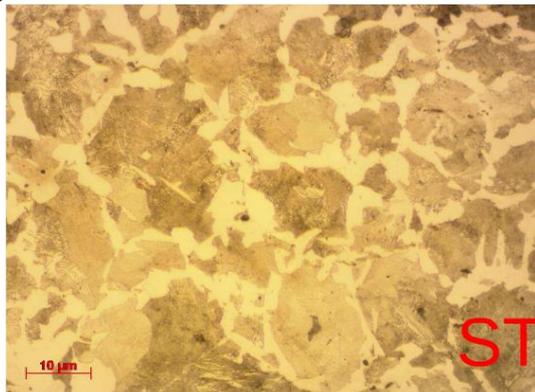
3.3.2.1 *Comparación de la microestructura en microfotografías.*

Figura 48. Microestructura del eje del cigüeñal a 500x con mayor tiempo de reacción



Fuente: Autores

Figura 49. Microestructura del acero AISI 1050.



Fuente: <https://prezi.com/pvyaxw350ivt/comparacion-microestructural-de-los-aceros-1020-1045-y-8620/>

3.3.2.2 *Comparación de las tablas.*

Se compara las tablas 8 y 9 para corroborar el material del que está hecho el eje del cigüeñal.

Tabla 17. Composición química del acero AISI 1050 y del eje del cigüeñal.

Criterios	Datos	Min	Max
C	0,500	0,480	0,550
Mn	0,686	0,600	0,900
P	<0,010	-	0,030
S	<0,010	-	0,050
Ni	0,020	-	0,200
Cr	0,147	-	0,150
Mo	0,012	-	0,060
Cu	0,012	0,200	-

Fuente: Autores

Partiendo desde la comparación de las micrografías concluimos que es un acero AISI 1050, lo que se corrobora realizando la comparación entre los datos obtenidos de la espectrometría del eje del cigüeñal y la tabla de la composición química de dicho acero. El eje del cigüeñal es de un acero de medio carbono, con buena resistencia, tenacidad y resistencia al desgaste.

3.3.3 *Análisis de resultados de la biela.* Se realiza una comparación entre los resultados de las pruebas (microestructura y espectrometría) realizadas de cada una de las probetas.

También se comparan las propiedades químicas del acero AISI 5120.

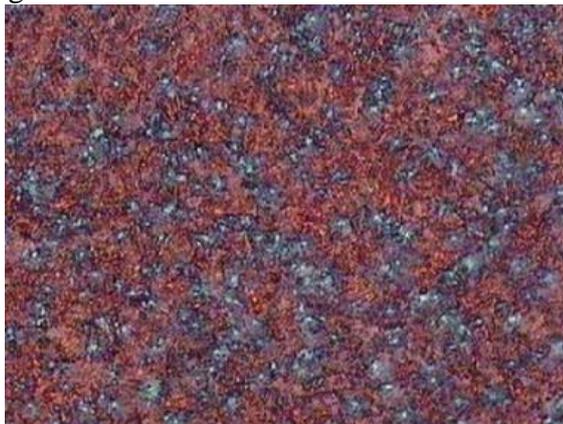
3.3.3.1 *Comparación de la microestructura en microfotografías.*- se comparan la microfotografías de la biela y el acero AISI 5120.

Figura 50. Microestructura de la biela



Fuente: Autores

Figura 51. Microestructura del acero AISI 5120



Fuente: search.totalmateria.com/MaterialDetails/MaterialDetail?vkKey=1250037&keyNum=5006&type=8&hs=1#

3.3.3.2 Comparación de las tablas.- Se compara los porcentajes de los elementos en los datos obtenidos del análisis espectrométrico y del acero AISI 5120, para corroborar el material del que está hecho la contrapesa del cigüeñal.

Tabla 18 Composición química del acero AISI 5120 y de la biela.

Criterios	Datos	Min	Max
C	0,168	0,170	0,230
Mn	0,625	0,600	1,000
P	<0,010	-	0,030
S	<0,010	-	0,040
Si	0,243	0,150	0,350
Ni	0,012	-	0,250
Cr	0,952	0,600	1,000
Mo	0,154	-	0,060
Cu	0,011	0,200	0,35

Fuente: Autores

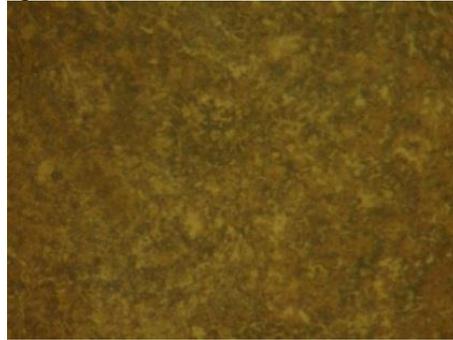
Partiendo desde la comparación de las micrografías, concluimos que es un acero AISI 5120, lo que se corrobora realizando la comparación entre los datos obtenidos de la espectrometría de la biela y de la tabla de la composición química de dicho acero.

La biela es de un acero de bajo carbono y contenido de medio cromo, porque se encuentra sometido a grandes esfuerzos transversales, lo que hace que tenga mayor dureza, resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste y tenacidad a cualquier temperatura.

3.3.4 Muñequilla del cigüeñal. Se realiza una comparación entre los resultados de las pruebas (microestructura y espectrometría) realizadas de cada una de las probetas y las propiedades químicas del acero AISI 5120.

3.3.4.1 Comparación de la microestructura en microfotografías.

Figura 52. Microestructura de la biela



Fuente: Autores

Figura 53. Microestructura del acero AISI 5120



Fuente: search.totalmateria.com/MaterialDetails/MaterialDetail?vkKey=1250037&key

3.3.4.2 Comparación de las tablas.- Se compara las tablas 14 y 15.

Tabla 19. Comparación de la composición química del acero AISI 5120 y de la espectrometría de la muñequilla.

Criterios	Datos	Min	Max
C	0,170	0,170	0,230
Mn	0,621	0,600	1,000
P	<0,010	-	0,030
S	<0,010	-	0,040
Si	0,221	0,150	0,350
Cr	0,955	0,600	1,000
Mo	0,164	-	0,060

Fuente: Autores

Partiendo desde la comparación de las micrografías concluimos que es un acero AISI 5120, lo que se corrobora realizando la comparación entre los datos obtenidos de la espectrometría de la muñequilla del cigüeñal y la tabla de la composición química de dicho acero.

La muñequilla del cigüeñal es de un acero de bajo carbono y contenido de medio cromo, porque se encuentra sometido a grandes esfuerzos transversales, lo que hace que tenga mayor dureza, resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste y tenacidad a cualquier temperatura.

CAPITULO IV

4. CÁLCULOS TERMODINÁMICOS Y DINÁMICOS DEL CONJUNTO CIGÜEÑAL – BIELA

4.1 Cálculos termodinámicos de conjunto cigüeñal – biela.

4.1.1 *Análisis termodinámico del ciclo Otto.* En este capítulo se realizará el análisis termodinámico del motor de una motocicleta mono cilíndrica de cuatro tiempos, teniendo como datos las dimensiones del cilindro.

Datos

$$I = 1$$

$$D = 0,057 \text{ m}$$

$$L = 0,0489 \text{ m}$$

$$Z = 4$$

$$T_1 = 80 \text{ °C}$$

$$P_1 = 101 \text{ kPa}$$

$$\tau = 2,8$$

$$K = 1,4$$

$$\varphi = 9,2:1$$

Resolución

Partiendo desde las dimensiones del cilindro se debe calcular la cilindrada parcial

$$V_p = \frac{\pi}{4} (d^2)(l)$$

$$V_p = \frac{\pi}{4} (0,057 \text{ m})^2 (0,0489 \text{ m})$$

$$V_p = 0,124 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

El mismo que multiplicamos por el número de cilindros y da como resultado la cilindrada total.

$$V_t = V_p(i)$$

$$V_t = (0,124 \times 10^{-3} \text{ m}^3)(1)$$

$$V_t = 0,124 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

La relación de compresión en los motores a gasolina varía de 6 a 10, donde se ha escogido una relación de 9,5. A partir de la relación de compresión se obtiene el volumen uno o volumen total del cilindro.

$$\varphi = \frac{V_1}{V_c}$$

$$\varphi = \frac{V_1}{V_1 - V_p}$$

$$V_t = \frac{\varphi(V_p)}{\varphi - 1}$$

$$V_1 = \frac{9,2(0,124 \times 10^{-3} \text{ m}^3)}{9,2 - 1}$$

$$V_1 = 0,14 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Volumen de la cámara ($V_c = V_2$)

$$V_1 = V_2 + V_p$$

$$V_2 = 0,14 \times 10^{-3} \text{ m}^3 - 0,124 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0,016 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

4.1.1.1 *Proceso Adiabático Isentrópico de Compresión.* Para determinar la presión dos, se debe conocer la presión al inicio de la compresión que es la presión atmosférica local y la contante k que es la relación de calores específicos, este valor encontramos en la siguiente tabla.

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\left(\frac{1}{k} \right)}$$

Tabla 20. Calores específicos y constante de gases a baja presión

Gas		M kg/kgmol	c_p kcal/kg·K	c_v kcal/kg·K	c_p kJ/kg·K	c_v kJ/kg·K	$K = c_p/c_v$	R lbf·pie/lb·°R	R J/kg·K
Argón (A)	(b)	39.95	0.1244	0.0747	0.5215	0.3132	1.666	38.68	208.17
Helio (He)	(b)	4.003	1.241	0.745	5.2028	3.1233	1.666	386.04	2077.67
Mercurio (Hg)	(b)	200.61	0.0248	0.0148	0.1039	0.0624	1.666	7.703	41.45
Neón (Ne)	(b)	20.183	0.246	0.1476	1.0313	0.6188	1.666	76.57	412.10
Xenón (Xe)	(b)	131.30	0.0378	0.0227	0.1585	0.0952	1.666	11.77	63.34
Aire	(a)	28.970	0.24	0.1714	1.0062	0.7186	1.4	53.342	287.08
Monóxido de carbono (CO)		28.01	0.2487	0.1778	1.0428	0.7454	1.399	55.170	296.92
Cloro (Cl ₂)		70.914	0.1144	0.0864	0.4796	0.3622	1.324	21.791	117.28
Flúor (F ₂)	(d)	38.00	0.197	0.1447	0.8259	0.6066	1.36	40.67	218.88
Hidrógeno (H ₂)		2.016	3.419	2.434	14.3338	10.2043	1.40	766.54	4125.52
Hidroxilo (OH)	(e)	17.008	0.421	0.3031	1.7650	1.2708	1.383	90.858	488.99
Oxido nítrico (NO)		30.008	0.2378	0.1716	0.9969	0.7194	1.386	51.497	277.15
Nitrógeno (N ₂)		28.016	0.2484	0.1775	1.0414	0.7442	1.389	55.158	296.86
Oxígeno (O ₂)	(e)	32	0.2194	0.1573	0.9198	0.6595	1.395	48.291	259.90
Dióxido de carbono (CO ₂)		44.010	0.2016	0.1565	0.8452	0.6561	1.288	35.11	188.96
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	(e)	34.086	0.2397	0.1799	1.0049	0.7542	1.321	45.33	243.96
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	(e)	46.008	0.1921	0.1489	0.8054	0.6242	1.29	33.59	180.78
Oxido nítrico (N ₂ O)	(e)	44.016	0.2097	0.1646	0.8791	0.6901	1.274	35.11	188.96
Ozono (O ₃)	(e)	48	0.1954	0.154	0.8192	0.6456	1.269	32.194	173.27
Dióxido de azufre (SO ₂)	(e)	64.07	0.1487	0.1177	0.6234	0.4934	1.263	24.12	129.81
Vapor de agua (H ₂ O)	(a)	18.016	0.4454	0.3352	1.8673	1.4053	1.329	85.77	461.61
Acetileno (C ₂ H ₂)	(e)	26.036	0.4048	0.3285	1.6971	1.3772	1.232	59.35	319.42
Amoniaco (NH ₃)	(e)	17.032	0.499	0.382	2.0920	1.6015	1.304	90.73	488.31
n-Butano (C ₄ H ₁₀)		58.120	0.4007	0.3665	1.6799	1.5365	1.093	26.59	143.11
Cianógeno (C ₂ N ₂)	(e)	52.038	0.261	0.2228	1.0942	0.9341	1.172	29.7	159.84
Etano (C ₂ H ₆)		30.068	0.4186	0.3526	1.7549	1.4782	1.187	51.39	276.58
Etileno (C ₂ H ₄)	(e)	28.052	0.3654	0.2946	1.5319	1.2351	1.240	55.09	296.49
Hidrazina (N ₂ H ₄)	(e)	32.048	0.393	0.33	1.6476	1.3834	1.195	48.22	259.52
Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	(e)	34.016	0.303	0.2446	1.2703	1.0225	1.239	45.43	244.50
Metano (CH ₄)	(e)	16.043	0.5099	0.3861	2.1377	1.6187	1.321	96.33	518.45
Metanol (CH ₃ O)	(c)	32.042	0.336	0.274	1.4086	1.1487	1.226	48.23	259.57
n-Octano (C ₈ H ₁₈)		114.224	0.3952	0.3778	1.6568	1.5839	1.046	13.53	72.82
Propano (C ₃ H ₈)		44.094	0.3985	0.3535	1.6707	1.4820	1.127	35.05	188.64

Fuente: Termodinámica de Faires/Simmang

$$P_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\left(\frac{1}{K}\right)} (P_1)$$

$$P_2 = \left(\frac{0,14 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{0,016 \times 10^{-3} \text{ m}^3}\right)^{1,4} (101 \text{ kPa})$$

$$P_2 = 2,38 \text{ MPa}$$

Al tener la temperatura uno, que es la temperatura a la que trabaja el motor en condiciones normales, se puede determinar la temperatura dos.

$$T_2 = T_1(\varphi)^{K-1}$$

$$T_2 = 80(9,2)^{1,4-1}$$

$$T_2 = 194,35 \text{ °C}$$

$$V_2 = V_3 = 0,27 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

4.1.1.2 *Proceso de suministro de calor a V=cte.* La relación de compresión a volumen constante (grado de elevación de la presión) puede variar de 2,8 a 4,2, por lo que se ha escogido un valor de 2,8 para poder sacar la presión 3 y la temperatura 3.

$$P_3 = \tau(P_2)$$

$$P_3 = 2,8(2,104 \text{ MPa})$$

$$P_3 = 6,3 \text{ MPa}$$

$$\frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3}$$

$$T_3 = \frac{P_3(T_2)}{P_2}$$

$$T_3 = \frac{(5,89 \text{ MPa})(194,35 \text{ °C})}{2,104 \text{ MPa}}$$

$$T_3 = 544,2 \text{ °C}$$

4.1.1.3 *Proceso adiabático Isentrópico de expansión.* Calcular los últimos parámetros para encontrar las fuerzas en cada ciclo del motor, sacar la temperatura 4 y finalmente la presión 4.

$$T_4 = \frac{T_3}{(\varphi)^{(k-1)}}$$

$$T_4 = \frac{544,2 \text{ °C}}{(9,2)^{(1,4-1)}}$$

$$T_4 = 224 \text{ °C}$$

$$V_1 = V_4$$

$$P_3 V_3^k = P_4 (V_4^k)$$

$$P_4 = \left[\frac{P_3 (V_3^k)}{V_4} \right]^{\left(\frac{1}{k}\right)}$$

$$P_4 = \left[\frac{(5,89 \text{ MPa})(0,016 \times 10^{-3} \text{ m}^3)^{1,4}}{0,14 \times 10^{-3} \text{ m}^3} \right]^{\left(\frac{1}{1,4}\right)}$$

$$P_4 = 856,9 \text{ kPa}$$

Una vez obtenidas todas presiones en cada ciclo del motor, calculamos las fuerzas.

$$A = \frac{\pi(d^2)}{4}$$

$$A = \frac{\pi(0,057)^2}{4}$$

$$A = 2,55 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

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

$$F_1 = P_1(A)$$

$$F_1 = 101\,000 \text{ Pa} (2,55 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$F_1 = 257,3 \text{ N}$$

$$F_2 = P_2(A)$$

$$F_2 = 2,38 \text{ MPa}(2,55 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$F_2 = 5\,754,16 \text{ N}$$

Calcular la fuerza máxima a la que está sometido el pistón.

$$F_3 = P_3(A)$$

$$F_3 = 6,3 \text{ MPa}(2,55 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$F_3 = 16\,128,23 \text{ N}$$

Calcular la fuerza mínima a la que está sometido el pistón.

$$F_4 = P_4(A)$$

$$F_4 = 856,9 \text{ kPa}(2,55 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$F_4 = 2185,3 \text{ N}$$

4.1.2 *Análisis termodinámico del ciclo real.* Se debe realizar los cálculos del análisis termodinámico del ciclo real para determinar la fuerza media efectiva, a partir de esta fuerza se realizará el análisis de los esfuerzos a los que está sometido el conjunto cigüeñal – biela.

Los datos utilizados fueron sacados del catálogo de una motocicleta de prestaciones similares.

Datos:

$$N = 9000 \text{ rpm} = 54\,000 \text{ grado sex/s}$$

$$N_{\max} = 9\,321,25 \text{ W}$$

$$H_i = 43,45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$P_1 = 101\,000 \text{ Pa}$$

$$V_p = 0,124 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$T = 80^\circ\text{C}$$

$$m_a = 1,4 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$R = 78,3 \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{Kg}\cdot^\circ\text{C}}$$

$$\eta_T = 0,3 \text{ Para gasolina}$$

Resolución

Encontrar la masa teórica, utilizando la constante universal de los gases de (78,3 kN.m/Kg.°C)

$$m_t = \frac{P_1(V_p)}{R(T_1)}$$

$$m_t = \frac{101 \text{ kPa}(0,124 \times 10^{-3} \text{ m}^3)}{\left(78,3 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}\right) (80 \text{ }^\circ\text{C})}$$

$$m_t = 2 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\eta_v = \frac{m_a}{m_t}$$

$$\eta_v = \frac{1,4 \times 10^{-3} \text{ kg}}{2 \times 10^{-3} \text{ kg}}$$

$$\eta_v = 0,7$$

$$m_c = \frac{m_a}{\varphi}$$

$$m_c = \frac{1,4 \times 10^{-3} \text{ kg}}{9,2}$$

$$m_c = 0,15 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

Se calcula el calor entregado al fluido por ciclo, sabiendo que el poder calorífico inferior del combustible utilizado (43,45 kJ/kg).

$$Q_t = m_c(H_i)$$

$$Q_t = (0,15 \times 10^{-3} \text{ kg}) \left(43,45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$$

$$Q_t = 6\,517,5 \text{ J}$$

Calcular los rendimientos y potencias hasta llegar a la potencia media efectiva, y finalmente encontrar la presión media efectiva. Sabiendo que la relación de calores específicos es de 1,4.

$$\eta_t = 1 - \left[\frac{1}{\varphi^{(k-1)}} \right]$$

$$\eta_t = 1 - \left[\frac{1}{9,2^{(1,4-1)}} \right]$$

$$\eta_t = 0,58$$

$$\eta_i = \frac{\eta_T}{\eta_t}$$

$$\eta_i = \frac{0,30}{0,58}$$

$$\eta_i = 0,52$$

$$W_t = \eta_t(Q_t)$$

$$W_t = (0,58)(6\,517,5 \text{ J})$$

$$W_t = 3\,780,15 \text{ J}$$

$$N_t = \frac{2i(W_t)(n)}{z}$$

$$N_t = \frac{2 \frac{\text{t}}{\text{rev}} (1 \text{ cilindro}) (9000 \frac{\text{rev}}{\text{min}}) (3\,780,15 \frac{\text{J}}{\text{Ciclo.cilindro}})}{(4 \frac{\text{t}}{\text{ciclo}}) (60 \frac{\text{s}}{\text{min}})}$$

$$N_t = 283,5 \text{ kW}$$

$$N_i = \eta_i(N_t)$$

$$N_i = 0,52(283,5 \text{ kW})$$

$$N_i = 147,4 \text{ kW}$$

$$N_e = \eta_m(N_i)$$

$$N_e = 0,9(147,4 \text{ kW})$$

$$N_e = 132,8 \text{ kW}$$

$$P_e = \frac{N_e}{i(n)(V)}$$

$$P_e = \frac{(132,8 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{s}}) (60 \frac{\text{s}}{\text{min}})}{(9\,000 \frac{\text{rev}}{\text{min}}) (2,189 \times 10^{-3} \text{ m}^3) (0,5 \frac{\text{ciclos}}{\text{rev}})}$$

$$P_e = 2,5 \text{ MPa}$$

Se calcula la fuerza media efectiva, la misma que se utilizará para el análisis de esfuerzos en el programa de métodos de elementos finitos.

$$F. m. e = P_e(A)$$

$$F. m. e = 2,5 \text{ MPa} (2,51 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$F. m. e = 6\,402,01 \text{ N}$$

4.2 Cálculos dinámicos del conjunto cigüeñal – biela.

4.2.1 *Cálculos de la fuerza en función del tiempo.* Se realiza la tabla de las fuerzas que se aplican en la cabeza del pistón, en función del tiempo. La misma que se utilizó para el análisis e esfuerzos en ANSIS.

Tabla 21. Fuerza en función del tiempo

Grados	Fuerzas [kgf]	Tiempo[s]	Fuerza[N]
0	0	0	0
180	26,26	3,33E-03	257,7
360	1644,1	6,66E-03	16128,23
540	222,9	0,01	2185,3
720	0	0,013	0

Fuente: Autores

CAPITULO V

5. MODELACIÓN Y DISEÑO DEL CONJUNTO CIGÜEÑAL – BIELA.

5.1 Modelación de las piezas del conjunto cigüeñal – biela.

En el análisis de esfuerzos se debe modelar cada una de las piezas que conforman el conjunto cigüeñal – biela. Para el modelado del conjunto se utilizó un software CAD llamado SolidWorks, en donde operamos a través de una interfaz gráfica. Permittiéndonos producir modelos en 3D de gran precisión.

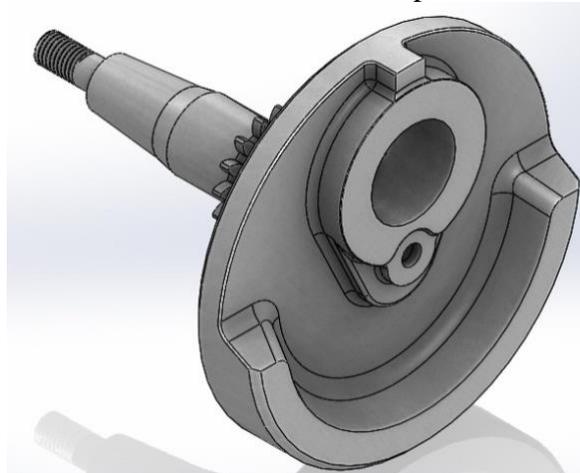
5.1.1 *Modelación del cigüeñal.* Los ejes de las contrapesas del cigüeñal no son iguales debido a que cada uno cumple una función diferente.

Las contrapesas son de las mismas magnitudes y dimensiones porque no varía su funcionamiento.

5.1.1.1 *Modelación de la contrapesa uno del cigüeñal.* Se ha modelado la contrapesa uno siendo una parte esencial para conformar el cigüeñal completo, está formada por un piñón para la transmitir el movimiento hacia una cadena.

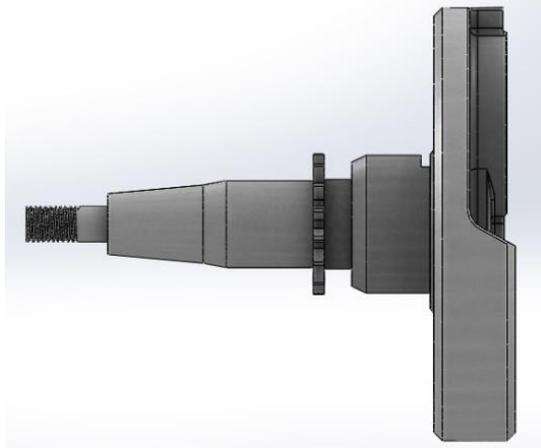
En la contrapesa tiene un acople para la muñequilla y en el eje se ensambla un rodamiento para evitar las vibraciones al momento de girar.

Figura 54. Vista isométrica de la contrapesa uno del cigüeñal



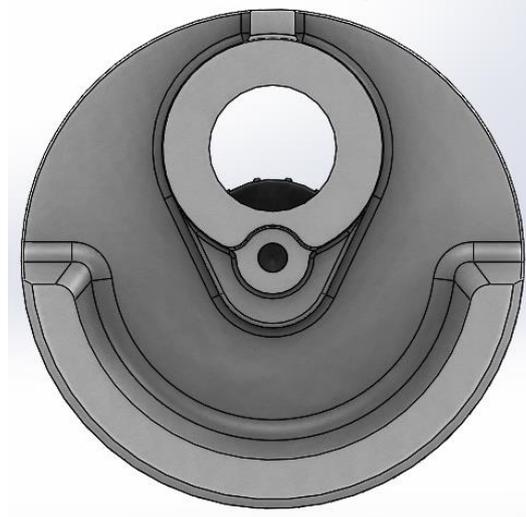
Fuente: Autores

Figura 55. Vista lateral de la contrapesa uno del cigüeñal



Fuente: Autores

Figura 56. Vista frontal de la contrapesa uno del cigüeñal



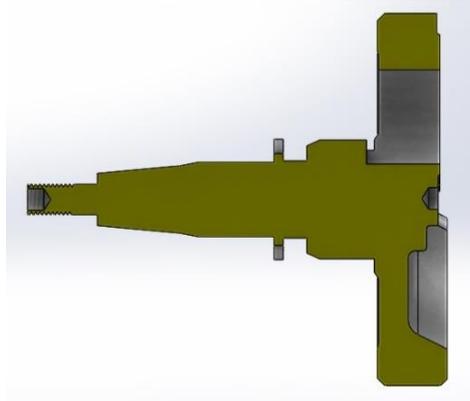
Fuente: Autores

Figura 57. Vista posterior de la contrapesa uno del cigüeñal



Fuente: Autores

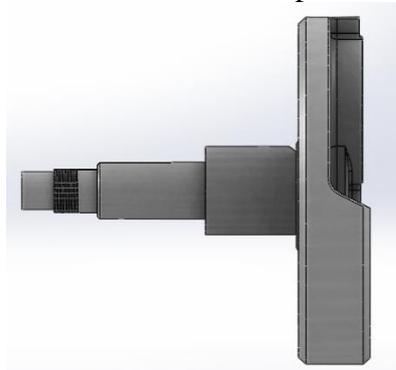
Figura 58. Vista en corte de la contrapesa uno del cigüeñal



Fuente: Autores

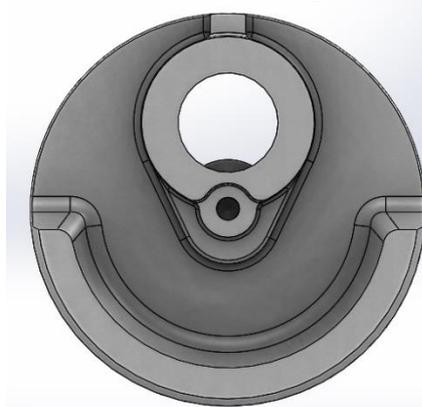
5.1.1.2 Modelación de la contrapesa dos del cigüeñal. En el modelado de la contrapesa dos es una de las partes más que conforman el cigüeñal. A diferencia de la contrapesa uno esta contrapesa carece de un piñón, posee un orificio de lubricación para el paso del aceite hacia el cojinete del acople para la muñequilla y en el eje se ensambla un rodamiento para evitar las vibraciones al momento de girar.

Figura 59. Vista lateral de la contrapesa dos del cigüeñal



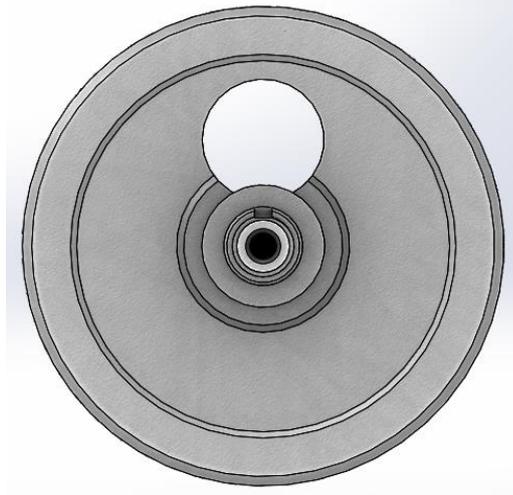
Fuente: Autores

Figura 60. Vista frontal de la contrapesa dos del cigüeñal



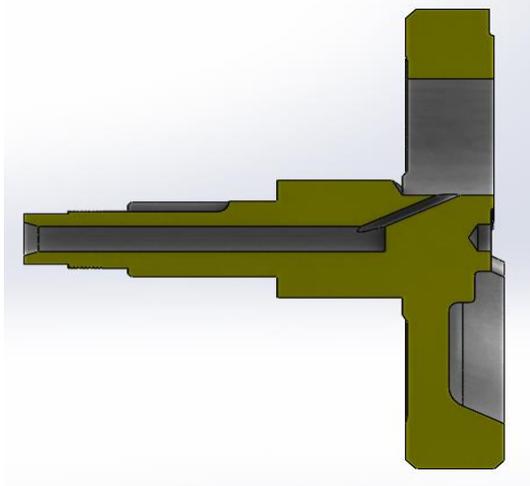
Fuente: Autores

Figura 61. Vista posterior de la contrapesa dos del cigüeñal



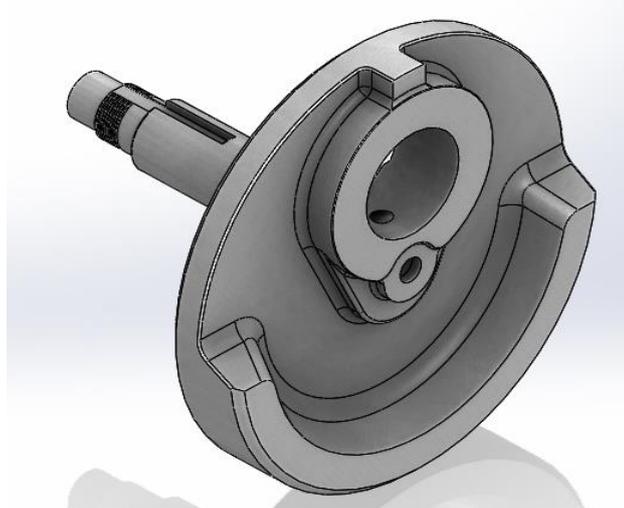
Fuente: Autores

Figura 62. Vista en corte de la contrapesa dos del cigüeñal



Fuente: Autores

Figura 63. Vista isométrica de la contrapesa dos del cigüeñal

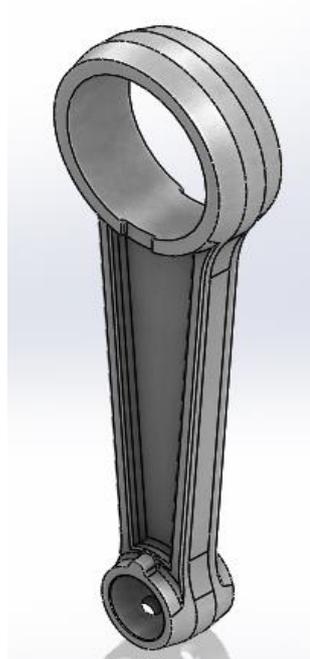


Fuente: Autores

5.1.2 Modelación biela. En este estudio se ha realizado el modelado de una biela enteriza, con un perfil de doble T para evitar el pandeo por fuerzas de tracción y compresión.

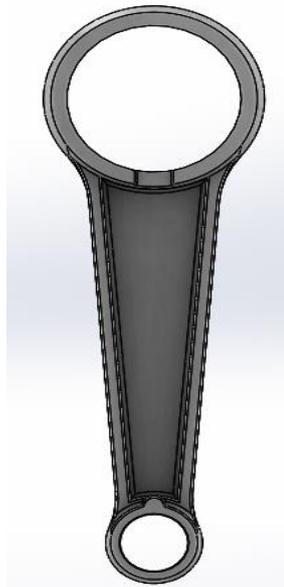
También tiene sus orificios para la lubricación con el bulón del pistón. El pie de biela se acopla con la muñequilla y así formar el conjunto cigüeñal – biela.

Figura 64. Vista isométrica de la biela



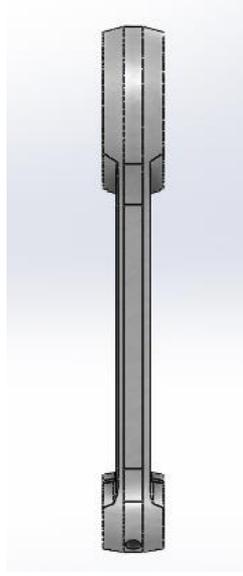
Fuente: Autores

Figura 65. Vista frontal de la biela



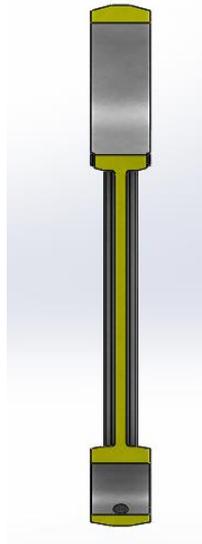
Fuente: Autores

Figura 66. Vista lateral de la biela



Fuente: Autores

Figura 67. Vista en corte de la biela

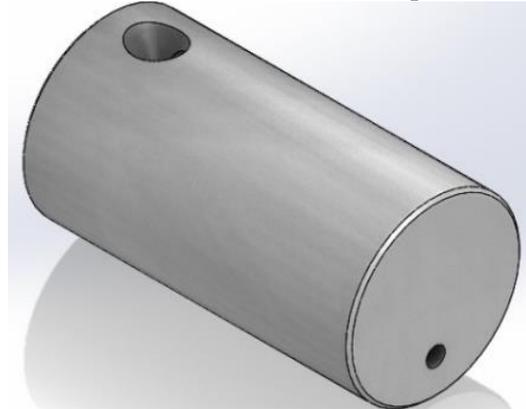


Fuente: Autores

5.1.3 *Modelación de la muñequilla del cigüeñal.* Se realizó el modelado de la muñequilla siendo su forma geométrica cilíndrica para facilitar la transformación del movimiento rectilíneo a giratorio del conjunto cigüeñal – biela.

Se acopla en la contrapesa uno y la contrapesa dos, también se encuentran ensamblados a la biela y el cojinete, formando en si al conjunto mencionado. También posee orificios de lubricación que están conectados a la contrapesa dos para el paso de aceite hacia el cojinete y el pie de biela.

Figura 68. Vista isométrica de la muñequilla del cigüeñal



Fuente: Autores

Figura 69. Vista superior de la muñequilla del cigüeñal



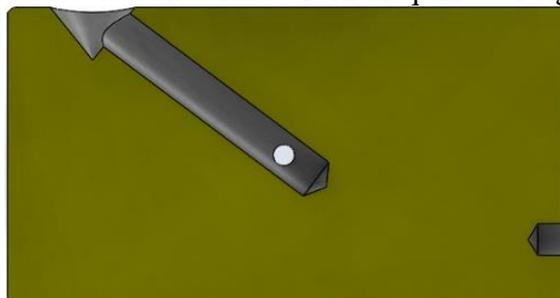
Fuente: Autores

Figura 70. Vista frontal de la muñequilla del cigüeñal



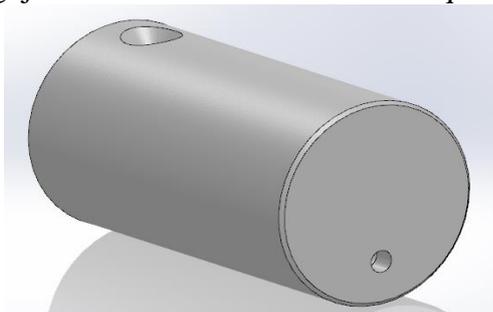
Fuente: Autores

Figura 71. Vista en corte de la muñequilla del cigüeñal



Fuente: Autores

Figura 72. Agujero 3 de lubricación de la muñequilla del cigüeñal



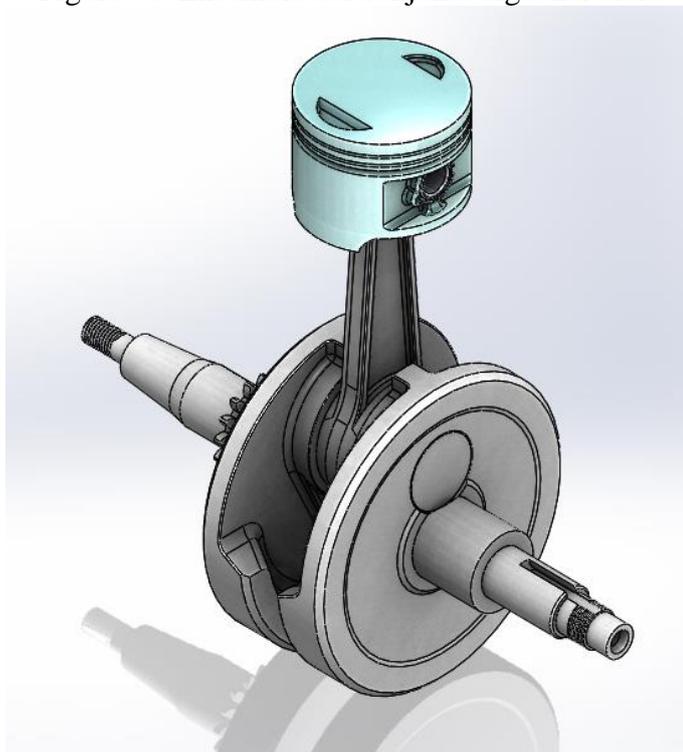
Fuente: Autores.

5.2 Ensamblaje de piezas del conjunto cigüeñal – biela mediante software.

El conjunto cigüeñal - biela es ensamblado con sus respectivas restricciones como coincidencia entre planos, operaciones concéntricas y operaciones tangentes para así mantener una orientación correcta de las partes y piezas, evitando conflictos geométricos o mecánicos.

El objetivo del diseño y ensamble del conjunto es transformar el movimiento rectilíneo del pistón a rotativo en el cigüeñal y viceversa. Evitando el rozamiento de superficies y así aumentar su vida útil.

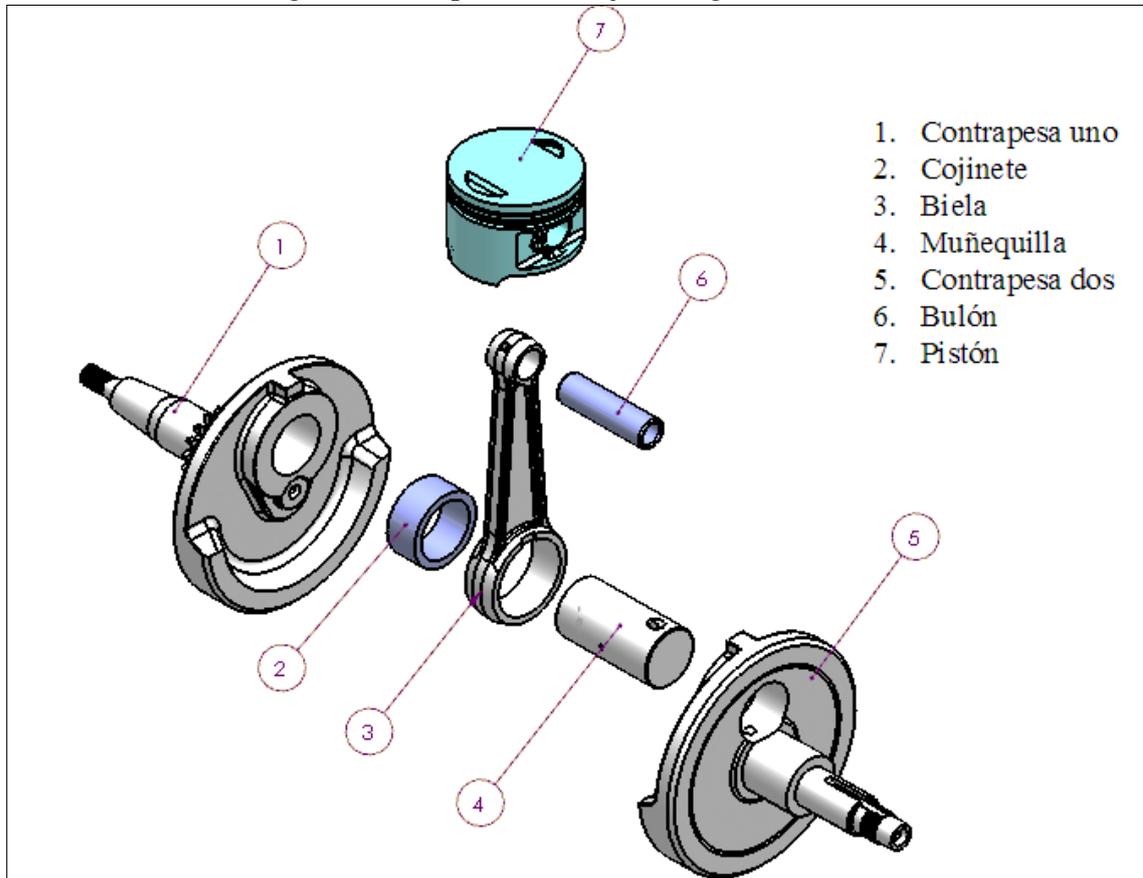
Figura 73. Ensamble del conjunto cigüeñal biela



Fuente: Autores

En el conjunto despiezado al separarse cada uno de sus elementos se mantiene sus restricciones geométricas con lo cual se evitan errores de posicionamiento. Las principales partes para nuestro estudio son la contrapesa uno, la contrapesa dos, la muñequilla y la biela.

Figura 74. Despiece de conjunto cigüeñal - biela



Fuente: Autores

5.3 Análisis de esfuerzo del conjunto cigüeñal - biela por Elementos Finitos mediante software

El análisis del conjunto cigüeñal – biela se realizó mediante CAE en el software Ansys, donde se ubica entre la categoría de elementos finitos, que nos permite obtener soluciones aproximadas a problemas de ingeniería.

En el software de simulación para ingeniería, se ha creado los materiales que conforman cada una de las piezas del conjunto cigüeñal – biela porque no se encuentran dentro de la lista de materiales de la biblioteca del software, en este caso son los aceros AISI 1050 y

AISI 5120. Para la creación del material se debe ingresar sus propiedades, los datos más importantes para el análisis de esfuerzos son el coeficiente de Poisson, el módulo de elasticidad y su densidad.

Figura 75. Creación del acero AISI 1050

Properties of Outline Row 3: Acero AISI 1050					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7870	kg m ⁻³		<input type="checkbox"/>
3	Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	Tensile Yield Strength	370	MPa		<input type="checkbox"/>
14	Compressive Yield Strength	370	MPa		<input type="checkbox"/>
15	Tensile Ultimate Strength	660	MPa		<input type="checkbox"/>

Fuente: Autores

Figura 76. Creación del acero AISI 5120

Properties of Outline Row 4: Acero AISI 5120					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7800	kg m ⁻³		<input type="checkbox"/>
3	Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	Tensile Yield Strength	370	MPa		<input type="checkbox"/>
14	Compressive Yield Strength	370	MPa		<input type="checkbox"/>
15	Tensile Ultimate Strength	600	MPa		<input type="checkbox"/>

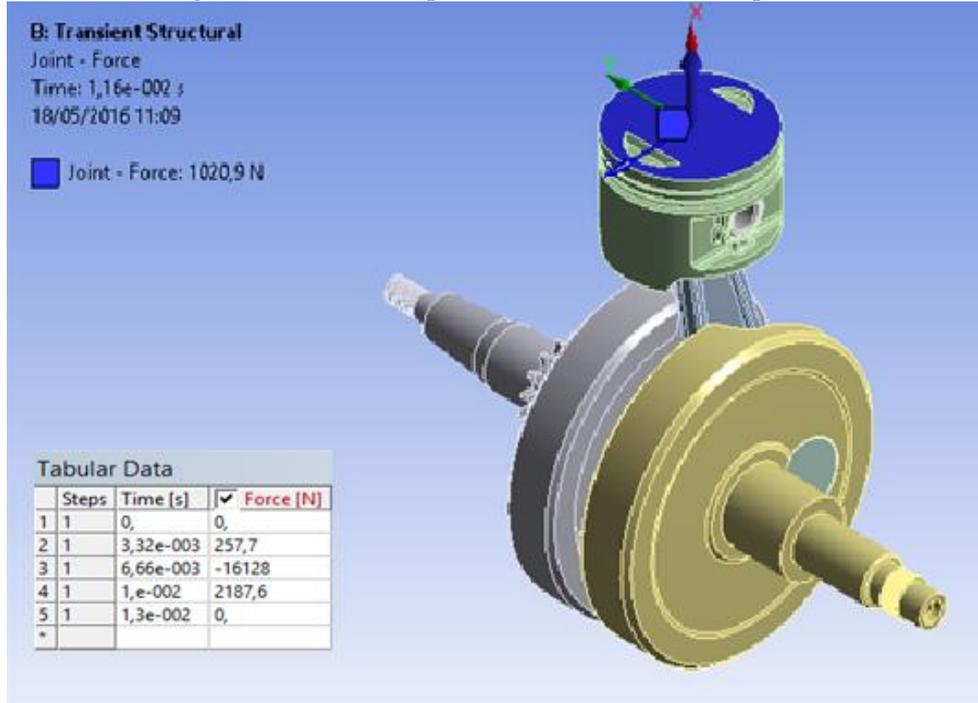
Fuente: Autores

Mediante un software de simulación para ingeniería, se realizó un mallado del conjunto cigüeñal - biela bajo un comportamiento de entorno real. Para analizar los esfuerzos se basa principalmente en la teoría de elementos finitos para estructuras y la teoría de volúmenes finitos para líquidos.

El conjunto cigüeñal – biela está sometido a la fuerza media efectiva, la misma que fue calculada por varias fórmulas matemáticas y algunos datos generales obtenidos de la propia motocicleta.

La carga se aplica en la cabeza del pistón ya que es ahí donde recae la fuerza de la explosión producida por el contacto de una de mezcla de aire – combustible y una chispa provocada por la bujía..

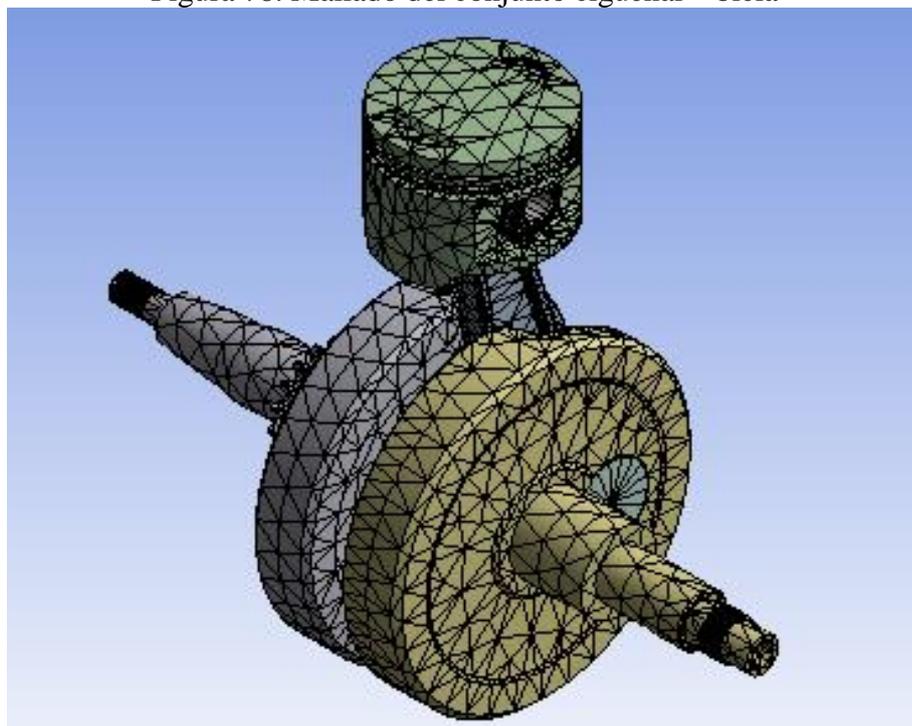
Figura 77. Fuerzas aplicadas en la cabeza del pistón



Fuente: Autores

A continuación se realiza el mallado del conjunto cigüeñal – biela. El mismo que debe realizarse de la mejor manera, tratando que sea uniforme en todas las superficies de los elementos, para garantizar una mejor aproximación del cálculo a lo real.

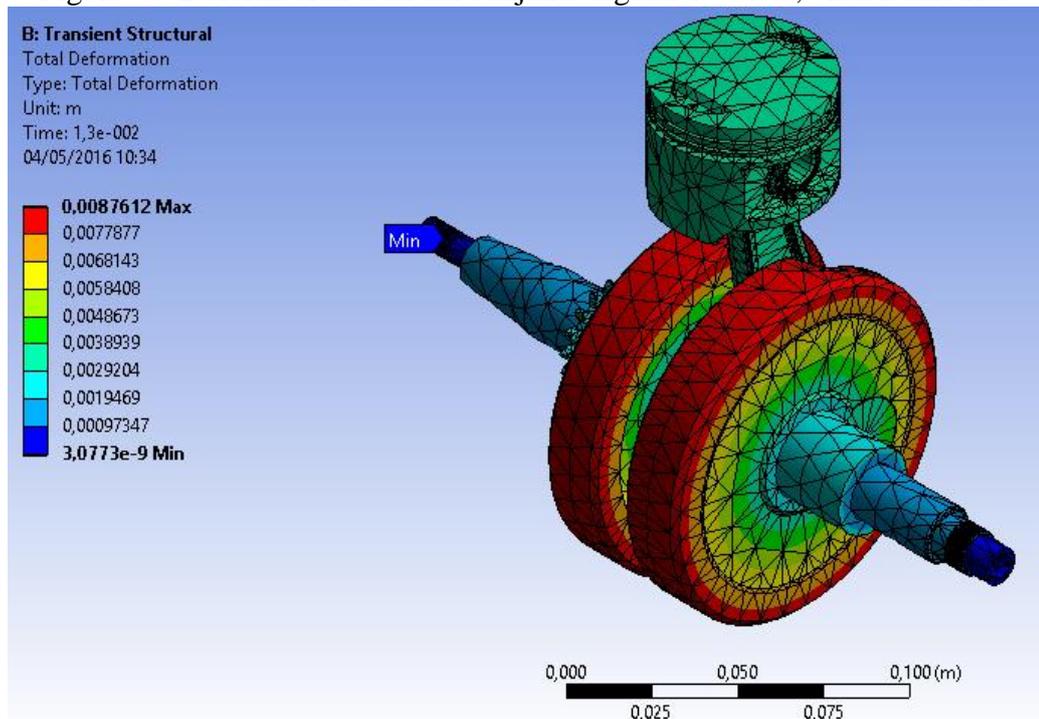
Figura 78. Mallado del conjunto cigüeñal – biela



Fuente: Autores

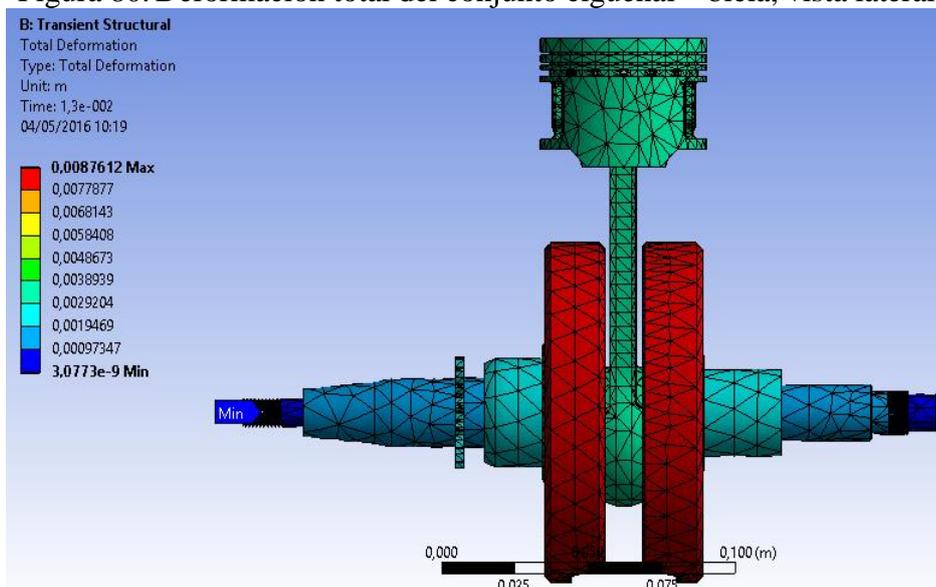
Se debe seleccionar las soluciones que se necesita para el proyecto, en este caso se ha escogido la deformación total, en donde se aprecia los lugares que se deben poner mayor atención, por consiguiente si la deformación es muy grande, hay que reforzar esa zona, cambiando el material por uno que tenga mayores prestaciones o aumentar la sección del elemento.

Figura 79. Deformación total del conjunto cigüeñal – biela, vista isométrica



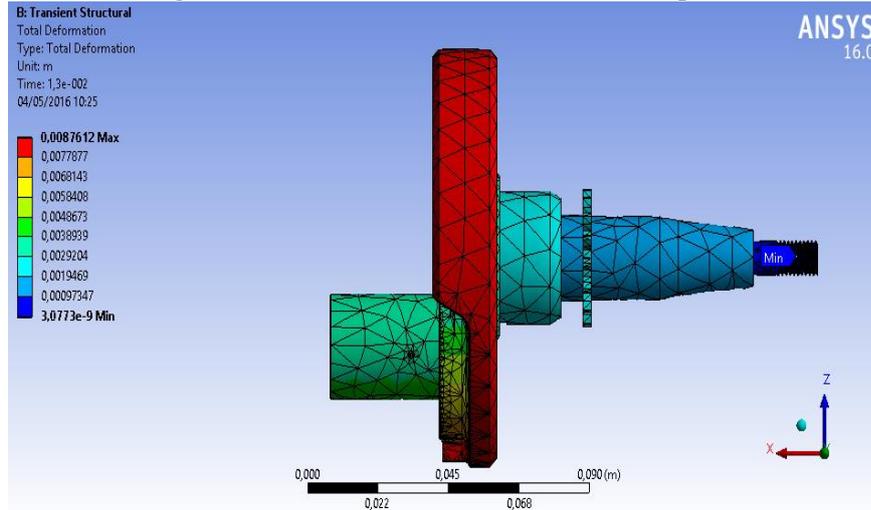
Fuente: Autores

Figura 80. Deformación total del conjunto cigüeñal – biela, vista lateral



Fuente: Autores

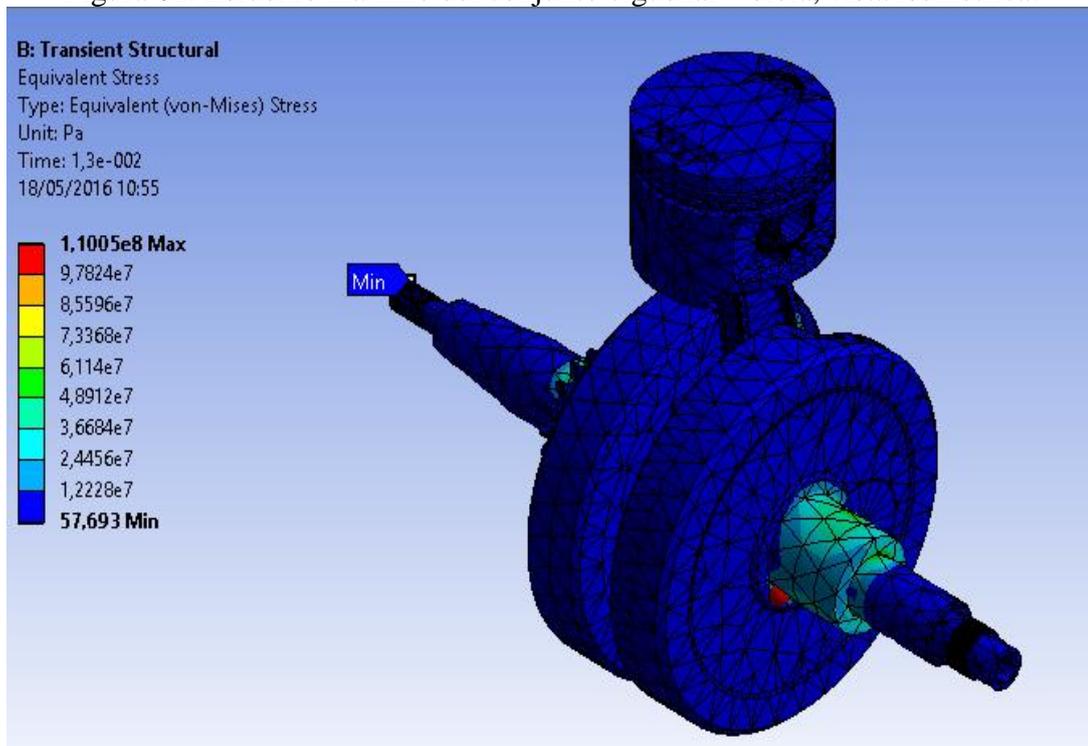
Figura 81. Deformación total de la muñequilla



Fuente: Autores

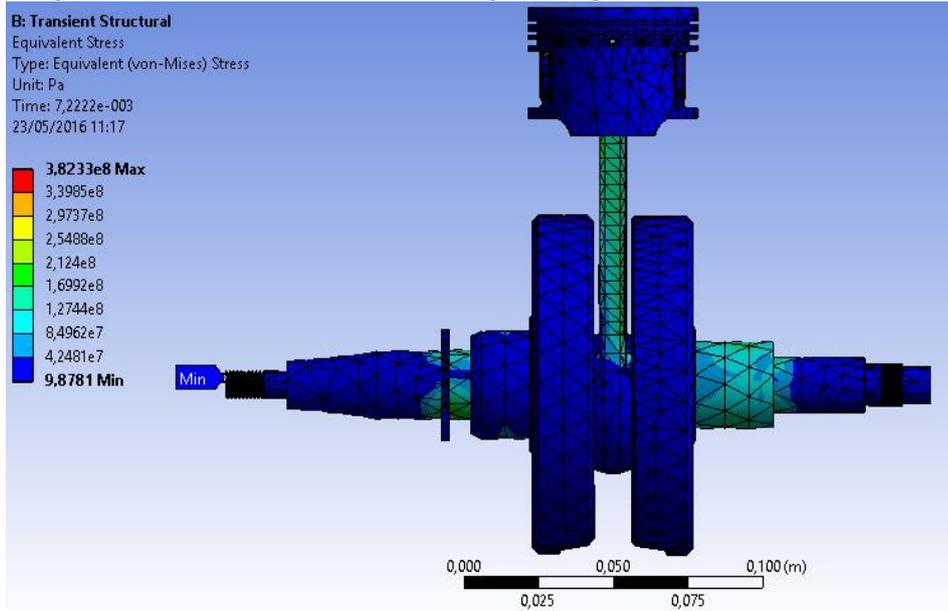
También se seleccionó la opción para el esfuerzo equivalente, aquí se puede apreciar el esfuerzo máximo y mínimo. Mediante un código de colores se puede diferenciar los resultados de las cargas a los que está sometido el conjunto. El color azul que recubre las diferentes superficies significa que están soportando cargas mínimas, mientras que las superficies que son recubiertas por diferentes colores hasta llegar al color rojo significa que están soportando mayores cargas hasta llegar a la carga máxima.

Figura 82. Esfuerzo máximo del conjunto cigüeñal – biela, vista isométrica.



Fuente: Autores

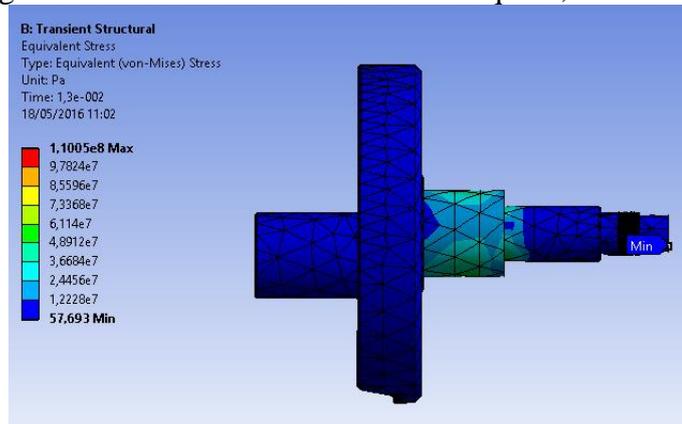
Figura 83. Esfuerzo máximo del conjunto cigüeñal – biela, vista lateral.



Fuente: Autores

En la figura siguiente se puede observar dos partes del conjunto cigüeñal –biela con diferentes códigos de colores, respectivamente se puede observar que la muñequilla tiene un valor mínimo de los esfuerzos que esta soportando y la contrapesa dos tiene diferentes valores, indicando que tiene esfuerzos máximos y mínimos.

Figura 84. Esfuerzo máximo de la muñequilla, vista lateral.

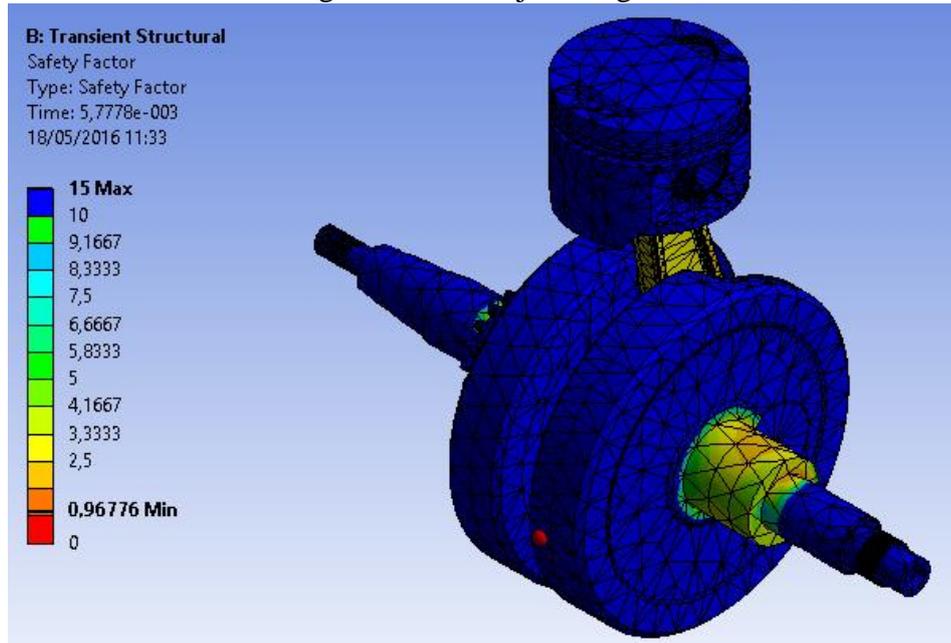


Fuente: Autores

Seleccionar la opción para el coeficiente de seguridad, aquí se encuentran los valores para evaluar la validez del diseño y su durabilidad bajo condiciones de cargas simples o complejas, este coeficiente es el sobredimensionamiento que se le da al conjunto, por las siguientes razones: previsiones de desgaste por estar sometida a grandes esfuerzos y por la tolerancia de fabricación.

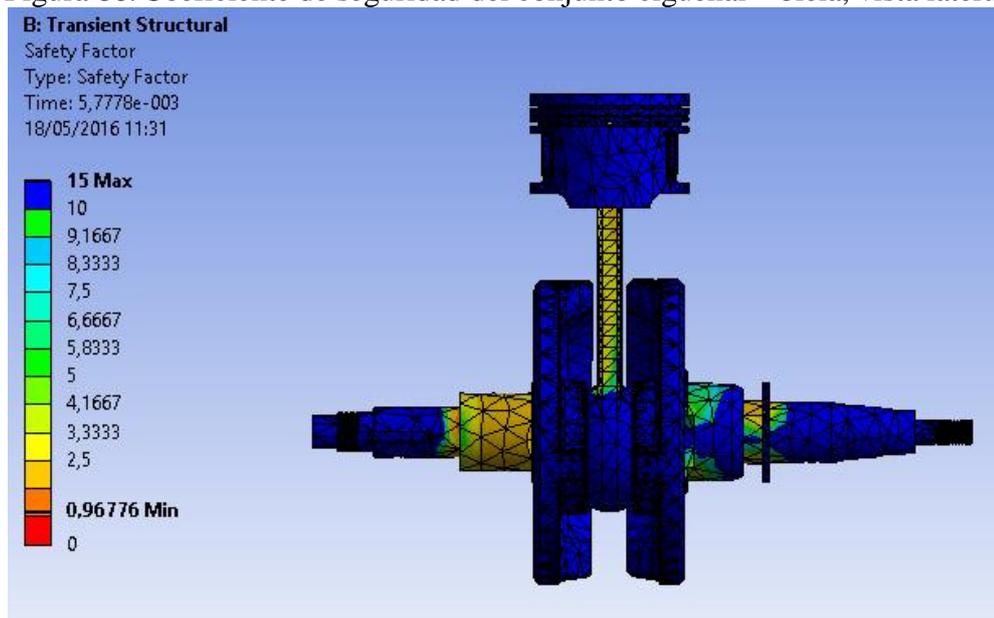
También se puede observar los resultados mediante un código de colores. El color rojo que recubre las superficies del conjunto nos indica que no puede soportar más cargas de las aplicadas anteriormente con un valor de 2.5 como mínimo, el color azul que recubre la mayor parte de las piezas nos indica que pueden soportar las cargas mencionadas y también cargas adicionales. Con estos valores podemos determinar que el conjunto puede soportar mayores revoluciones y mayores esfuerzos.

Figura 85. Coeficiente de seguridad del conjunto cigüeñal – biela, vista isométrica



Fuente: Autores

Figura 86. Coeficiente de seguridad del conjunto cigüeñal – biela, vista lateral



Fuente: Autores.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En la espectrometría para el cigüeñal se encuentra la composición química porcentajes de: Carbono 0,50, Silicio 0,22, Manganeso 0,68 y Cromo 0,15.

Se determinó la dureza en la contrapesa de 63 unidades en la escala rockwell B y en el eje del cigüeñal la dureza es de 50 unidades en la escala Rocwell C.

El análisis microestructural se observa que el cigüeñal a pesar de ser del mismo material, se diferencia por sus tratamientos térmicos, en la contrapesa y en el eje.

La contrapesa del cigüeñal tiene una microestructura de martensita revenida, mientras que en el eje del cigüeñal está conformada por Perlita y Ferrita.

Las pruebas que se realizaron al cigüeñal determinan que el material es un acero AISI 1050, pero dicho material no es comercial dentro del Ecuador.

En la espectrometría para la biela se encuentra la composición química en porcentajes de: Carbono 0,17, Silicio 0,24, Manganeso 0,63 y Cromo 0,95. <<

Se determinó que la dureza en la biela es de 41 unidades en la escala Rockwell C.

El análisis microestructural de la biela, se determina que está compuesta por martensita revenida.

En la espectrometría para la muñequilla del cigüeñal se encuentra la composición química en porcentajes de: Carbono 0.17, Silicio 0.62, Manganeso 0.62 y Cromo 0.96. Por lo que se determina que es un acero AISI 5120 de bajo carbono.

Se determinó que la dureza en la muñequilla del cigüeñal es de 50 unidades en la escala Rockwell C.

El análisis microestructura de la muñequilla del cigüeñal determina que está compuesta por martensita revenida.

En las pruebas realizadas, se determinó que el material de la biela y de la muñequilla del cigüeñal es un Acero AISI 5120, pero dicho material no es comercial dentro del Ecuador.

Los aceros AISI 1050 Y AISI 5120, son materiales que se utilizan para la fabricación específicamente de ejes, cigüeñales y bielas, en el Ecuador no existen fábricas de dichas partes y piezas, razón por la cual no hay la necesidad de comercialarlo dentro del país.

El cálculo termodinámico determina que la fuerza mínima es de 257,71 N, fuerza máxima de 16 128,23 N y la fuerza media efectiva de 6 402,01 N.

Se ha realizado el análisis del conjunto cigüeñal – biela en el Software Ansys, en donde se ha obtenido un esfuerzo máximo de $1,895 \times 10^7$ Pa y un mínimo de 28,74 Pa, y un coeficiente de seguridad máximo de 15 y mínimo de 1,035 a partir de dichos datos se determina que el esfuerzo máximo y el coeficiente de seguridad al que está sometido dicho conjunto están dentro de los parámetros permisibles para el diseño.

6.2 Recomendaciones

Para las pruebas de espectrometría, el tamaño de las probetas debe tener un radio mínimo de veinte milímetros y un grosor de tres milímetros, para evitar que los resultados de la prueba sean erróneos.

Según el análisis realizado del conjunto cigüeñal – biela, se determinó que están constituidos por los aceros AISI 1050 y AISI 5120, los mismos no son comerciales dentro del Ecuador, por lo que recomendamos para un futuro proceso de manufactura utilizar los aceros AISI 1045 y AISI 304, debido a que sus propiedades son semejantes.

En el software se debe tomar en cuenta, que la relación de posición de cada una de las piezas que conforman el conjunto cigüeñal – biela sean las correctas para evitar interferencias entre los elementos.

BIBLIOGRAFÍA

ALELAVIANA, *blogdiario.com*. [En línea] 2014. <http://alelaviana.blogspot.es/categoria/motores/>.

ARPEM, *Arpem.com*. [En línea] 2015. <http://www.arpem.com/motos/modelos/triumph/fotos/2013/daytona675/suspension.html>.

BAZELA, Carlos. *moto.com.br*. [En línea] 2012. http://www.moto.com.br/acontece/conteudo/moto_guzzi_v7_tres_versoes_em_um_mesmo_modelo-49849.html.

CANARIAS, *Canariasenmoto*. [En línea] 2011. <http://www.canariasenmoto.com/noticias/historia-de-una-moto-bmw-r50-sidecar-de-1959.html>.

CASAJÚS, Luis. *Centro-Zaragoza*. [En línea] 2012. http://www.centrozaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R51_A2.pdf.

CASTRO, Arturo Iglesias. *SlideShare*. [En línea] 2013. <http://es.slideshare.net/aicvigo/1973/motor-de-dos-tiempos>.

INACAP. [En línea] <http://www.geocities.ws/mecanicainacap/bloque.html>.

JLGM. *Competicion de motos*. [En línea] 2012. <http://www.competicionesdemotos.com/2012/05/tecnica-moto3-motor-honda-nsf250r-ii/>.

JUAN ADRIAN, Lautaro Marchetti. *Monografias.com*. [En línea] 2012. <http://www.monografias.com/trabajos95/motocicleta/motocicleta2.shtml>.

KEMPIZULU, Seudonimo. *Monografias*. [En línea] 2010. <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/a-eje-ciguenal-construccion-caracteristicas-y-empleo-buques-mercantesa/a-eje-ciguenal-construccion-caracteristicas-y-empleo-buques-mercantesa.pdf>.

MAKEITFROM. *MakeItFrom.com*. [En línea] <http://www.makeitfrom.com/material-properties/SAE-AISI-1050-S53C-1.5024-46Si7-G10500-Carbon-Steel/>.

MARTÍNEZ, D. Hemógenes Gil. *Manual Practico del Automóvil, Reparación, Mantenimiento y Prácticas*. ISBN.

MARTINEZ, Javier. 2015. *moto1pro*. [En línea] 2015. <http://www.moto1pro.com/pruebas-motos/triumph-street-triple-rx-la-street-definitiva>.

MATERIA, Total. *Total Materia*. [En línea] <http://search.totalmateria.com/MaterialDetails/MaterialDetail?vkKey=1250037&keyNum=5006&type=8&hs=1#>.

MATERIA, Total. *Total Materia*. [En línea] <http://search.totalmateria.com/SmartComp/StandardMode?clear=1>.

MATERIA, Total. *Total Materia*. [En línea] <http://search.totalmateria.com/MaterialDetails/MaterialDetail?vkKey=1231484&keyNum=1875&type=2&hs=0>.

PAYRI F., M. Desantes J. *Motores de combustion interna alternativos*. s.l. : Reverté, 2011. ISBN.

ROGER, Magar. *Slideplayer*. [En línea] 2010. <http://slideplayer.es/slide/1045565/>.

SANCHEZ, Sender Nicolas Moreno. *Prezi*. [En línea] <https://prezi.com/pvyaxw350ivt/comparacion-microestructural-de-los-aceros-1020-1045-y-8620/>.

TODOMOTOS, *Todomotos.pe*. [En línea] 2012. <http://www.todomotos.pe/tipos/597-volucion-motocicleta-part-2>.

PLANOS