



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

OPTIMIZACIÓN GEOMÉTRICA DE LA BIELA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 100CC, MEDIANTE ANÁLISIS TRANSITORIO DE LAS CARGAS EJERCIDAS EN EL CONJUNTO PISTÓN – BIELA DURANTE UN CICLO DE TRABAJO

JAVIER EDMUNDO ALBUJA JÁCOME

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGÍSTER EN DISEÑO MECÁNICO

Riobamba – Ecuador

Marzo - 2022

©2022, Javier Edmundo Albuja Jácome

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado **OPTIMIZACIÓN GEOMÉTRICA DE LA BIELA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 100CC, MEDIANTE ANÁLISIS TRANSITORIO DE LAS CARGAS EJERCIDAS EN EL CONJUNTO PISTÓN – BIELA DURANTE UN CICLO DE TRABAJO**, de responsabilidad del señor Javier Edmundo Albuja Jácome ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Ing. Luis Eduardo Hidalgo Almeida; Ph. D.

PRESIDENTE

Ing. Milton Israel Quinga Morales; Mtr.

DIRECTOR

Ing. Edison Patricio Abarca Pérez; Mag.

MIEMBRO

Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes; Mag.

MIEMBRO

Riobamba, marzo de 2022

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, JAVIER EDMUNDO ALBUJA JÁCOME, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

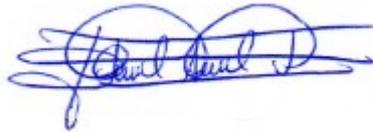


JAVIER EDMUNDO ALBUJA JÁCOME

C.I. 060401773-1

Yo, JAVIER EDMUNDO ALBUJA JÁCOME, declaro que el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi 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 autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.



JAVIER EDMUNDO ALBUJA JACOME

C.I. 060401773-1

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con mucho amor y gratitud a nuestra Madre Dolorosa y a nuestro Dios quienes me dieron fuerza y constancia para culminar este trabajo, a mi familia especialmente, a mis padres Rafael Santiago y Myriam Patricia que fueron un pilar fundamental para salir adelante y así culminar otra de mis metas, a mis hermanos Rafael Eduardo y Juan Carlos que con su entusiasmo me dieron ánimos para culminar esta etapa de mi vida, a mi sobrina Rafaela Katerine que con sus ocurrencias me alegraba la vida en esos momentos difíciles, gracias también a mis tíos(as), primos(as) que creyeron en mí para salir adelante, a mis abuelitos(as) y a mi tío padrino Ángel Edmundo que desde el cielo me cuidan y guían para seguir adelante. Muchas gracias desde el fondo de mi corazón.

Javier Edmundo Albuja Jácome

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a nuestro Dios y a nuestra Madre Dolorosa por darme día a día una nueva oportunidad de crecer como ser humano y así alcanzar nuevos logros y éxitos en mi vida. Agradezco a mis Padres, Hermanos y a toda mi Familia que sin su apoyo no hubiera logrado culminar esta etapa de mi vida.

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que mediante el *Instituto de Postgrado y Educación Continua (IPEC)* me brindaron la oportunidad de seguir creciendo a nivel profesional, a mis docentes de la Maestría de Diseño Mecánico que por medio de sus conocimientos me guiaron en este camino de aprendizaje y así convertirme en una persona capaz de ser útil a la sociedad mediante el aporte de mis conocimientos y experiencias adquiridas en esta etapa de estudio.

De igual manera agradezco a mis tutores de tesis Milton, Patricio e Isaías quienes con sus conocimientos, consejos y aportes ayudaron a la culminación de este tema de la mejor manera posible, para de esta forma culminar una nueva etapa de mi vida profesional.

Y en especial para todos mis amigos, compañeros y personas que me apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una nueva etapa de mi vida.

Javier Edmundo Albuja Jácome

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii

CAPÍTULO I

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Planteamiento del problema	1
1.2.	Situación problemática.....	2
1.3.	Formulación del problema.....	2
1.4.	Preguntas directrices o específicas de la investigación	2
1.5.	Justificación de la investigación.....	3
1.6.	Objetivo general de la investigación.....	4
1.7.	Objetivos específicos de investigación.....	4
1.8.	Hipótesis.....	5
1.8.1.	<i>Hipótesis general</i>	5
1.8.2.	<i>Hipótesis específicas</i>	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	6
2.1.	Antecedentes del problema	6
2.2.	Bases teóricas	6
2.2.1.	<i>Motor de combustión interna</i>	6
2.2.2.	<i>Sensor Bosch</i>	18
2.2.3.	<i>Tarjeta de adquisición de datos DAQ USB-6009</i>	19
2.2.4.	<i>Presión media efectiva (PME)</i>	20
2.2.5.	<i>Régimen de giro</i>	22
2.2.6.	<i>Par motor</i>	22
2.2.7.	<i>Potencia</i>	24
2.2.8.	<i>Rendimiento o trabajo desarrollado</i>	24
2.2.9.	<i>Biela</i>	26

2.2.10.	<i>Diseño generativo</i>	34
2.2.11.	<i>Sensor QUICKCOLLECT</i>	35

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.1.	Métodos de investigación	36
3.1.1.	<i>Digitalización de la biela</i>	36
3.1.2.	<i>Parámetros de contorno</i>	38
3.1.3.	<i>Análisis de pandeo</i>	41
3.1.4.	<i>Análisis original de la biela.</i>	45
3.1.5.	<i>Selección del material para la biela propuesta</i>	47
3.1.6.	<i>Determinar el óptimo diseño geométrico de la biela</i>	48
3.1.6.1.	<i>Primer rediseño</i>	48
3.1.6.2.	<i>Segundo rediseño</i>	49
3.1.6.3.	<i>Tercer rediseño</i>	50

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1.	Resultados	52
4.1.1.	<i>Resultados correspondientes al análisis original de la biela 1141</i>	52
4.1.1.1.	<i>Resultados a temperatura ambiente</i>	52
4.1.1.2.	<i>Resultados bajo condiciones de trabajo del motor a temperatura igual a 90 °C</i>	53
4.1.2.	<i>Resultados correspondientes al primer rediseño con material 4130</i>	55
4.1.3.	<i>Resultados correspondientes al segundo rediseño 4130</i>	56
4.1.4.	<i>Resultados correspondientes al tercer rediseño 4130</i>	58
4.1.4.1.	<i>Análisis de Fatiga</i>	63
4.1.5.	<i>Análisis transitorio durante un ciclo de trabajo</i>	65
4.1.5.1.	<i>Análisis de fatiga</i>	67
4.1.6.	<i>Análisis de resistencia del material seleccionado para el modelo propuesto</i>	68
4.1.7.	<i>Resultado del análisis vibratorio</i>	71
4.1.8.	<i>Medición de emisión de gases</i>	74

4.2.	Discusión.....	76
-------------	-----------------------	-----------

CAPÍTULO V

5.	PROPUESTA	78
-----------	------------------------	-----------

5.1.	Mecanizado del perfil propuesto	81
-------------	--	-----------

5.2.	Validación práctica del diseño mecanizado	81
-------------	--	-----------

	CONCLUSIONES.....	83
--	--------------------------	-----------

	RECOMENDACIONES.....	84
--	-----------------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2.	Especificaciones del sensor Bosch	18
Tabla 2-2.	Características de la tarjeta DAQ USB-6009.....	20
Tabla 3-2.	Valores habituales de presión media efectiva de motores a gasolina	20
Tabla 4-2.	Diferencias de rendimiento mecánico entre un Otto y un Diésel	25
Tabla 5-2.	Pérdidas totales por falta de rendimiento.....	26
Tabla 6-2.	Composición química	27
Tabla 7-2.	Propiedades mecánicas	27
Tabla 8-2.	Porcentaje de aleantes.....	27
Tabla 9-2.	Tratamiento térmico del material.....	27
Tabla 10-2.	Rangos de composición química	28
Tabla 11-2.	Tratamiento térmico.....	28
Tabla 12-2.	Características y propiedades mecánicas a la tensión del acero AISI 1045.....	28
Tabla 13-2.	Propiedades mecánicas del acero AISI 4340 OQT 1300.....	28
Tabla 1-3.	Metodología de investigación.....	36
Tabla 2-3.	Características originales de la biela con material AISI 4130	46
Tabla 3-3.	Valores optimizados en el primer rediseño.....	49
Tabla 4-3.	Valores optimizados en el segundo rediseño	49
Tabla 5-3.	Valores optimizados en el tercer rediseño	50
Tabla 1-4.	Resumen de los resultados obtenidos a 90°C y material AISI 4130	71
Tabla 1-5.	Análisis comparativo entre el material AISI 1141 Y AISI 4130	78
Tabla 2-5.	Análisis comparativo entre el material AISI 1141 Y AISI 4130	79
Tabla 3-5.	Análisis comparativo entre el material AISI 1141 Y AISI 4130	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2.	Componentes principales del motor de combustión interna.....	7
Figura 2-2.	Componentes del motor de dos tiempos.....	7
Figura 3-2.	Aplicaciones prácticas del motor de dos tiempos	8
Figura 4-2.	Ciclos de funcionamiento.....	9
Figura 5-2.	Diagrama del ciclo teórico de un motor de dos tiempos	11
Figura 6-2.	Diagrama real de un ciclo de dos tiempos.....	11
Figura 7-2.	Diagrama de un ciclo práctico del motor de dos tiempos	12
Figura 8-2.	Parámetros geométricos del motor	13
Figura 9-2.	Ciclo de un motor de cuatro tiempos.....	14
Figura 10-2.	Esquema de un sensor Bosch	18
Figura 11-2.	Curva de caracterización	19
Figura 12-2.	Tarjeta National Instruments NI USB 6009	19
Figura 13-2.	Sensor de presión adaptado a la bujía	21
Figura 14-2.	Esquema de instalación	21
Figura 15-2.	Algoritmo de cálculo de presión	22
Figura 16-2.	Fuerzas actuantes sobre el pistón	23
Figura 17-2.	Proceso de entrada y salida de la energía de un motor térmico.....	25
Figura 18-2.	Biela	26
Figura 19-2.	Partes de una biela.....	29
Figura 20-2.	Fases e interacciones del proceso de diseño.....	30
Figura 21-2.	Modelación de una biela	31
Figura 22-2.	Fresadora CNC.....	32
Figura 23-2.	Rectificadora de interiores	32
Figura 24-2.	Modelación de una biela	33
Figura 25-2.	Modelación de una biela	33
Figura 26-2.	Mecanismo optimizado	34
Figura 27-2.	Sensor QUICKCOLLECT	35
Figura 1-3.	Especificaciones técnicas	37
Figura 2-3.	Biela adquirida	37
Figura 3-3.	Toma de medidas.	38
Figura 4-3.	Digitalización	38
Figura 5-3.	Adquisición de parámetros.....	39
Figura 6-3.	Componentes de la fuerza ejercida sobre el pistón	39
Figura 7-3.	Vista en sección transversal típica de la biela	42
Figura 8-3.	Área seccional de un lado de la biela	44
Figura 9-3.	Biela transferida al módulo static structural.....	45
Figura 10-3.	Análisis original de la biela.....	46
Figura 11-3.	CES EDUPACK.....	47
Figura 12-3.	Rediseño de la geometría de la biela	48
Figura 13-3.	Primer rediseño	49
Figura 14-3.	Segundo rediseño	50
Figura 15-3.	Procedimiento para el análisis mediante software ANSYS	51
Figura 1-4.	Deformación total de la biela original de la motocicleta Suzuki 100cc	52
Figura 2-4.	Equivalente de Von Mises.....	52
Figura 3-4.	Factor de seguridad	53
Figura 4-4.	Deformación total de la biela original de la motocicleta Suzuki 100cc	53
Figura 5-4.	Equivalente de Von Mises.....	54
Figura 6-4.	Factor de seguridad	54
Figura 7-4.	Deformación total.....	55
Figura 8-4.	Equivalente de Von Mises.....	55
Figura 9-4.	Factor de seguridad	56
Figura 10-4.	Deformación total.....	56

Figura 11-4. Equivalente de Von Mises.....	57
Figura 12-4. Factor de seguridad	57
Figura 13-4. Deformación Total	58
Figura 14-4. Deformación Total	58
Figura 15-4. Deformación eje “x”.....	59
Figura 16-4. Equivalente de Von Mises.....	59
Figura 17-4. Ciclo de vida.....	60
Figura 18-4. Zonas de daño del material.....	60
Figura 19-4. Factor de seguridad	61
Figura 20-4. Indicaciones biaxiales	61
Figura 21-4. Equivalente alternativo d esfuerzo	62
Figura 22-4. Vida.....	63
Figura 23-4. Factor de Seguridad.....	63
Figura 24-4. Sensibilidad a la fatiga	64
Figura 25-4. Análisis de pandeo	64
Figura 26-4. Ensamble	65
Figura 27-4. Deformación total.....	65
Figura 28-4. Deformación total.....	66
Figura 29-4. Esfuerzo equivalente	66
Figura 30-4. Esfuerzo equivalente	67
Figura 31-4. Vida.....	67
Figura 32-4. Factor seguridad	68
Figura 33-4. Sensibilidad a la fatiga	68
Figura 34-4. Probeta.....	69
Figura 35-4. Equivalente de Von Mises.....	70
Figura 36-4. Esfuerzo equivalente	70
Figura 37-4. Deformación total.....	70
Figura 38-4. Análisis vibratorio	72
Figura 39-4. Axial superior.....	72
Figura 40-4. Sensor predispuesto sobre el diseño de biela propuesta.....	73
Figura 41-4. Frontal	73
Figura 42-4. Lateral	73
Figura 43-4. Superior	74
Figura 44-4. Analizador de gases.....	74
Figura 45-4. Personal técnico CRTV.....	75
Figura 46-4. Obtención de datos	75
Figura 47-4. Datos obtenidos biela original.....	76
Figura 48-4. Datos obtenidos biela modificada	76
Figura 1-5. Diseño propuesto.....	80
Figura 2-5. Diseño mecanizado	81
Figura 3-5. Validación a marcha mínima.....	82
Figura 4-5. Validación con el motor acelerado.....	82

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Acero para maquinarias AISI 4130

ANEXO B. Biela mecanizada

ANEXO C. Prueba práctica de la biela

ANEXO D. Mecanizado de la biela de la motocicleta Suzuki AX100

ANEXO E. Mecanizado CNC

ANEXO F. Rhinocam

ANEXO G. Hoja de procesos

ÍNDICE DE ABREVIACIONES

CAD	Diseño asistido por computadora
CAM	Manufactura asistida por computadora
CAE	Ingeniería asistida por computadora
PMS	Punto Muerto Superior
PMI	Punto Muerto Inferior
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
MCI	Motor de combustión interna
CNC	Control Numérico Computarizado
CRDI	Riel Común Motor Diesel
USB	Universal serial bus (Puerto de seriado universal)
NI	National Instruments
DAQ	Tarjeta de adquisición de datos
PME	Presión media efectiva
RPM	Revoluciones por minuto

RESUMEN

El presente estudio propone la optimización geométrica de la biela de un motor de combustión interna de 100CC, empleando el método de elementos finitos, teoría de diseño mecánico, selección de materiales y el análisis transitorio de cargas ejercidas en el conjunto pistón – biela durante un ciclo normal de funcionamiento. En el análisis de ingeniería asistida por computador, en ocasiones se deben hacer presunciones de varias fuerzas existentes en el entorno normal de funcionamiento, lo que genera elementos sobredimensionados y poco eficientes, por tal motivo se emplea un sensor piezoeléctrico conectado a la bujía de encendido para medir la presión que se produce en el interior del cilindro, estas mediciones se registran en una computadora empleando una interfaz con una Tarjeta de adquisición de datos DAQ USB 6009, programada para transformar los datos obtenidos en una gráfica que representa el ciclo de trabajo del motor misma que indica que el esfuerzo resultante en los tiempos de admisión, compresión y escape son muy bajos, mientras que en el tiempo de combustión alcanza el pico más alto de presión media efectiva igual a 5,956 bar, la cual se analiza en el software de diseño y se determina la mejor propuesta de optimización de la geometría.

Palabras clave: <DISEÑO MECÁNICO >, <PISTÓN – BIELA >, < SENSOR PIEZOELÉCTRICO >, < CILINDRO >, < CICLO DE TRABAJO >, < PRESIÓN MEDIA EFECTIVA >



0017-DBRA-UPT-IPEC-2022

ABSTRACT

The present research proposes the geometric optimization of the connecting rod of a 100 CC internal-combustion engine; implementing the finite elements method, the theory of mechanical design, selection of materials, and the temporary analysis of applied loads in the piston combination- connecting rod during a normal functioning cycle. In the engineering analysis assisted by computer, at times, suspicions of several existing forces must be considered in the normal functioning environment. This generates overstated and little efficient elements. For this reason, a piezoelectric sensor connected to a power spark plug is implemented in order to measure the pressure that is produced inside the cylinder. These measures are registered on a computer implementing an interface of data acquisition card DAC USB 6009 which is programmed to transform the obtaining results into a chart that represents the functioning cycle of the motor. This chart indicates that the effort resulting from the times of admission, compression and exhaust are really low; while in the combustion time, it reaches the highest peak of the mean effective pressure equals to 5,956 bars. This is analyzed in the design software determining the best geometrical optimization proposal.

Key words: <MECHANICAL DESIGN>, < PIEZOELECTRIC SENSOR >, < PISTON-CONNECTING ROAD >, < CYLINDER >, < FUNCTIONING CYCLE >, < MEAN EFFECTIVE PRESSURE>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Las organizaciones gubernamentales a nivel mundial son cada vez más exigentes en cuestión a las emisiones de agentes contaminantes, obligando a la industria automotriz a manufacturar motores eficientes, el Ecuador es un país que carece de combustibles de calidad por lo que los motores que ingresan al país cumplen las normas EURO I y EURO II, en la actualidad existe la tecnología de motores EURO VI, la presente investigación se direcciona en innovar y optimizar el diseño de la Biela haciendo uso de las herramientas computacionales CAD, CAM, CAE, con la finalidad de implementar la manufactura ya que en el país no se fabrica Bielas, la optimización de la biela se realizó adquiriéndola en un almacén y digitalizándola en software CAD, posteriormente fue optimizada en el software Solid Edge y finalmente analizada en el software ANSYS con los parámetros iniciales obtenidos en el software LAVIEW, el cual procesa la información proveniente de la tarjeta National Instruments NI USB 6009 ya que esta recepta los valores de entorno emitida por el sensor de presión adaptado a la bujía, se realizaron tres diseños mismos que fueron analizados consecutivamente, de los cuales el más óptimo fue el tercer diseño ya que ofrece buena resistencia y coeficiente de seguridad con el material disponible en el país.

1.1. Planteamiento del problema

El parque automotor matriculado en Ecuador creció un 58,33% en la última década según informa el INEC en su Anuario Estadístico de Transporte 2018, sin embargo, en el país no existe una industria consolidada en la fabricación de partes y piezas automotrices, debido al desconocimiento de procesos de manufactura modernos, costos de implementación y la falta de profesionales capacitados en el diseño mecánico y uso de herramientas computacionales.

Un motor de combustión interna (MCI) presenta un elevado número de componentes fijos y móviles, los cuales se podrían optimizar y/o manufacturar en el Ecuador, siempre y cuando se cuente con herramientas computacionales para simulación, y un análisis apegado a la realidad de las cargas ejercidas en los componentes que lo realiza un profesional capacitado. (INEC, 2007-2017)

En la actualidad, el diseño de elementos mecánicos se ha potencializado con el uso de herramientas computacionales CAD, CAM y CAE, ya que permiten optimizar y obtener un mejor rendimiento del mecanismo en cada una de las etapas de desarrollo de producto, tomando en cuenta todas y cada una de las condiciones normales de funcionamiento, las cargas estáticas y dinámicas ejercidas sobre cada uno de los componentes, así como sus respectivas restricciones. Este avance tecnológico de las herramientas computacionales y de manufactura, permitirá presentar una biela de un motor de 100cc que sea funcional, seguro y confiable.

1.2. Situación problemática

Las regulaciones propuestas por distintas organizaciones gubernamentales a nivel mundial con respecto a la emisión de agentes contaminantes son cada vez más exigentes, esto ha obligado a la industria automotriz a fabricar motores más eficientes, el desarrollo de nuevos materiales y el empleo de sistemas de propulsión electrificados. El Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) establece los estándares mínimos de calidad de los combustibles que se comercializan en el país, los mismos que ubican al Ecuador como el país con los peores combustibles de la región y el mundo, lo que impide el ingreso de nueva tecnología, NTE INEN 935, fija gasolina extra de 87 octanos y super de 93 octanos, por lo que los motores que ingresan al Ecuador cumplen las normas EURO I y II, actualmente existen tecnologías de motores EURO VI, por tal motivo, el enfoque de optimización se realiza al componente mecánico, en la reducción de su peso y la incursión de nuevos materiales que garanticen su durabilidad, bajo peso y mejora del rendimiento general del motor.

En el Ecuador, se recurre a la importación de piezas para modificar el rendimiento de los MCI. Sin embargo, con este proyecto se busca contribuir con las directrices necesarias para el desarrollo y optimización de una biela para un MCI de 100 CC. (Design, n.d.)

1.3. Formulación del problema

¿Es posible optimizar el diseño de una biela para un MCI de 100cc utilizando el análisis transitorio de las cargas ejercidas en el conjunto pistón – biela durante un ciclo de trabajo?

1.4. Preguntas directrices o específicas de la investigación

¿Para qué sirve la investigación?

La investigación sirve para optimizar el diseño de una biela para un MCI de 100cc, mediante el empleo del análisis transitorio de cargas que ejerce en el conjunto pistón – biela.

¿Qué resultados se esperan obtener?

Se espera obtener el diseño de una biela optimizada, capaz de reducir la contaminación ambiental y puedan ser manufacturadas en el país.

¿Quién o quiénes son los beneficiarios?

Entre los beneficiarios directos se identifican a todos las personas involucradas con la industria de autopartes, grupos de investigación y manufactura automotriz, estudiantes de ingeniería y aquellos emprendedores locales que requieren procesos de optimización de productos para su posterior manufactura y comercialización.

De manera indirecta el proyecto beneficia a la población en general, ya que conforma una línea base para la apertura de una nueva industria y fuentes de empleo, así como la optimización del componente conlleva a una reducción de uso de materiales, mejor rendimiento del motor y la reducción de la contaminación ambiental.

¿Por qué es importante la investigación?

Es de mucha importancia, ya que se enfoca en disminuir las emisiones de gases producidas por los motores de combustión interna, y se encamina a la construcción nacional de partes y piezas automotrices.

¿Cuáles son los aportes de trascendencia que dejara?

Un diseño optimo orientado al proceso de manufactura nacional

1.5. Justificación de la investigación

Contribución teórica:

El diseño de partes y piezas automotrices se realiza utilizando diferentes herramientas computacionales, sin embargo, se necesita que las condiciones establecidas, sean lo más cercanas a la realidad, por lo que las simulaciones son parte fundamental en el proceso de

desarrollo de un elemento mecánico. En este caso en particular, se busca dejar una contribución que, en base a teorías de diseño, pueda ser simulada por software.

Contribución práctica:

En el país no se fabrica bielas para MCI, por lo que se busca innovar y tener una base para la optimización del diseño de partes internas de un motor.

Se busca obtener varios modelos de biela que permitan establecer cuál es el que cumple con las propiedades mecánicas y geometría adecuada.

Se espera obtener varios modelos CAD que puedan compararse entre sí y validar su diseño mediante software CAE.

Se requiere realizar un análisis dinámico, que emule las condiciones de funcionamiento de una biela en un ciclo de trabajo de un MCI.

1.6. Objetivo general de la investigación

Optimizar la geometría de una biela de un motor de combustión interna de 100cc mediante el análisis transitorio de las cargas ejercidas en el conjunto pistón – biela durante un ciclo de trabajo.

1.7. Objetivos específicos de investigación

- Identificar las características físicas y mecánicas de la biela que se empleará en el estudio.
- Definir el ciclo de trabajo del MCI mediante la instrumentación del motor en condiciones normales de funcionamiento.
- Obtener las cargas que actúan sobre el conjunto pistón – biela y aplicarlas a un modelo simulado de la biela en software de diseño.
- Determinar las zonas de mayor y menor concentración de esfuerzos en la biela que permitan realizar una optimización topológica de la geometría.
- Modificar la geometría original de la biela y evaluar su comportamiento.

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis general

La optimización geométrica de la biela de un motor de combustión interna de 100CC.

1.8.2. Hipótesis específicas

Se puede optimizar a partir del análisis transitorio de las cargas ejercidas en el conjunto pistón-biela durante un ciclo de trabajo.

Se puede manufacturar la biela optimizada en el país.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Los países industrializados buscan disminuir las emisiones contaminantes que producen motores de combustión interna, a través del estudio y rediseño continuo de sus componentes y la aplicación de una rigurosa normativa, lo que ha impulsado a todas las empresas automotrices a producir motores más eficientes y migrar cada vez más a la electrificación del sistema de propulsión. En Ecuador a pesar de que el parque automotor crece sostenidamente año tras año, la normativa vigente se ha estancado en estándares muy bajos, permitiendo la entrada a nuestro país de tecnología con una década de retraso en comparación a la que se emplea en Europa, sumado a la calidad actual de los combustibles comercializados en el territorio nacional, no será posible que automóviles de última generación circulen en el Ecuador en el mediano plazo. Incrementar la eficiencia del motor se traduce a un menor consumo de combustible así como a una reducción en sus emisiones contaminantes y al carecer nuestro país de una industria consolidada de rediseño y fabricación de partes y piezas automotrices, la responsabilidad de buscar una alternativa de optimización de componentes recae en la investigación, ingenio e innovación que se genera en las instituciones de educación superior del país, es por eso que en la ESPOCH se impulsa la integración de las herramientas computacionales para la resolución de problemas mecánicos, que en un futuro nos permitirá crear un motor de combustión interna 100% hecho en Ecuador.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Motor de combustión interna*

Es una máquina térmica capaz de realizar un trabajo a partir de la transformación de la energía química proveniente de los combustibles fósiles en energía mecánica. Los combustibles usados para su impulsión pueden ser: alcohol, keroseno, petróleo, gasolina, gas natural entre otros, siendo los más utilizados el: combustóleo (fuel oil), gasolina y gas natural, en la Figura 1-1 se muestra los componentes de un motor de combustión interna. De acuerdo con su ciclo de trabajo se clasifican en motores de dos y cuatro tiempos, siendo los motores de cuatro tiempos los más utilizados en la industria automotriz. (Alonso Perez, 2011)

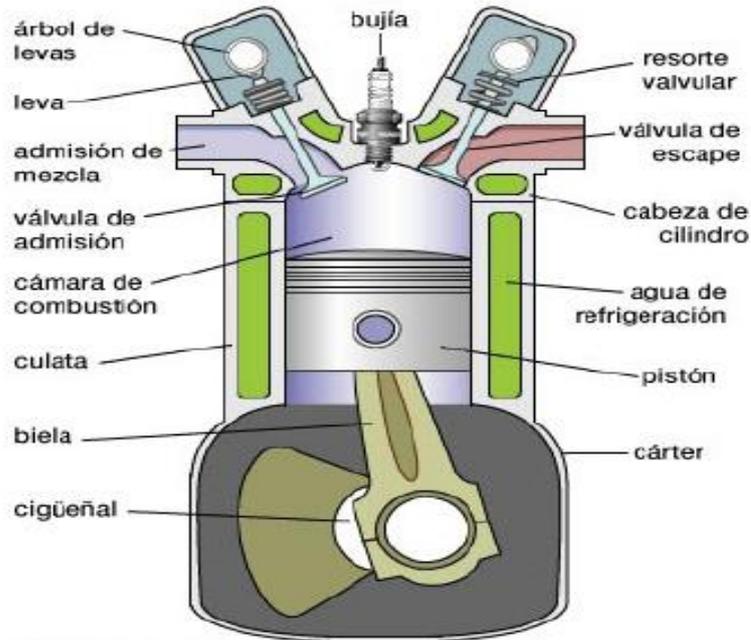


Figura 1-2. Componentes principales del motor de combustión interna
Fuente: (Online, s.f.)

➤ Motor de dos tiempos

EL motor de cuatro y dos tiempos, son los más utilizados en las motocicletas desde sus inicios, el inglés Clerk en el año 1879 desarrolló teóricamente el ciclo, Karl Benz en el año 1880, realizó experimentos en modelos construidos por el mismo, que se caracterizaban por tener el ciclo de compresión en el cárter, a partir del siglo XX aparecieron los primeros modelos en serie en las motocicletas, siendo estos los más empleados hasta la actualidad. En la Figura 2-2, se pueden apreciar un esquema de los componentes principales de este tipo de motor.

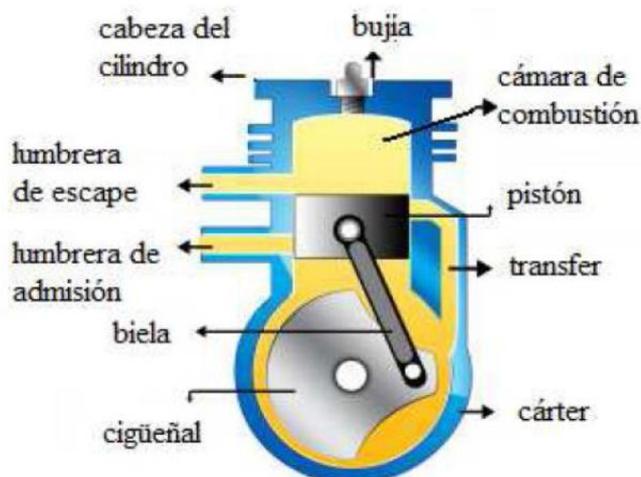


Figura 2-2. Componentes del motor de dos tiempos
Fuente: (Arbeloa Murillo & Dieguez Elizondo, 2010)

Este motor presenta algunas ventajas en la aplicación de vehículos económicos y ligeros debido a la sencillez de fabricación y simplicidad que lo hace ideal para ser usado en actividades prácticas como por ejemplo las bombas fumigadoras de cultivos (ver Figura 3-2a), motosierras (ver Figura 3-2b), cortadoras de césped (ver Figura 3-2c), a diferencia del motor de cuatro tiempos que no presenta estas facilidades por ser pesado y de mayor dimensión. Las desventajas comunes que presentan los motores de dos tiempos son bajo rendimiento y niveles de contaminación elevados.



Figura 3-2. Aplicaciones prácticas del motor de dos tiempos

Fuente: (FarmAgro, n.d.), (MOTRANOSA, n.d.), (Cortadora, n.d.)

Se denomina como motor de dos tiempos debido a que, las cuatro fases las realiza en un ciclo (una sola revolución del cigüeñal 360° - dos carreras del pistón), a diferencia del motor de cuatro tiempos que realiza las cuatro fases en dos ciclos (dos revoluciones del cigüeñal 720° - cuatro carreras del pistón). A continuación, se describen los ciclos de funcionamiento del motor (Escobar Calderon, Monico Muñoz, Rodríguez Arango, & Sandoval Garcia, 2008)

- Carrera descendente

En el primer tercio de recorrido, el pistón se encuentra en el punto muerto superior, el salto de chispa termina de producirse como se observa en la figura 4a, provocando el desplazamiento hacia el punto muerto inferior, las lumbreras de escape como de transferencia se encuentran cerradas mientras la de admisión se encuentra abierta iniciando a ser efectiva la precompresión de la mezcla aire combustible. En el segundo tercio de recorrido en el cárter se genera el tiempo de precompresión el cual finaliza con la apertura de las lumbreras de transferencia cuando la contrapesa del cigüeñal pasa justo por este punto como se indica en la figura 4b, mientras tanto por la parte superior empieza a abrirse la lumbrera de escape permitiendo la salida de los gases quemados hacia la atmósfera.

En el último tercio de recorrido termina el tiempo de precompresión al abrirse las lumbreras de transferencia, produciéndose la entrada de gases frescos, expulsando definitivamente el sobrante de los gases quemados como se indica en la figura 4c.

- Carrera ascendente

Durante el primer tercio de recorrido, las lumbreras de transferencia como de escape se encuentran abiertas.

En el segundo tercio de recorrido se cierra la lumbrera de transferencia mientras la lumbrera de escape permanece abierta como se puede observar en la Figura 4-2d.

Para el tercer tercio de recorrido se cierra la lumbrera de escape y se produce la compresión de la mezcla al tiempo que se abre la lumbrera de admisión para comenzar el ciclo por este proceso como se muestra en la Figura 4-2e.



a) Primer tercio de recorrido



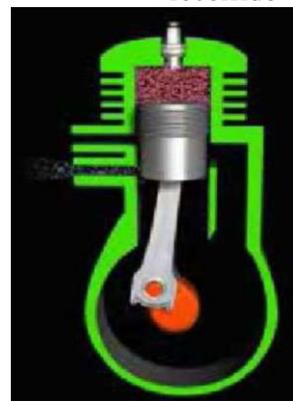
b) Segundo tercio de recorrido



c) Último tercio de recorrido



d) Segundo tercio de recorrido (carrera ascendente)



e) Tercer tercio de recorrido (carrera ascendente)

Figura 4-2. Ciclos de funcionamiento

Fuente: (Arbeloa Murillo & Dieguez Elizondo, 2010)

La refrigeración se realiza a través de las aletas que rodean la cámara de combustión y el cilindro, estas disipan el calor cuando entran en contacto directo con el aire, no posee sistema de lubricación por lo que esto se realiza mediante la mezcla de aceite con el combustible en proporción aproximada a 5%. (Granizo Solis & Toscano Lopez, 2003)

➤ Diagrama del ciclo teórico de un motor de dos tiempos

El diagrama teórico de un motor corresponde a los cálculos previstos por el fabricante, este diagrama es análogo al de los motores de cuatro tiempos, puesto que la transformación de energía de sus fases es idéntica.

En la Figura 5-2, se observa el diagrama presión - volumen, cuyas fases son:

1-2: Las lumbreras de escape y carga permanecen abiertas durante este recorrido entonces la presión interna en el cilindro también persiste constante y teóricamente es igual a la presión atmosférica.

2-3: Cerradas las lumbreras de escape y carga, inicia la fase de compresión en el punto dos hasta terminar en el punto tres, aquí que el pistón se encuentra en el punto muerto superior, la temperatura y la presión son directamente proporcionales a la relación de compresión, el electrodo de la bujía produce el chispazo eléctrico, provocando la explosión de la mezcla aire combustible a volumen constante aportando calor Q_1 , elevando la presión y temperatura hasta alcanzar la presión máxima instantánea en el punto cuatro.

4-5: Durante la expansión la temperatura y presión descienden paulatinamente hasta que se abre la lumbrera de escape en el punto cinco.

5-2: Abierta esta lumbrera la presión baja teóricamente hasta alcanzar la presión atmosférica evacuando hacia la atmosfera el calor Q_2 , no transformado en trabajo, el pistón continúa descendiendo hasta llegar al punto muerto inferior 2-1, con presión teóricamente constante.

1-2, las lumbreras de carga y escape permanecen abiertas, por tanto, la presión en el cilindro se mantiene constante (teóricamente es igual a la presión atmosférica)

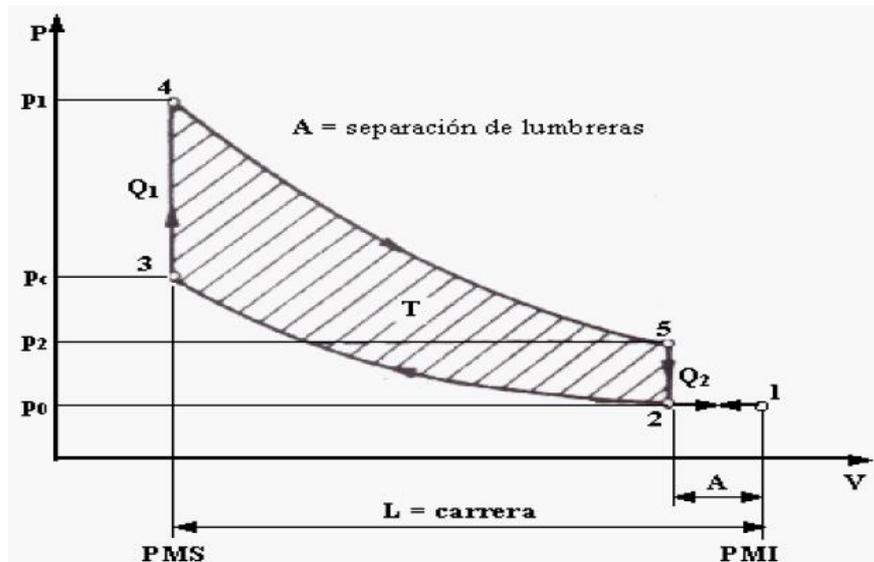


Figura 5-2. Diagrama del ciclo teórico de un motor de dos tiempos
Fuente: (Granizo Solis & Toscano Lopez, 2003)

➤ Diagrama del ciclo real de un motor de dos tiempos

El funcionamiento real que se indica en el diagrama de la Figura 6-2, está sometido a varias condiciones que alteran el ciclo teórico, entre ellas por ejemplo las pérdidas de calor a través de las paredes del cilindro, mal posicionamiento de las lumbreras.

El ciclo real se mejora situando las lumbreras a una distancia adecuada, esto permite conseguir un óptimo llenado y barrido, de este modo se aprovecha la fuerza de explosión mejorando el par motor y potencia.

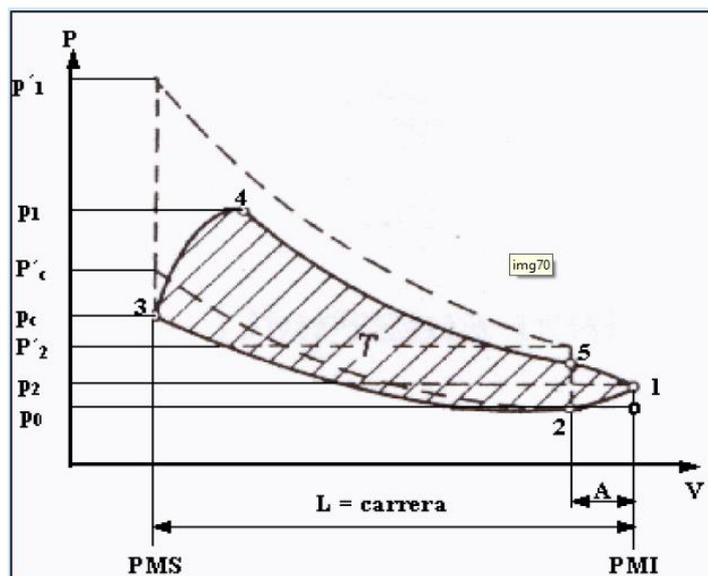


Figura 6-2. Diagrama real de un ciclo de dos tiempos
Fuente: (Granizo Solis & Toscano Lopez, 2003)

➤ Diagrama de un ciclo práctico de un motor de dos tiempos

En la Figura 7-2, se puede observar que, cuando asciende el pistón primero se cierra la lumbrera de carga en el punto dos, después de 10 grados de giro la de escape en el punto tres, a partir de aquí inicia la compresión hasta el punto cuatro que se produce el encendido y terminando en el punto de máxima presión cinco.

La carrera descendente produce la expansión y trabajo hasta el punto seis donde se abre la lumbrera de escape aquí la mayoría de los gases quemados escapan al exterior y no arrastra gases frescos, seguido se abre la lumbrera de admisión para que se llene el cilindro y se barra el resto de gases.

La presión interna de siete a uno se mantiene ya que la presión de entrada de gases compensa el descenso de presión provocado por la evacuación de gases residuales llegando al final de la carrera con presión un poco mayor a la atmosférica presión a la cual comienza el nuevo ciclo.

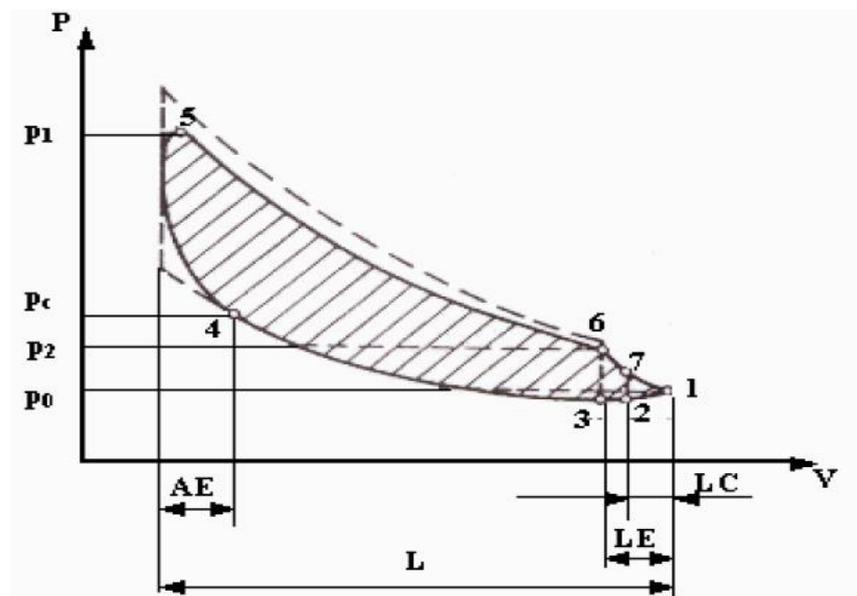


Figura 7-2. Diagrama de un ciclo práctico del motor de dos tiempos
Fuente: (Granizo Solis & Toscano Lopez, 2003)

La Figura 8-2, indica los parámetros geométricos que se consideran para el diseño de un motor mismos que se describen a continuación.

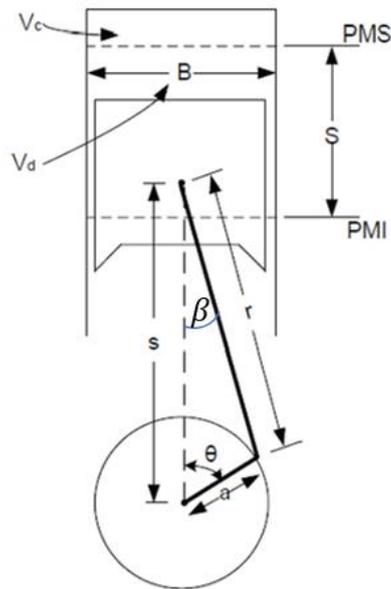


Figura 8-2. Parámetros geométricos del motor
Fuente: (Ingenium, 2016)

- PMS: Punto muerto superior
- PMI: Punto muerto inferior
- Vd: Volumen desplazado
- Vc: Volumen de la cámara de combustión
- Diámetro del pistón (B): Es una característica fundamental en el diseño, ya que la mayoría de las dimensiones de los distintos componentes, vienen dados en relación con él.
- Radio de la muñequilla ($a=r$): Es la distancia entre el eje del cigüeñal y el eje de la cabeza de la biela. Esta distancia marca el radio de giro de la cabeza en su movimiento rotativo.
- Longitud de biela (r): Es la distancia entre los ejes de cabeza y pie de biela. Sin duda, una de las características más representativas de la pieza que se va a diseñar, porque influye enormemente en la funcionalidad y diseño de las piezas de su entorno (pistón, cárter y cilindros).
- Carrera (S): Es la distancia recorrida por el pistón entre el punto muerto superior (PMS) e inferior (PMI). Existe una relación directa entre carrera y muñequilla.
- Ángulo ϑ : Ángulo de giro de la muñequilla respecto del eje longitudinal del cilindro. Es un parámetro característico que nos indica en qué posición está el mecanismo en cada instante. En un motor de cuatro tiempos como el que vamos a estudiar, un ciclo completo está representado por un valor de $\vartheta = 720^\circ$.
- Ángulo β : Formado por el eje longitudinal de la biela respecto del eje longitudinal del cilindro, está directamente relacionado con la descomposición de fuerzas en la biela. (Dante, 1989)

➤ Cálculos termodinámicos

La Figura 9-2, indica los ciclos de un motor de cuatro tiempos donde se debe considerar los siguientes parámetros. (Ingenium, 2016)

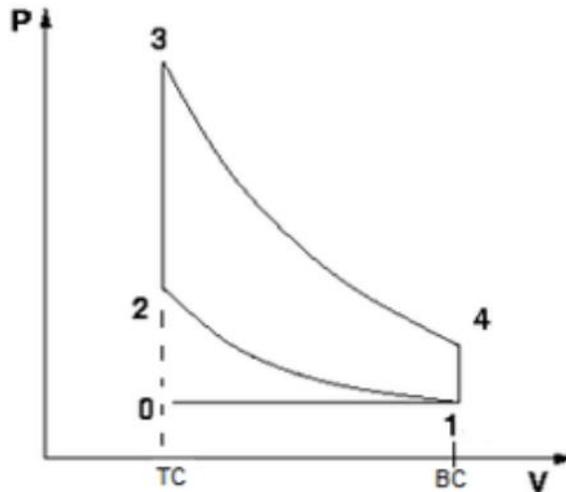


Figura 9-2. Ciclo de un motor de cuatro tiempos
Fuente: (Ingenium, 2016)

0-1 Proceso de admisión

1-2 Compresión Isotérmica, la relación de compresión viene dada por $\frac{V_1}{V_2}$, el valor de temperatura y presión en esta fase son de la atmosfera estandar $P_1 = 101325P_a$, $T_1 = 288,16^\circ K$

Para hallar el V_1 se debe conocer el volumen de la cámara de combustión y el volumen desplazado por el pistón dentro del cilindro para así obtener el volumen inicial que tendrá el cilindro

$$V_1 = V_d + V_c \quad (1)$$

Dónde:

V_1 = Volumen

V_d = Volumen desplazado

V_c = Volumen de la cámara

De 2-3 es proceso reversible a volumen constante, se realiza cálculos previos de la masa de aire, masa de combustible masa de la mezcla, masa de elementos residuales, la relación aire

combustible se puede tomar un valor de 15/16 con valor porcentual de residuales de 4% estos son valores estándares iniciales de diseño para un motor

$$(m_n) = P_1 * \frac{V_1}{R_{gases} * T_1} \quad (2)$$

Dónde:

m_n = Masa de la mezcla

P_1 = Presión inicial

V_1 = Volumen inicial

R_{gases} = Constante de los gases

T_1 = Temperatura inicial

Los cálculos térmicos se pueden efectuar mediante la siguiente ecuación:

$$P_2 = P_1 * R_C^{k_{aire}} \quad (3)$$

Dónde:

P_2 = Presión en el punto 2

P_1 = Presión inicial

La temperatura se puede calcular mediante la siguiente ecuación

$$T_2 = T_1 * R_C^{k_{aire}-1} \quad (4)$$

Dónde:

T_2 = Temperatura en el punto 2

T_1 = Temperatura inicial

El volumen se puede obtener mediante la ecuación:

$$V_2 = \frac{m_m * R * T_2}{P_2} \quad (5)$$

El punto 3-4 correspondiente al proceso de expansión isotrópico entrega trabajo y se da por la relación $\frac{V_4}{V_3}$, la presión, temperatura y volumen pueden ser halladas mediante las siguientes ecuaciones:

$$P_3 = P_2 * \frac{T_3}{T_2} \quad (6)$$

$$T_3 = T_2 * \frac{Q_{in}}{m_m c_v} \quad (7)$$

Dónde:

Q_{in} = Caudal inicial

c_v = Constante de volumen = $0,821 \left(\frac{KJ}{Kg} * K \right)$

Como el proceso se realiza a volumen constante se tiene que:

$$V_3 = V_2 \quad (8)$$

Para el punto 4 – 1, es proceso reversible a volumen constante donde se transmite calor hacia el medio ambiente la presión y temperatura se calcula mediante las ecuaciones:

$$P_4 = P_3 \left(\frac{1}{r_c} \right)^{k_{aire}} \quad (9)$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{1}{r_c} \right)^{k_{aire}-1} \quad (10)$$

$$V_4 = \frac{m_m * R_{gases} * T_4}{P_4} \quad (11)$$

Dónde:

r_c = Relación de compresión

➤ Cilindrada unitaria y total

A partir de las cotas de carrera y calibre se puede obtener el volumen desplazado entre el PMS y PMI de cada cilindro aplicando la ecuación: (Benlloch Menchero, 2016)

$$Cilindrada_{Unitaria} = Superficie * Carrera = \pi * \frac{Calibre^2}{4} * Carrera \quad (12)$$

El volumen desplazado a lo largo de un ciclo de todo el motor viene dado por

$$C_t = C_u * \#_c \quad (13)$$

Dónde:

C_t = Cilindrada total

C_u = Cilindrada unitaria

$\#_c$ = Número de cilindros

La relación de compresión se da por: (Benlloch Menchero, 2016)

$$Rc = \frac{Cilindrada\ unitaria + Volumen\ de\ la\ camara}{Vc} \quad (14)$$

Dónde:

Rc = Relación de compresión

Vc = Volumen de la cámara

Se debe intentar aumentar lo máximo posible esta relación, ya que, si mayor es la presión antes de la explosión de combustible, mayor será la detonación en consecuencia de esto el motor desarrollará mayor potencia, en condiciones ideales teóricamente la presión al final de la compresión puede estimarse mediante la fórmula: (Benlloch Menchero, 2016)

$$P.Compression = P.Admision * Relacion_Compresion^{1.33} \quad (15)$$

Los motores de encendido provocado presentan una relación de compresión entre 8 y 11 mientras que los motores de encendido por compresión (Diésel) su relación esta entre 12 y 23. (Benlloch Menchero, 2016)

2.2.2. Sensor Bosch

Este sensor es el encargado de recibir y emitir las diversas magnitudes de presiones mediante una señal tipo analógica, el voltaje se expresa en proporción a la presión media, las especificaciones de este sensor se describen en la Tabla 1-2 y el diagrama del circuito se indica en la Figura 10-2b.

Tabla 1-2. Especificaciones del sensor Bosch

Rango de presiones	0 bar – 140 bar
Rango de temperatura	Temperatura de trabajo entre los 40°C Temperatura máxima =130°C
Voltaje máximo de funcionamiento	5V

Fuente: (Bosch Rexroth, 2014)

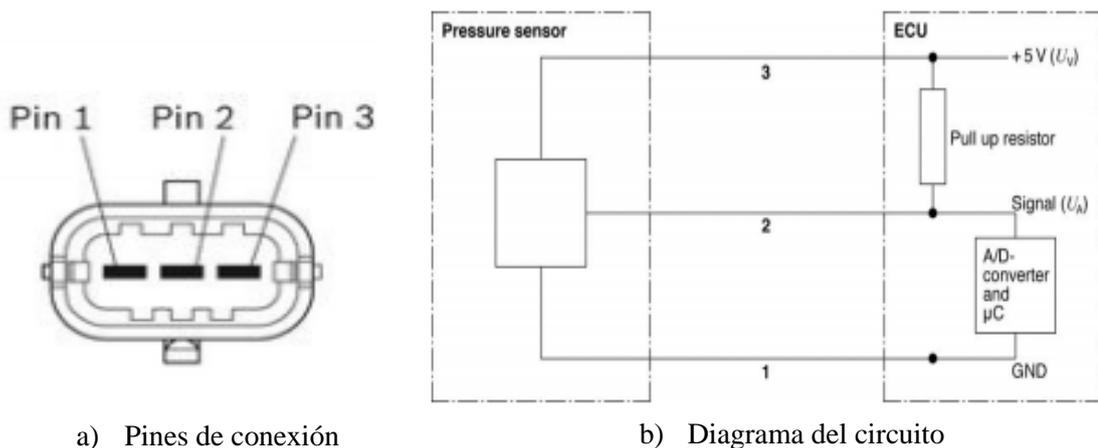


Figura 10-2. Esquema de un sensor Bosch

Fuente: (Bosch Rexroth, 2014)

➤ Caracterización del sensor

La magnitud física medida dentro del cilindro es interpretada mediante la ecuación que responde a los voltajes de señal que indica el sensor de presión.

El sensor se ubica en el banco de inyección de tipo CRDI (Riel común, motor Diésel), con el fin de variar de forma precisa las presiones dentro del riel de combustible, el voltaje obtenido es almacenado para posteriormente realizar una regresión y tener la ecuación necesitada, en la Figura 11-2, se indica la curva de caracterización del sensor.

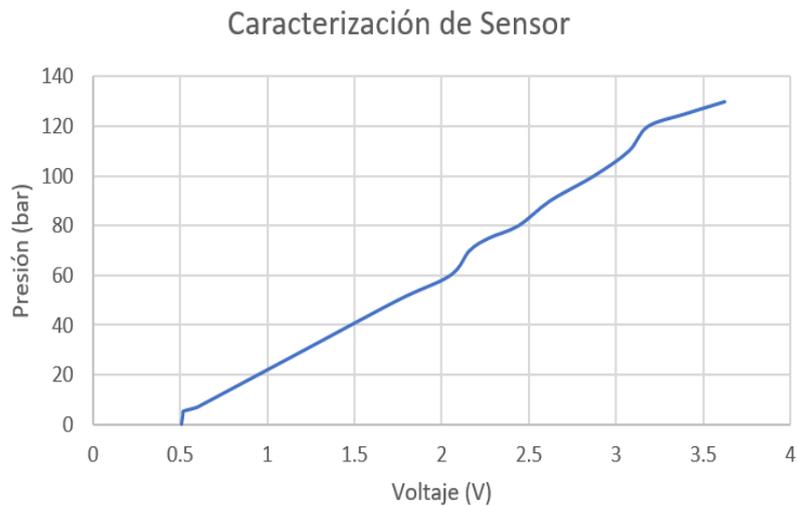


Figura 11-2. Curva de caracterización
Fuente: (Castillo, Rojas, Martínez, & Zambrano)

2.2.3. Tarjeta de adquisición de datos DAQ USB-6009

En la Figura 12-2, se puede observar esta tarjeta, misma que es usada para el comando y diseño de prototipos, sistemas reales, entornos de forma rápida y versátil, esto a través de hardware y software flexibles, esta toma información del entorno (información emitida por cualquier sensor) mediante los pines de entrada y ejerce control mediante los pines de salida (control de actuadores).

Los datos recolectados por la tarjeta pueden ser transferidos al ordenador debido a que esta puede ser programable mediante software LabVIEW u otros, esto permite generar códigos en tiempo real mediante USB, en la Tabla 2-2, se muestran las principales especificaciones técnicas.



Figura 12-2. Tarjeta National Instruments NI USB 6009
Fuente: Autor

Tabla 2-2. Características de la tarjeta DAQ USB-6009.

Denominación	Valor
Voltaje de trabajo	$\pm 10V$
No de entradas analógicas	8
No de entradas digitales	8
No salidas digitales	8
No salidas analógicas	2
Rango máximo de muestreo	5Mhz
Rangos de entradas analógicas seleccionadas por software.	Unipolares = $\pm 10V$ Diferenciales = $\pm 20V, \pm 10V, \pm 5V, \pm 4V, \pm 2.5V, \pm 2V, \pm 1.25V, \pm 1V.$
Canales de entrada analógica seleccionados por software	8 canales unipolares y 4 diferenciales
Muestreo de tasa máxima	Un canal 48KS/s, para múltiples canales 42KS/s
Un convertidor A/D	14 bits de aproximaciones sucesivas y 13 bits de modo diferencial
Provee dos modos de disparo para el A/D	Por software y digital externo
Resolución de entrada	14 bits en modo unipolar 13 bits en modo diferencial

Fuente: (Corporation, 2004-2007)

2.2.4. Presión media efectiva (PME)

Indica el promedio de presiones por encima de la atmosférica en la cámara de combustión durante la fase de trabajo de un ciclo, mientras mayor sea su valor, mayor potencia y par desarrollara el motor en la Tabla 3-2, se muestra algunos valores habituales de motores a gasolina (Benlloch Menchero, 2016)

Tabla 3-2. Valores habituales de presión media efectiva de motores a gasolina

Valores de PME	MEP
Turismo	8 a 14 bares
Deportivo	8.5 a 23 bares

Autor: (Benlloch Menchero, 2016)

La presión media efectiva se puede determinar mediante el uso de un sensor piezoeléctrico adaptado a la bujía de encendido como se indica en la Figura 13-2, con el cual se puede realizar mediciones en tiempo real la energía de la señal es una magnitud que indica la intensidad de dicha presión, mediante la fórmula (16), la energía disipada por una resistencia de 1ohm cuando se aplica un voltaje equivalente a la señal del cilindro se da por la ecuación (17), la potencia de la señal es la cantidad de energía consumida por la misma por unidad de tiempo en un intervalo correspondiente al número total de muestras y esta viene dada por la ecuación (18). (Benlloch Menchero, 2016)

$$\text{Presión media efectiva} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area del cilindro}} \quad (16)$$

$$E = \sum_{n=n_1}^{n_2} |x_n|^2 \quad (17)$$

$$P_s = \frac{1}{n_2 - n_1 + 1} \sum_{n=n_1}^{n_2} |x_n|^2 \quad (18)$$

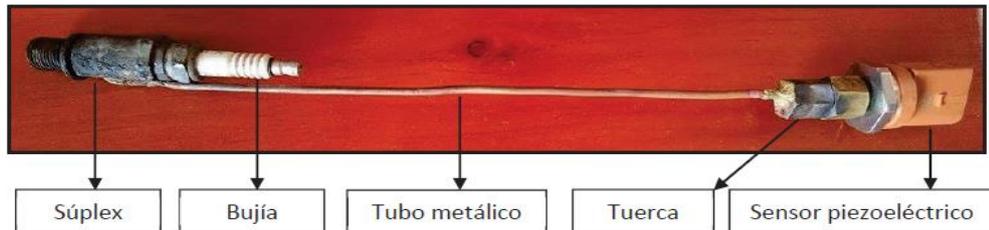


Figura 13-2. Sensor de presión adaptado a la bujía
Fuente: Autor

➤ Esquema de instalación

El esquema que se indica en la Figura 14-2, es válido para realizar la instalación con cualquiera de las dos tarjetas DAQ USB 6008/DAQ USB 6009, aquí se muestra todas las tomas de conexión tanto de la bujía adaptada al sensor, como de este hacia la tarjeta DAQ USB y posteriormente a la computadora donde se procesa la información mediante el software LabVIEW.

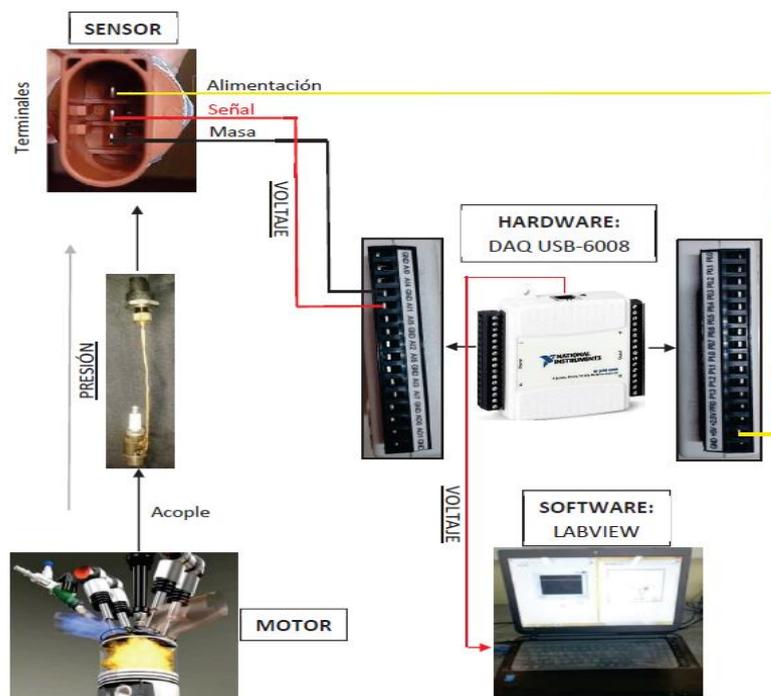


Figura 14-2. Esquema de instalación
Fuente: Autor

El algoritmo que permite determinar el cálculo de la presión se indica desarrollado en la Figura 15-2

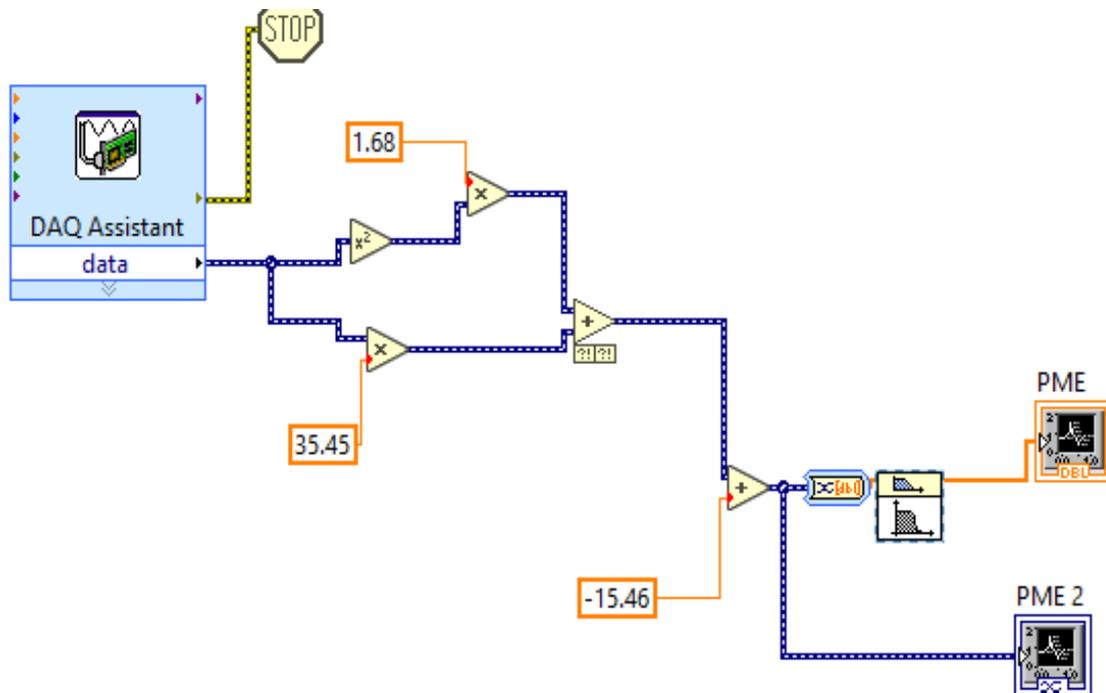


Figura 15-2. Algoritmo de cálculo de presión

Fuente: (Corporation, 2004-2007)

2.2.5. Régimen de giro

Es el número de vueltas por minuto que da el cigüeñal (RPM), es un indicador de la velocidad media del motor (Benlloch Menchero, 2016)

Para cada motor se puede distinguir cuatro regímenes que lo caracterizan:

- Régimen de potencia máxima
- Régimen de par máximo
- Régimen máximo puntual
- Régimen máximo sostenible ininterrumpidamente

2.2.6. Par motor

Es la capacidad que posee un motor para desplazar un peso, esto se debe a que la combustión genera un incremento de la presión y temperatura esta presión produce a la vez la fuerza de empuje (F), sobre el pistón y es proporcional a la presión media efectiva durante la carrera de

expansión, esta depende de la relación de compresión, llenado de los cilindros, cilindrada y eficacia de combustión.

En la Figura 16-2, se puede observar que la fuerza ejercida sobre el pistón (F) se descompone en la fuerza normal (F_n) que ejerce un empuje lateral sobre las paredes del cilindro, mientras la fuerza (F_b) actúa sobre la cabeza de la biela, el producto de la fuerza (F_b) multiplicado por el radio (r), determina el par motor como se plantea en la ecuación (17). (Benlloch Menchero, 2016)

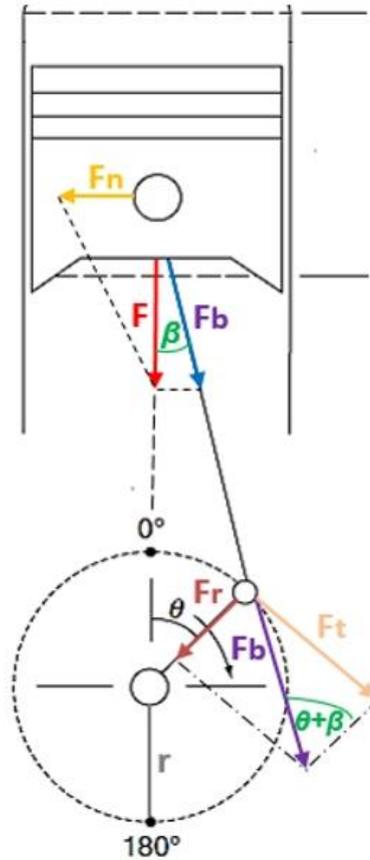


Figura 16-2. Fuerzas actuantes sobre el pistón

Fuente: (Castillo, Rojas, Martínez, & Zambrano)

$$T = F_b * r \tag{17}$$

$$C = \frac{V}{A} \tag{18}$$

Dónde:

T = Torque o par motor (Nm)

F_b = Fuerza sobre la biela (N)

r = Radio de la manivela del cigüeñal(m)

C = Carrera del pistón

V = Volumen

A = Área

2.2.7. *Potencia*

La potencia se encarga de evaluar con que velocidad se puede disponer del par, y esta depende de la cilindrada y relación de compresión mientras mayores sean estas mayores serán las explosiones y como consecuencia de esto es mayor la fuerza que ejerce sobre el pistón esta se determina mediante la ecuación (19).

$$P = T * w = T * \frac{n}{\frac{60}{2\pi}} \quad (19)$$

Dónde:

P = Potencia del motor (kW)

w = Velocidad angular del eje del cigüeñal ($\frac{rad}{s}$)

n = Revoluciones por minuto (rpm)

T = Torque o par (Nm)

Cuando un motor alcanza la potencia máxima, el exceso de revoluciones hace que esta se pierda debido a los sistemas de inyección que tienen un límite operativo, en el caso del motor de dos tiempos esto se debe a la ineficiente sincronización del pistón con las lumbreras.

2.2.8. *Rendimiento o trabajo desarrollado*

Es la aportación de calor en forma de combustible al llenar un cilindro llamado también rendimiento volumétrico, los motores de combustión interna presentan pérdidas de rendimiento por tres razones absorción, rozamiento y temperatura, el rendimiento obtenido al final se denomina como trabajo útil y el rendimiento perdido se le llama trabajo absorbido.

El rendimiento térmico siempre será uno o menor la Figura 17-2, indica el proceso de entrada y salida de energía del motor y puede ser calculada por: (Ferriol, 2018)

$$\eta = \frac{\text{Energía de salida}}{\text{Energía de entrada}} * 100 = \% \quad (20)$$

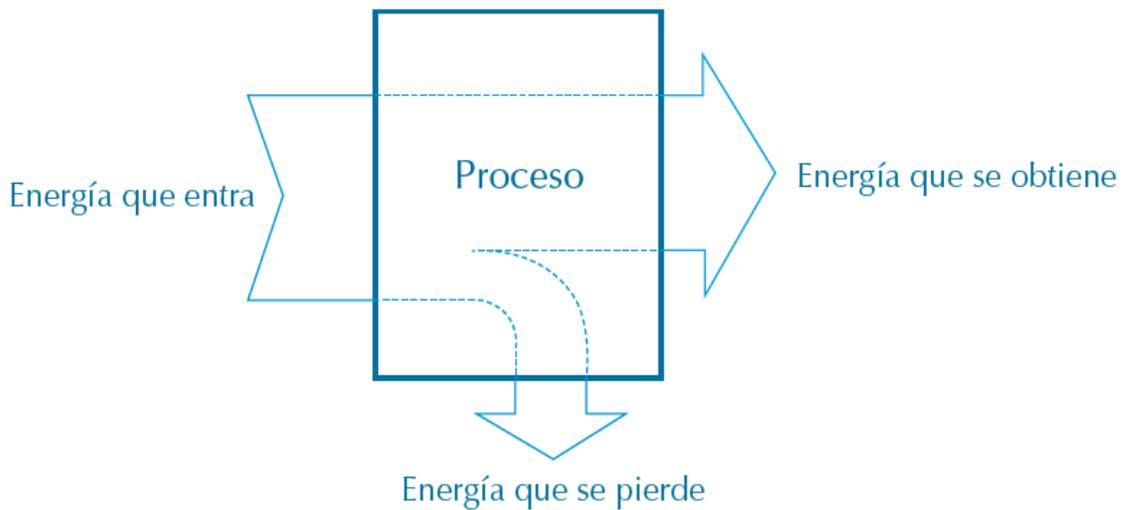


Figura 17-2. Proceso de entrada y salida de la energía de un motor térmico
Fuente: (Ferriol, 2018)

El rendimiento volumétrico viene dado por:

$$\eta_v = \frac{\text{Cantidad de fluido que entra}}{\text{Cantidad de fluido que debería entrar}} \quad (21)$$

➤ **Rendimiento mecánico**

Es la relación entre el trabajo útil obtenido en el volante de inercia y el trabajo teórico de un ciclo siempre será menor a uno, está en un rango entre el (70-90) %, depende de elementos auxiliares que arrastre la correa y del tipo de combustible que se suministre.

La Tabla 4-2, indica valores de diferencia de rendimiento entre el motor a gasolina y Diésel (Ferriol, 2018)

Tabla 4-2. Diferencias de rendimiento mecánico entre un Otto y un Diésel

Rendimiento mecánico (η_m)	Ciclo Otto	Ciclo Diesel
Cuatro tiempos	0,80 a 0,90	0,70 a 0,90
Dos tiempos	0,80 a 0,90	0,80 a 0,85

Autor: (Ferriol, 2018)

La Tabla 5-2, muestra las pérdidas totales por falta de rendimiento en motores de ciclos Otto y Diesel.

Tabla 5-2. Pérdidas totales por falta de rendimiento

		Otto (%)	Diesel (%)
Calor aportado por el combustible		100	100
Pérdidas por rendimiento térmico	η_t	45	35
Pérdidas por rendimiento del diagrama	η_d	10	10
Pérdidas por rendimiento mecánico	η_m	15	15
Pérdidas totales		70	60
Rendimiento eficaz	η_e	30	40

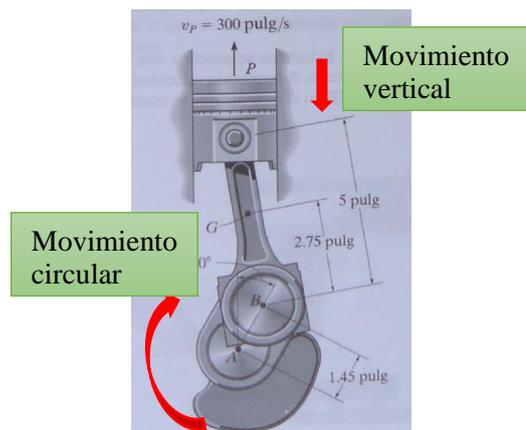
Autor: (Ferriol, 2018)

2.2.9. Biela

Es una pieza sólida como se indica en la Figura 18-2a, une el pistón con el cigüeñal del motor, su función es transmitir la fuerza, producida por la combustión y transformar el movimiento vertical en circular, como se muestra en la figura 18b. Durante su funcionamiento está sometida a esfuerzos de tracción, compresión y flexión. (Dante, 1989),. (Menna, 2018)



a. Pieza sólida



b. Conjunto, pistón, biela, cigüeñal

Figura 18-2. Biela

Fuente: (Menna, 2018), (Hibbeler)

- Materiales

El acero AISI 4130 es un acero de baja aleación contiene molibdeno y cromo como agentes reforzantes el contenido bajo en carbono permite que sea soldable, son templados a un mínimo de 650°C enfriado en el aire y endurecidos a 860°C, con una dureza de 18-22HRc. Son utilizados para equipos de producción y perforación petrolera, elementos de máquinas donde se requiera alta tenacidad y resistencia a la tracción, muñones de dirección, engranajes, ejes, pernos etc. La composición química se describe en la Tabla 6-2, las propiedades mecánicas se detallan en la Tabla 7-2 y el porcentaje de aleantes se indica en la Tabla 8-2.

Tabla 6-2. Composición química

Peso	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	P
Min	0.28	0.15	0.40	0.80	0.15		
Max	0.33	0.35	0.60	1.10	0.25	0.035	0.025

Fuente: (Steel, n.d.)

Tabla 7-2 Propiedades mecánicas

Fuerza de rendimiento Rp0.2, Mpa	Fuerza de tensión Rm, Mpa	Elongación (%)	Dureza (HRC)	Impacto, Charpy-V, -32°C (J)
60≥414 Ksi	≥586	≥ 18	22 MAX	≥ 42
75≥517 Ksi	≥ 655	≥ 17	22 MAX	≥ 42

Fuente: (Steel, n.d.)

Tabla 8-2. Porcentaje de aleantes

Elemento	Contenido (%)
Cromo, Cr	0.80-1.10
Manganeso, Mn	0.40-0.60
Carbón, C	0.28-0.33
Silicio, Si	0.15-0.30
Molibdeno, Mo	0.15-0.25
Azufre, S	0.040

Fuente: (Naranjo, Sanchez, & D.)

Tabla 9-2. Tratamiento térmico del material

Tratamiento	Temperatura °C	Medio de enfriamiento	Dureza	
			RC	HBN
Normalizado	880-900	Aire		
Recocido	850-870	Horno		179(Max)
Temple	860-875	Agua, Aceite	52(Max)	
Revenido	630-670			207-241
Cementación				

Fuente: (Sumindu)

El material AISI 1040 es un acero de construcción de medio carbono, ofrece buena maquinabilidad soporta 90.000 libras (40.823 kg) de fuerza por pulgada cuadrada antes de romperse, puede aplicarse un tratamiento térmico con el objetivo de alterar la estructura molecular y cambiar la reacción a diferentes fuerzas durante la forja, puede ser deformado a menos de 28% de sus dimensiones originales, es usado en aplicaciones de elementos de máquinas, generalmente sus aplicaciones son idénticas a las del acero AISI 1045, para ejes, espárragos, pernos, cigüeñales, cadenas, se suele utilizar también en piezas endurecidas superficialmente por llama oxiacetilénica o por inducción, en la Tabla 10-2 se indica la composición química.

Tabla 10-2. Rangos de composición química

Carbono	Azufre	Fosforo	Silicio	Manganeso
C 0.37-0.44	S 0.04(Max)	P 0.04(Max)	Si 0.15-0.35	Mn 0.60-0.90

Fuente: (Sumindu)

Tabla 11-2. Tratamiento térmico

Tratamiento	Temperatura °C	Medio de enfriamiento	Dureza	
			RC	HBN
Normalizado	870-890	Aire		190(MAX)
Recocido	840-860	Horno		170(MAX)
Temple	830-850	Agua	58(MAX)	
Revenido	200-620		52(MAX)	
Cementación				

Fuente: (Sumindu)

Tabla 12-2. Características y propiedades mecánicas a la tensión del acero AISI 1045

Procesamiento	Resistencia última MPa	Resistencia de fluencia	Elongación en 2%,	Reducción en área %	Dureza Brinell
HR	520	290	18	40	149

Fuente: (Handbook, 1986)

El material empleado para la manufactura de las bielas automotrices es un acero AISI 4340 las propiedades mecánicas se describen en la Tabla 6-2, los rangos de resistencia a la tracción son de (745-1950MPa) y límite de fluencia entre (469-1570MPa), son sometidas a tratamientos térmicos de normalización, temple y revenido cuya finalidad es variar los valores de las propiedades mecánicas. (Campaña, Cañizares, & Villacres, 2017)

Tabla 13-2. Propiedades mecánicas del acero AISI 4340 OQT 1300

PROPIEDADES MECANICAS	VALOR
Resistencia a la tracción:	965 Mpa
Resistencia al punto cedente:	827 Mpa
Ductibilidad (elongación porcentual en 2 pulg):	23
Dureza Brinell:	280 HB
Densidad:	7680 kg/m ³
Módulo de elasticidad:	207 GPa
Razón de Poisson:	0.27
Módulo de corte:	80 GPa
Coefficiente de expansión térmica:	6.5x10 ⁻⁶ °F ⁻¹

Fuente: (Campaña, Cañizares, & Villacres, 2017)

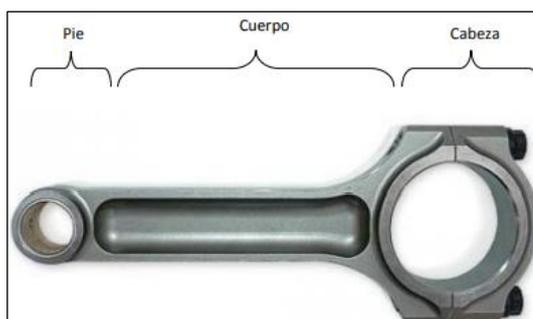
Pueden ser también de acero forjado o el acero al carbono y aleación de Níquel y Cromo, la propiedad mecánica del cromo aumenta la dureza permitiéndole soportar altas cargas compresivas, mejora la templabilidad, ofrece alta resistencia al calor y al desgaste, mientras que el níquel proporciona alta tenacidad pero la desventaja es la fragilidad de Krupp que a

temperaturas entre (450 y 550°C) disminuye la tenacidad por este motivo la aleación se compone de molibdeno para ayudar a disminuir dicha fragilidad y a soportar altas temperaturas, son forjadas a temperaturas elevadas y posteriormente se mecanizan las zonas que permiten el movimiento. Las condiciones exigidas que destacan en la fabricación de bielas para su correcto funcionamiento son: (Gonzalez, 2016)

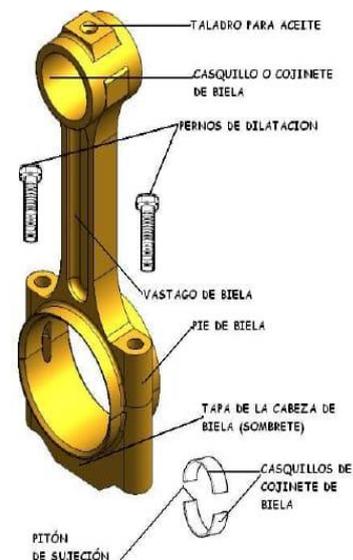
- Igualdad de peso para cada grupo de bielas de un mismo motor.
- Paralelismo entre ejes de simetría.

➤ Partes de una biela

En la Figura 19-2a, se puede observar las partes de una biela, el pie de biela es la parte hueca que aloja a un buje de bronce, para evitar la fricción cuando estos se articulan al bulón situado en el pistón ya que estos elementos realizan movimientos alternativos, la cabeza de la biela es la zona encargada de unir la biela con la muñequilla del cigüeñal, de igual forma para reducir la fricción poseen cojinetes situados en la parte intermedia de la articulación, el sombrerete facilita el montaje y desmontaje de estos elementos que realizan movimiento rotativo, el cuerpo es el encargado de soportar esfuerzos de tracción y compresión en su mayoría los esfuerzos de compresión, además de unir la cabeza y el pie, posee movimiento de rotación y traslación. La Figura 19-2b, ilustra los componentes por los que se conforma la biela para brindar un correcto desempeño. (González, 2016)



a) Partes de una Biela



b) Componentes de una Biela

Figura 19-2. Partes de una biela
Fuente: (González, 2016), (Valley, n.d.)

➤ Diseño de una biela

Las fases e interacciones del proceso de diseño de un elemento se indican en la Figura 20-2, iniciándose con el reconocimiento de la necesidad que para satisfacer este punto es necesario ejecutar una decisión al respecto, la definición del problema es más concreta e incluye las especificaciones del objeto de diseño, el costo, vida útil, confiabilidad y dimensiones del espacio a ocupar. La síntesis, el análisis y la optimización se encuentran relacionados de forma iterativa e íntima ya que el diseño es un proceso iterativo en el que después de varios pasos se evalúan los resultados obtenidos y se vuelve a la fase inicial, esto permite sintetizar los componentes, analizar y optimizarlos y volver a la síntesis para percibir que efectos produce sobre las demás partes del sistema, siendo la comunicación de los resultados a otros el paso final e importante de presentación en el proceso de diseño. (Burdynas & Keith, 2008)

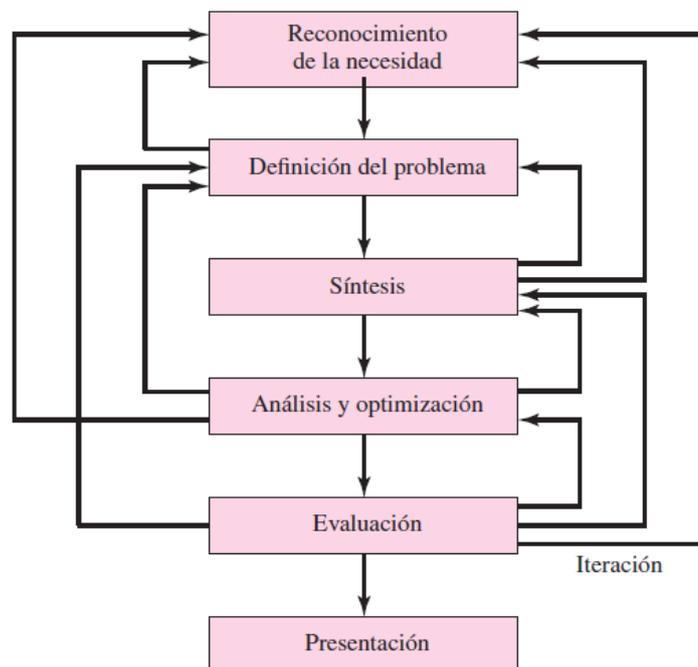


Figura 20-2. Fases e interacciones del proceso de diseño
Fuente: (Burdynas & Keith, 2008)

➤ Consideraciones de diseño

La resistencia requerida por un elemento implica algunas veces un factor importante, a fin de determinar la geometría y dimensiones. Las consideraciones de diseño más importantes son la resistencia, funcionalidad, flexión, desgaste, vida, costo, fricción, utilidad, confiabilidad, manufactura, seguridad, peso, estilo, ruido, forma, tamaño, superficie, propiedades térmicas, comercialización, volumen, reciclado, responsabilidad legal.

Para el diseño de la biela se debe considerar fundamentalmente el fenómeno de pandeo ocasionado por la combinación de esfuerzos, reacciones y temperatura de trabajo como producto de la fuerza de combustión producida en los ciclos de carga, en la Figura 21-2a, se muestra el croquis con las respectivas cotas provenientes de la toma de medidas de una biela modelo, en base a las cuales se puede rediseñarla hasta obtener el modelo final que se indica en la Figura 21-2b.

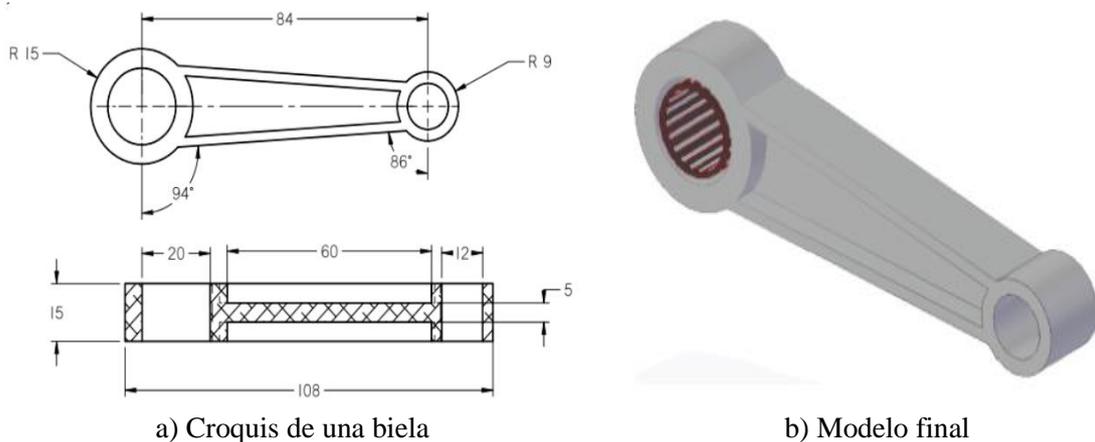


Figura 21-2. Modelación de una biela

Fuente: (Hernandez, n.d.),

➤ Proceso de fabricación de una biela

Se forjan con acero de aleación con alto índice de resistencia y tenacidad. Cuando el acero sin trabajar está caliente (aprox. 1200°C), se martilla en el troquel de forja, haciendo que la línea de textura sea paralela a las superficies de las áreas de concentración de esfuerzos. Después de forjadas las bielas se endurecen.

Luego se las granalla para eliminar todos los pequeños defectos de forja (escamas, picaduras, agujeros, microgrietas, etc.). la maquinaria utiliza para la manufactura se detalla a continuación

- Fresadora CNC (Control Numérico Computarizado)

En la Figura 22-2, se observa este tipo de máquina y se la conoce también como centro de maquinado, permite realizar operaciones de rimado, mandrilado, taladrado, fresado, machuelado, rectificaciones de dimensiones de cojinetes y barrenos para roscado, tiene la capacidad de mover el Chuck a diferente ángulo en cualquiera de los tres ejes, el cambiador automático de herramientas de diámetros esféricos exterior e interior es de hasta 1219.2 mm (48 pulgadas) de diámetro exterior. (Emher machinery, n.d.)



Figura 22-2. Fresadora CNC

Fuente: (Barrera Escobeda, Bastida Saldaña, & Flores Mendez, 2007)

- Rectificadora de interiores

Esta máquina se observa en la Figura 23-2, es capaz de ajustar el diámetro interior de una pieza, para ello es necesario que la pieza permanezca estática luego al árbol rotatorio se le acciona movimiento excéntrico de acuerdo con el diámetro del agujero, rectifica máximo 10 pulgadas de diámetro y soporta hasta 100 libras de peso. (Solutions, n.d.)



Figura 23-2. Rectificadora de interiores

Fuente: (Barrera Escobeda, Bastida Saldaña, & Flores Mendez, 2007)

- Taladro radial

La máquina que se observa en la Figura 24-2, se dispone en forma de columna vertical unida a un brazo horizontal que soporta el cabezal taladrador, puede girar en cualquier posición sobre la

mesa de trabajo y tiene ajuste radial a lo largo del brazo. Estos ajustes permiten al operario ubicar el barreno en cualquier parte de la pieza. Las piezas fundidas son maquinadas para generar barrenos necesarios para los tornillos. (Metalworld, n.d.)



Figura 24-2. Modelación de una biela
Fuente: (Barrera Escobeda, Bastida Saldaña, & Flores Mendez, 2007)

- Sierra cinta

La máquina que se aprecia en la Figura 25-2, además de realizar cortes rectos puede cortar curvas irregulares en metal por ejemplo el corte de cabeza de las bielas de motor, contorno de matrices, plantillas y otras partes numerosas que originalmente se hacían por entero en otras máquinas, o a mano a un costo elevado. (BOHMAN, n.d.)



Figura 25-2. Modelación de una biela
Fuente: (Barrera Escobeda, Bastida Saldaña, & Flores Mendez, 2007)

2.2.10. Diseño generativo

Conocido también como optimización topológica, es un proceso que se centra en determinar la forma más eficiente de un elemento, en función del material con el cual este constituido, este diseño pasa de un modelado asistido por ordenador a otro impulsado por ordenador, obteniéndose como resultado final formas aproximadas a la naturaleza. (Software)

El software empieza con los objetivos de diseño, para ello los algoritmos generan y optimizan automáticamente las opciones del modelado, a diferencia del diseño tradicional que crea diversos conceptos y luego los evalúa y optimiza dependiendo cuales sean los objetivos.

El software Solid Edge se encarga de la optimización topológica avanzada, mediante un kit de herramientas de modelado 3D, que ayuda a los diseñadores a modelar elementos ligeros y altamente personalizados, el software permite eliminar el peso de forma progresiva, como también corregir geometrías defectuosas, esto es un punto clave si se deseara analizar el elemento modelado en otro software por ejemplo en ANSYS, esto evita las interferencias que usualmente suelen producirse en el mallado del elemento.

Los diseños generativos en Solid Edge, son inigualables por tener la capacidad de producir calidades altas de superficie como se muestra en la Figura 26-2, siendo ideal para diversas aplicaciones como por ejemplo para impresiones 3D, o elementos de gran precisión que requieran ser fundidos, cualquier diseño puede ser optimizado aún más si se tratase de fabricar un producto. (Software)



Figura 26-2. Mecanismo optimizado
Fuente: (Software)

2.2.11. Sensor *QUICKCOLLECT*

El dispositivo que se muestra en la Figura 27-2, es un equipo sofisticado que ayuda a realizar seguimiento de parámetros de inspección y vibraciones en los activos que intervienen en el desarrollo productivo de la empresa previniendo fallos y paradas no programadas es fácil de usar ya que se conecta mediante aplicación a la Tablet o celular Android vía Bluetooth. (Hermanos, n.d.)



Figura 27-2. Sensor *QUICKCOLLECT*
Fuente: Autor

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es aplicada, cuyo objetivo es resolver un determinado problema o planteamiento específico, enfocándose en la búsqueda y consolidación de los conocimientos adquiridos en la maestría.

3.1. Métodos de investigación

En la Tabla 1-3, se detallan las etapas de investigación realizadas para la optimización del diseño geométrico de la biela de un motor de 100CC.

Tabla 1-3. Metodología de investigación

MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN
Investigación aplicada	Digitalización de la biela	Software CAD
	Análisis de la geometría de la biela.	Investigaciones previas, artículos y bibliografía
	Determinar el óptimo diseño geométrico de la biela.	Investigaciones previas, artículos y bibliografía Software CAD
	Análisis de resistencia del modelo	Software ANSYS
	Validación del modelo	Software ANSYS

Fuente: Autor

3.1.1. Digitalización de la biela

Inicialmente para el estudio de optimización de la biela, se basó en la ficha técnica de la motocicleta Suzuki AX 100CC que se observa en la Figura 1-3, para la adquisición de la misma que se muestra en la Figura 2-3, en los almacenes de repuestos automotrices nacionales.



Características	
-	100 cc, 2 tiempos
-	Económica
-	Confiable
-	Ideal para nuevos negocios

Colores		
		
Negro	Azul	Rojo

Ficha técnica					
Dimensiones y peso		Motor y transmisión		Chasis, capacidades y otros	
Largo total - 1885 mm	Alto total - 1050 mm	Tipo de motor - Dos tiempos enfriado por aire	Número de cilindros - 1 cilindro	Transmisión - 4 velocidades	Potencia* - 10.0 CV / 7500 rpm
Ancho total - 725 mm	Distancia entre ejes - 1215 mm	Diámetro por cámara - 50.0 mm x 50.0 mm	Desplazamiento - 98 cm ³	Patión de cambios - 4 abalzo	Torque* - 0.97 kg-m / 6500 rpm
Distancia al piso - 140 mm	Altura del asiento - 780 mm	Relación de compresión - 8.8 : 1	Carburación - MIKUNI VM20SS	Cadena transmisión final - Cadena D.I.D. 428D 112 eslabones	Consumos* - 32 km/l
Peso seco*** - 86 kg	Peso neto** - 94 kg	Sistema de lubricación - Suzuki CCI	Embrague - Disco múltiple húmedo	Suspensión delantera - Telescopica hidráulica con resorte	
				Suspensión trasera - Basculante con doble amortiguador, ajustable de 5 posiciones	
				Frenos delanteros - Tambor	
				Freno trasero - Tambor	
				Llanta delantera - 2.50-18 4PR	
				Llanta trasera - 2.75-18 4PR	

Figura 1-3. Especificaciones técnicas
Fuente: (SUZUKI, n.d.)



a) Vista superior



b) Vista inferior



c) Vista lateral

Figura 2-3. Biela adquirida
Fuente: Autor

Posterior a la adquisición se inspecciono y tomo las medidas exteriores (ver Figura 3-3a) e interiores (ver Figura 3-3b) del elemento en cuestión, haciendo uso del calibrador pie de rey como también de otros instrumentos adicionales de medición.



a) Toma de medidas exteriores

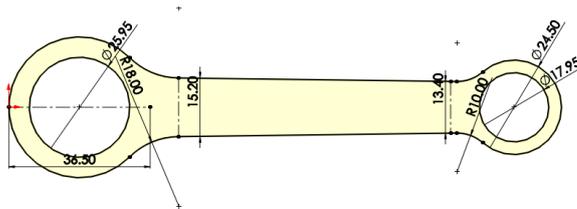


b) Toma de medidas interiores

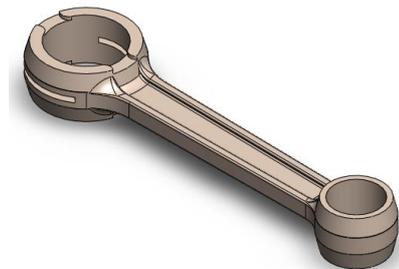
Figura 3-3. Toma de medidas.

Fuente: Autor

Con las dimensiones tomadas se digitalizó haciendo uso del software SolidWorks empezando por la creación del croquis como se indica en la Figura 4-3a, hasta obtener el elemento digitalizado completamente como se observa en la Figura 4-3b.



a) Digitalización de la biela



b) Digitalización final

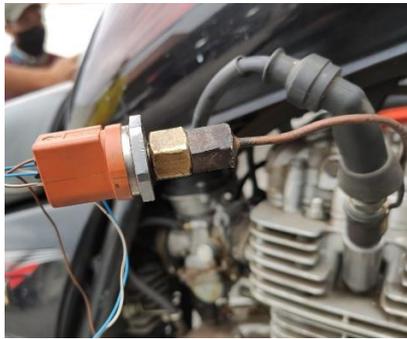
Figura 4-3. Digitalización

Fuente: (SUZUKI, n.d.)

3.1.2. Parámetros de contorno

El próximo paso fue determinar la presión máxima existente dentro del cilindro, para ello se consideraron los conceptos y esquemas de conexión estudiados en el capítulo dos, por tanto primero se instaló la bujía adaptada con el sensor piezoeléctrico que se observa en la Figura 5-3a, en el orificio porta bujía situado en la cabeza del cilindro, luego se realizó las conexiones a la tarjeta DAQ USB 6009 como se muestra en la Figura 5-3b y hacia el ordenador, respectivamente una vez realizado esto se procedió a accionar el arranque hasta que se encienda la motocicleta y el motor alcance una aceleración y temperatura máxima de trabajo (90°C), donde emitió las señales que se puede ver en la pantalla del ordenador de la Figura 5-3c. Con la finalidad de obtener una señal más clara posible se realizó un filtro de datos, de tipo Butterworth con frecuencia de corte de 60Hz, se realizaron múltiples tomas de datos sin embargo se discretizaron tomando en cuenta únicamente las cinco más relevantes, posterior a esto los datos fueron transferidos a Excel a fin de analizar y visualizar la curva de mejor manera obteniéndose

así un valor de presión máxima igual a $5,956 \text{ bar} = 5,956 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$, cuya gráfica se indica en la Figura 5-3d.



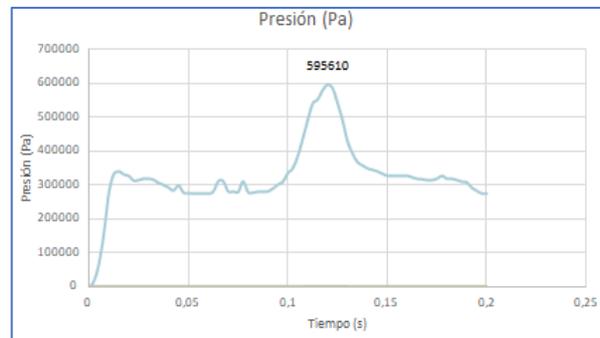
a) Instalación de la bujía adaptada



b) Conexión de los tarjeta USB 6009



c) Visualización de curvas emitidas



d) Presion máxima obtenida

Figura 5-3. Adquisición de parámetros
Fuente: Autor

Por tanto, la presión máxima determinada en el inciso anterior, se relaciona con la fuerza total que actúa sobre la cabeza pistón, a la vez esta se descompone en las componentes (F_n, F_b) que se indican en la Figura 6-3, cuyas magnitudes se encontraron mediante el siguiente calculo.

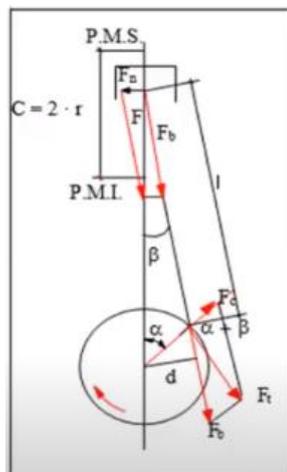


Figura 6-3. Componentes de la fuerza ejercida sobre el pistón
Fuente: (Pinterest, n.d.)

Datos:

$$P_{m\acute{a}x} = 5,956 \text{ bar} = 5,596 * 10^5 \frac{N}{m^2}$$

$$d = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi * (50 \text{ mm})^2}{4} = 1,963 * 10^3 \text{ mm}^2$$

Sustituyendo estos valores en la ecuaci3n (16) se encontr3 la magnitud de la fuerza de empuje ejercida sobre el pist3n.

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

$$F = P_{m\acute{a}x} * A$$

$$F = 5,596 * 10^5 \frac{N}{m^2} * 1,963 * 10^{-3} \text{ m}^2 = 2 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$F = 1169 \text{ N}$$

La carrera del pist3n fue calculada aplicando la ecuaci3n (18) como se indica.

$$C = \frac{V}{A}$$

$$V = 98 \text{ cm}^3 = 98 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$A = 0.002 \text{ m}^2$$

$$C = \frac{V}{A} = \frac{98 * 10^{-6} \text{ m}^3}{0.002 \text{ m}^2} = 49 * 10^{-3} \text{ m} = 49.911 \text{ mm}$$

$$r = \frac{C}{2} = \frac{49.911 \text{ mm}}{2} = 24.955 \text{ mm}$$

$$L = 112.25 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{r}{l} = \frac{24.955 \text{ mm}}{112.25 \text{ mm}} = 0.222$$

$$\alpha = 78.25^\circ$$

$$\beta = \cos\left(\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2(\alpha)}\right) = 0.219$$

$$F_n = F * \tan\beta = 260,743 \text{ N}$$

$$M_f = F_n * l = 2927 * 10^4 \text{ Nmm}$$

3.1.3. Análisis de pandeo

Datos:

$$P_{m\acute{a}x} = 0,5956 \text{ MPa}$$

$$D = 50 \text{ mm}$$

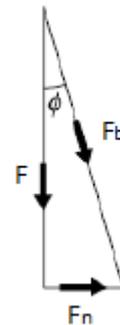
$$\sigma_c = 435 \text{ MPa}$$

$$L = 112,5 \text{ mm}$$

$$\cos\phi = 0,98748$$

$$F.S. = 3$$

$$a = 7500 \text{ (constante material acero)}$$



Resolución:

Fuerza actuante sobre la biela

$$F_b = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) * \frac{P_{m\acute{a}x}}{\cos\phi}$$

$$F_b = \left(\frac{\pi(50 \text{ mm})^2}{4}\right) * \frac{0,5956 \text{ N/mm}^2}{0,98748}$$

$$F_b = 1184,28 \text{ N}$$

Carga crítica de Pandeo

$$P_{cr} = F_b * F.S.$$

$$P_{cr} = 1184,2 N * 3$$

$$P_{cr} = 3552,84 N$$

Cálculo del espesor de la sección transversal típica de la biela

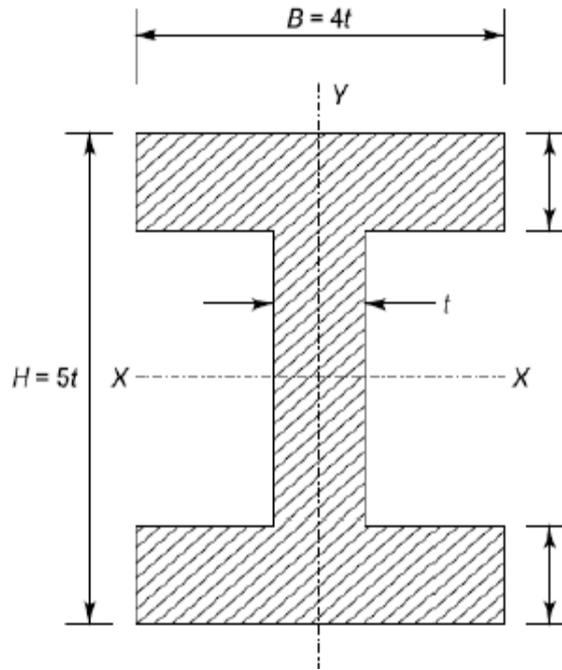


Figura 7-3. Vista en sección transversal típica de la biela
Fuente: Autor

$$A = 2(4t * t) + (5t - 2t) * t = 11t^2$$

$$A = 11t^2$$

$$A = 11(2 \text{ mm})^2$$

$$A = 44 \text{ mm}^2$$

K_{xx} = Radio de Giro (mm) (De acuerdo a la fórmula del momento de inercia se tiene)

$$K_{xx} = 1,78t$$

Aplicando la fórmula de Rankine para encontrar el espesor t se tiene:

$$P_{cr} = \frac{\sigma_c A}{1 + \frac{1}{a} \left(\frac{L}{K_{xx}} \right)^2}$$

$$3552,84 = \frac{435(11t^2)}{1 + \frac{1}{7500} \left(\frac{112,5}{1,78t} \right)^2}$$

$$t^4 - 0,7425t^2 - 0,3955 = 0$$

La ecuación anterior es una ecuación cuadrática en t^2 :

$$t^2 = \frac{0,7425 \pm \sqrt{(0,7425)^2 + 4(0,3955)}}{2}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

Entonces el radio de giro es:

$$K_{xx} = 1,78 * 2$$

$$K_{xx} = 3,56 \text{ mm}$$

Cálculo de la carga crítica de diseño de pandeo de nuestro modelo:

Datos:

$$\sigma_c = 435 \text{ MPa}$$

$$L = 112,5 \text{ mm}$$

$$a = 7500 \text{ (constante material acero)}$$

$$A = 44 \text{ mm}^2$$

$$K_{xx} = 3,56 \text{ mm}$$

$$P_{cr} = \frac{\sigma_c A}{1 + \frac{1}{a} \left(\frac{L}{K_{xx}} \right)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{435(44)}{1 + \frac{1}{7500} \left(\frac{112,5}{3,56} \right)^2}$$

$$P_{cr} = 16890,2224 \text{ N}$$

Cálculo de la carga crítica de diseño de pandeo de un solo lado de nuestro modelo:

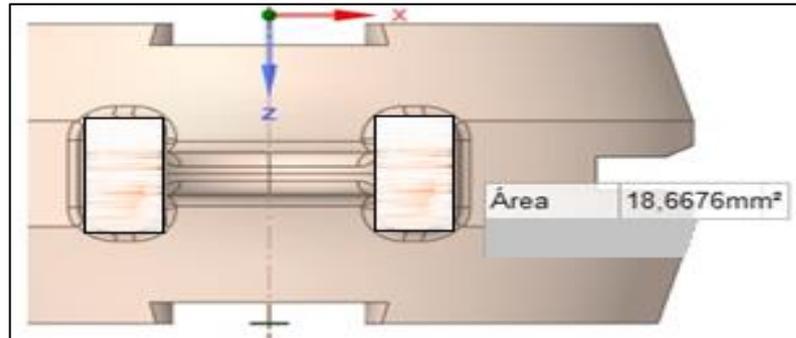


Figura 8-3. Área seccional de un lado de la biela
Fuente: Autor

$$P_{cr} = \frac{\sigma_c A}{1 + \frac{1}{a} \left(\frac{L}{K_{xx}} \right)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{435(18,6676)}{1 + \frac{1}{7500} \left(\frac{112,5}{3,56} \right)^2}$$

$$P_{cr} = 7165,9072 \text{ N}$$

Cálculo del porcentaje de la carga crítica de pandeo que soporta un solo lado:

$$16890,2224 \text{ N} \rightarrow 100\%$$

$$7165,9072 \text{ N} \rightarrow x$$

$$x = \frac{7165,9072 \text{ N} * 100\%}{16890,2224 \text{ N}}$$

$$x = 42,4264\%$$

$$x = 42\%$$

Como se puede observar la carga que soporta el área de un solo lado corresponde al 42 % de la carga total se tiene lo siguiente:

$$\begin{array}{rcl} 3552,84 \text{ N} & \rightarrow & 100\% \\ x & \rightarrow & 42,4264\% \end{array}$$

$$x = \frac{3552,84 \text{ N} * 42,4264\%}{100\%}$$

$$x = 1507,3421 \text{ N}$$

3.1.4. *Análisis original de la biela.*

Del cálculo anterior se tomaron los parámetros de contorno como datos iniciales de entrada para el análisis en el software ANSYS, módulo “static structural”, para ello se transfirió la geometría digitalizada en el software SolidWorks, hacia el módulo mencionado como se indica en la Figura 9-3.

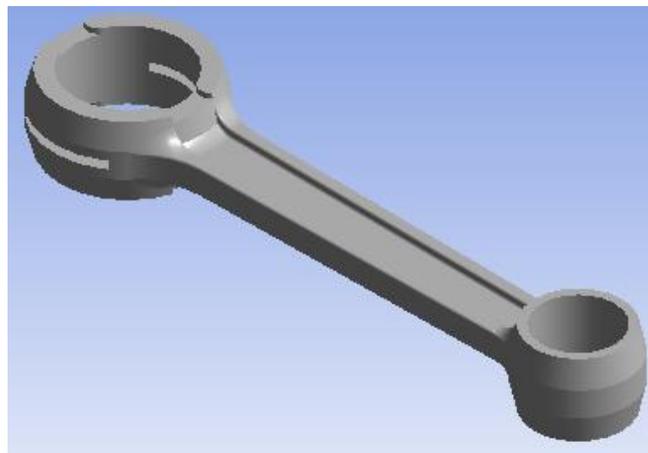


Figura 9-3. Biela transferida al módulo static structural

Fuente: Autor

El material utilizado para este estudio es el que se constituye de fábrica acero al carbono aleado con níquel y cromo, de acuerdo al sistema de designación AISI, es usado los cuatro dígitos para aceros aleados y al carbón, los dos primeros dígitos que señalan el grupo específico de aleaciones a parte del carbono en el acero y los dos últimos muestran la cantidad de carbono en el acero para aceros aleados con cromo, molibdeno y níquel se usa la designación 43xx, que posee composición química de 1.8% de níquel, (0.5-0.8%) de cromo, 0.25% de molibdeno y 0.30% de carbón, este tipo de acero es aplicable también en engranajes, ejes y piezas que

requieren gran endurecimiento interior como la biela, por lo que las propiedades de la biela se indican en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3. Características originales de la biela con material AISI 4130

Masa (kg)	Peso (N)	Volumen (mm ³)
0.126	1.235	16084

Fuente: Autor

El análisis original de la biela se analizó de dos formas bajo los datos de entrada al software ANSYS que se describen a continuación de este párrafo, el primer análisis en condiciones de temperatura ambiente y el segundo en condiciones de trabajo del motor a temperatura máxima de 90°C.

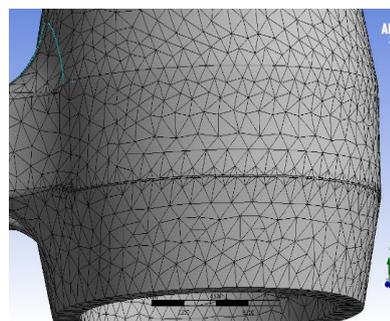
Datos:

$$F = 383.731N$$

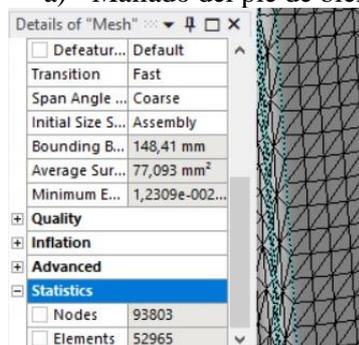
$$M_f = 9.606 \times 10^3 Nmm$$

$$T = \text{Ambiente y a } 90^\circ\text{C}$$

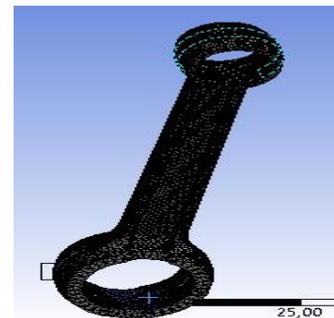
Se utilizó una malla de tamaño fino para el mallado del elemento como se indica en la Figura 10-3a, Figura 10-3b, con la calidad que se muestra en la Figura 10-3d.



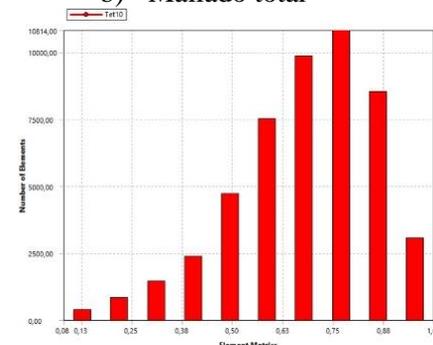
a) Mallado del pie de biela



c) Detalles de malla



b) Mallado total



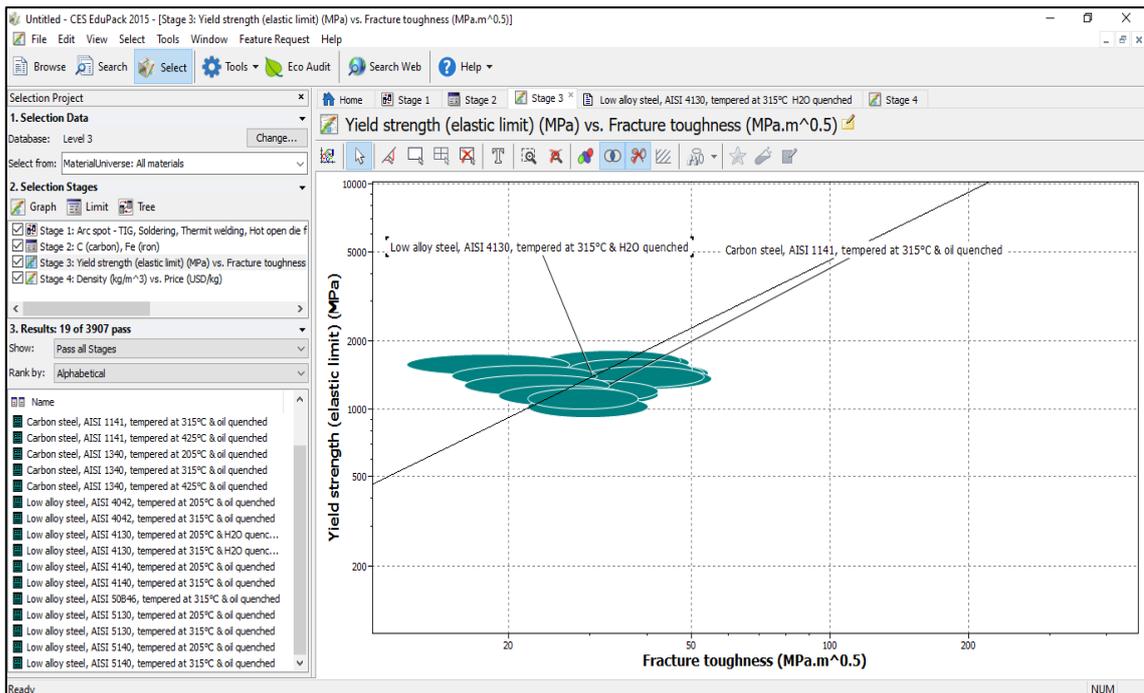
d) Calidad de malla

Figura 10-3. Análisis original de la biela

Fuente: Autor

3.1.5. Selección del material para la biela propuesta

El software CES EduPack es una herramienta que nos permite realizar una selección del material basada en las propiedades requeridas dentro del caso de estudio, en este caso la biela, por lo que se realiza la comparación entre el material original de la biela (Acero 1141) con distintos aceros y de esta manera se pudo obtener mediante selección de materiales el acero 4130 que nos brinda propiedades semejantes al original, éste acero fue utilizado para los diferentes estudios realizados en el modelo debido a que brinda las propiedades requeridas en el diseño de la biela.



Ready NUM

CES 2015 EDUPACK Untitled - All Stages Page 1 of 1

Name
Carbon steel, AISI 1137, tempered at 205°C & H2O quenched
Carbon steel, AISI 1137, tempered at 315°C & H2O quenched
Carbon steel, AISI 1141, tempered at 205°C & oil quenched
Carbon steel, AISI 1141, tempered at 315°C & oil quenched
Carbon steel, AISI 1141, tempered at 425°C & oil quenched
Carbon steel, AISI 1340, tempered at 205°C & oil quenched
Carbon steel, AISI 1340, tempered at 315°C & oil quenched
Carbon steel, AISI 1340, tempered at 425°C & oil quenched
Low alloy steel, AISI 4042, tempered at 205°C & oil quenched
Low alloy steel, AISI 4042, tempered at 315°C & oil quenched
Low alloy steel, AISI 4130, tempered at 205°C & H2O quenched
Low alloy steel, AISI 4130, tempered at 315°C & H2O quenched
Low alloy steel, AISI 4140, tempered at 205°C & oil quenched
Low alloy steel, AISI 4140, tempered at 315°C & oil quenched
Low alloy steel, AISI 50B46, tempered at 315°C & oil quenched
Low alloy steel, AISI 5130, tempered at 205°C & oil quenched
Low alloy steel, AISI 5130, tempered at 315°C & oil quenched
Low alloy steel, AISI 5140, tempered at 205°C & oil quenched
Low alloy steel, AISI 5140, tempered at 315°C & oil quenched

Figura 11-3. CES EDUPACK

Fuente: Autor

3.1.6. Determinar el óptimo diseño geométrico de la biela

Una vez obtenidos y analizados los resultados del análisis original de la biela se procedió a rediseñar la misma tres veces, con base al diagrama estudiado en la sección 2.2.9, Figura 12-3, ya que estas fases e interacciones son validadas para el diseño y rediseño.

Los tres rediseños se realizaron, haciendo uso de una máquina virtual Workstation con tarjeta de Xeon, debido a que el software Solid Edge demanda alta capacidad de procesamiento al momento de reducir material como se indica en la Figura 12-3a, hasta alcanzar un modelo optimo como se aprecia en la Figura 12-3c, ya que la capacidad de procesamiento que posee una maquina normal resulta limitada para este proceso.



Figura 12-3. Rediseño de la geometría de la biela

Fuente: Autor

3.1.6.1. Primer rediseño

Al igual que el análisis original los análisis de los tres rediseños se realizaron en el software ANSYS bajo los mismos parámetros de estudio y el material seleccionado en la Figura 12-3a.

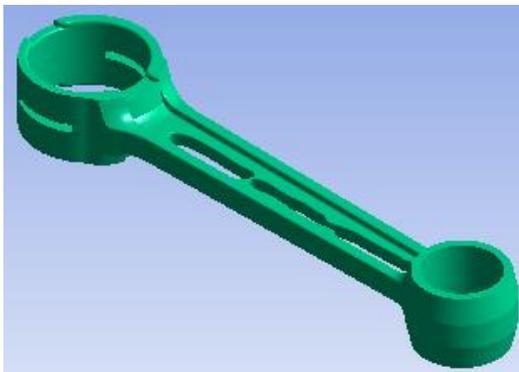
En el primer rediseño se optimizó la geometría quitando una cantidad de masa de la parte central del cuerpo de biela como se observa en la Figura 13-3a, equivalente al 6.349% de optimización respecto a la masa original, los valores optimizados se detallan en la Tabla 3-3,

posterior a esto la geometría fue transferida al software ANSYS donde fue analizada con el tipo de mallado que se muestra en la Figura 13-3b.

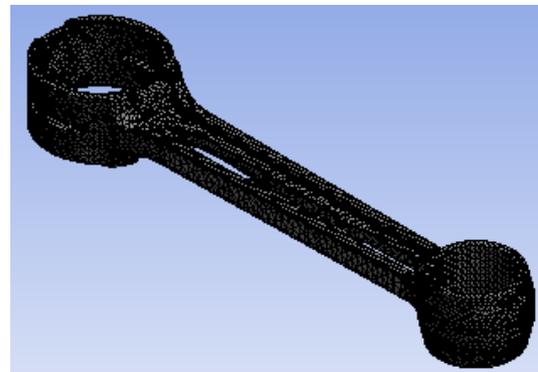
Tabla 3-3. Valores optimizados en el primer rediseño

Masa inicial (kg)	Masa optimizada (kg)	Porcentaje optimizado (%)	Masa propuesta(kg)
0.126	0.008	6.349	0.120
Peso inicial (N)	Peso optimizado (N)		Peso propuesto (N)
1.235	0.078	6.316	1.176
Volumen inicial (mm^3)	Volumen optimizado (mm^3)		Volumen propuesto (mm^3)
16084	818	5.086	15266

Fuente: Autor



a) Geometría rediseñada



b) Mallado

Figura 13-3. Primer rediseño

Fuente: Autor

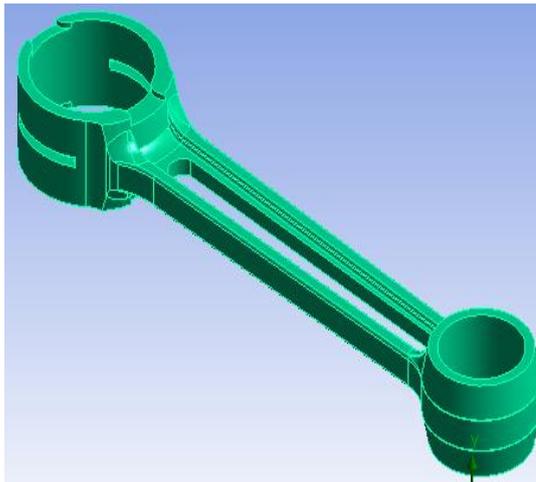
3.1.6.2. Segundo rediseño

Considerando que se puede retirar masa del cuerpo de biela, esta se volvió a optimizar quitando 0.012 kg, equivalente al 9.524% de la masa original, misma que es directamente proporcional a la geometría hueca que se observa en la Figura 14-3a, en la Tabla 4-3, se detallan los valores, seguidamente fue analizada con el tipo de malla que se muestra en la Figura 14-3b.

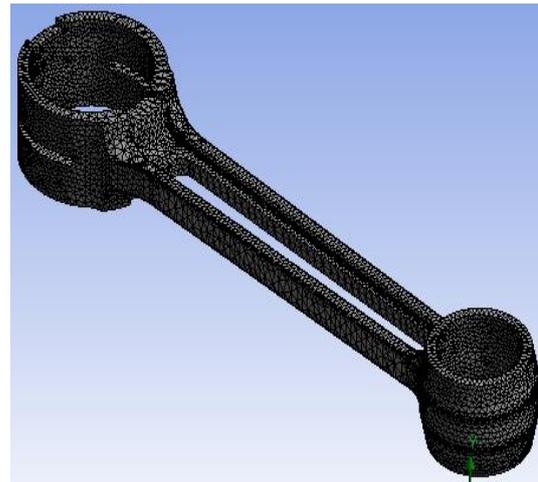
Tabla 4-3. Valores optimizados en el segundo rediseño

Masa inicial (kg)	Masa optimizada (kg)	Porcentaje optimizado (%)	Masa propuesta (kg)
0.126	0.012	9.524	0.114
Peso inicial (N)	Peso optimizado (N)		Peso propuesto (N)
1.235	0.118	9.555	1.117
Volumen inicial (mm^3)	Volumen optimizado (mm^3)		Volumen propuesto (mm^3)
16084	1521	9.457	14563

Fuente: Autor



a) Rediseño de la Biela



b) Tipo de mallado

Figura 14-3. Segundo rediseño

Fuente: Autor

3.1.6.3. Tercer rediseño

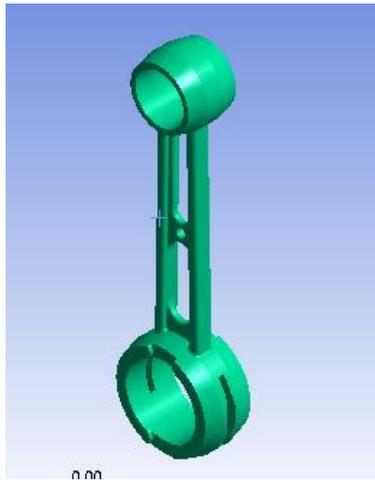
En base a la optimización anterior se observó que es factible continuar retirando masa hasta alcanzar una geometría tubular unida por un nervio aprovechando que el software Solid Edge brinda estos alcances.

Por lo que se retiró una masa igual a 0.025kg correspondiente al 19.841% de optimización respecto a la masa original y esta corresponde a la geometría hueca que se muestra en la Figura 15-3a y el análisis respectivo se realizó con tipo de malla que se observa en la Figura 15-3b.

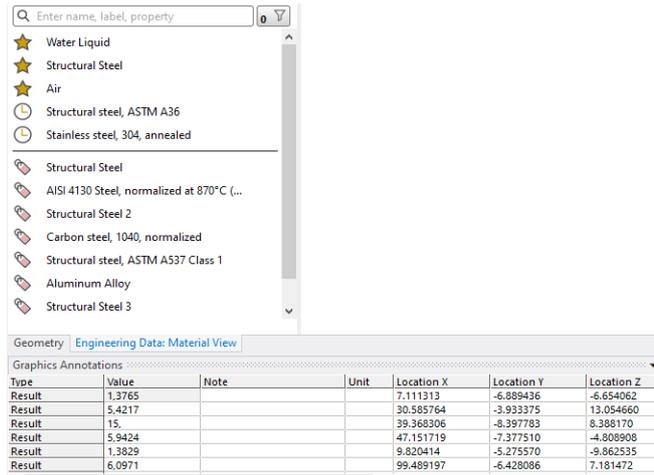
Tabla 5-3. Valores optimizados en el tercer rediseño

Masa inicial (kg)	Masa optimizada (kg)	Porcentaje optimizado (%)	Masa propuesta (kg)
0.126	0.025	19.841	0.101
Peso inicial (N)	Peso optimizado (N)		Peso propuesto (N)
1.235	0.245	19.838	0.990
Volumen inicial (mm^3)	Volumen optimizado (mm^3)		Volumen propuesto (mm^3)
16084	3166	19.684	12918

Fuente: Autor



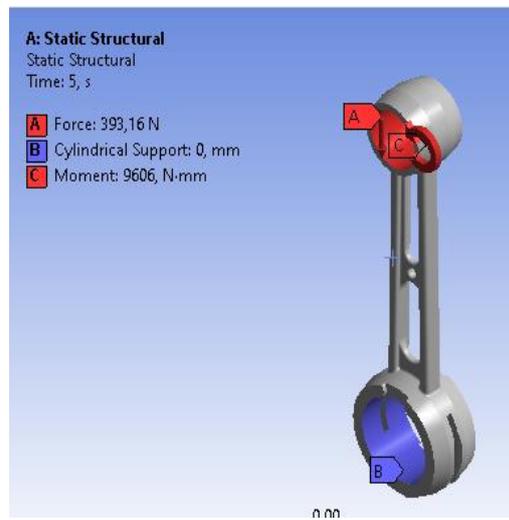
a) Modelo de diseño



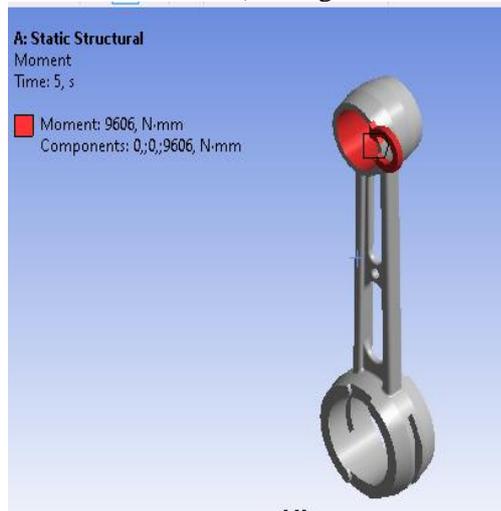
b) Asignación de material



c) Refinamiento de malla



d) Asignación de fuerza al pie de biela



e) Asignación de momento al pie de biela

Figura 15-3. Procedimiento para el análisis mediante software ANSYS

Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Resultados correspondientes al análisis original de la biela 1141

4.1.1.1. Resultados a temperatura ambiente

En la Figura 1-4, se observa el resultado obtenido de la deformación total correspondiente al análisis de biela original de la motocicleta, la máxima deformación se produce en la zona del pie de biela la cual está en contacto con el bulón del pistón.

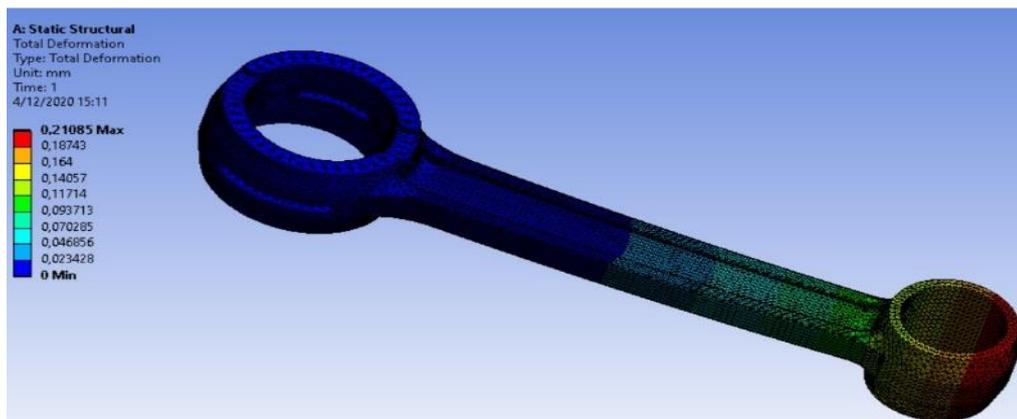


Figura 1-4. Deformación total de la biela original de la motocicleta Suzuki 100cc
Fuente: Autor

En la Figura 2-4, se muestra el análisis del equivalente de Von Mises.

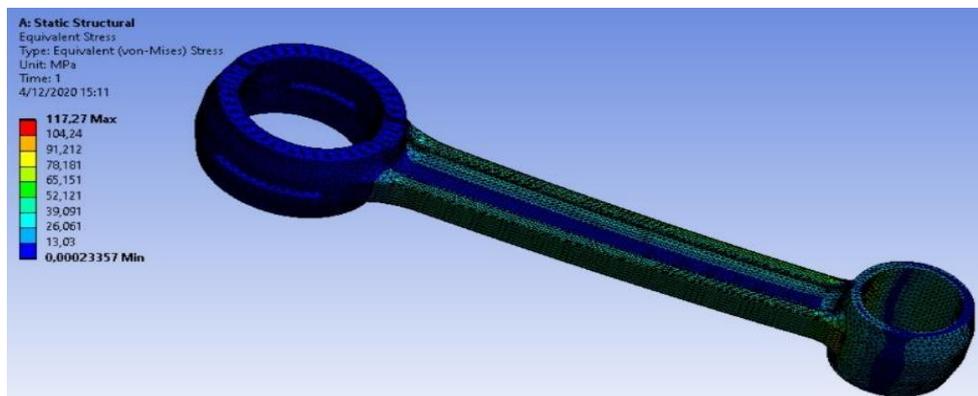


Figura 2-4. Equivalente de Von Mises
Fuente: Autor

En la Figura 3-4, se indica el factor de seguridad igual a 4.257 esto indica que posee un factor de seguridad confiable.



Figura 3-4. Factor de seguridad

Fuente: Autor

4.1.1.2. Resultados bajo condiciones de trabajo del motor a temperatura igual a 90 °C

En la Figura 4-4, se muestra la deformación total de la biela original con un valor máximo de 0.227mm el cual se produce en el pie de biela.

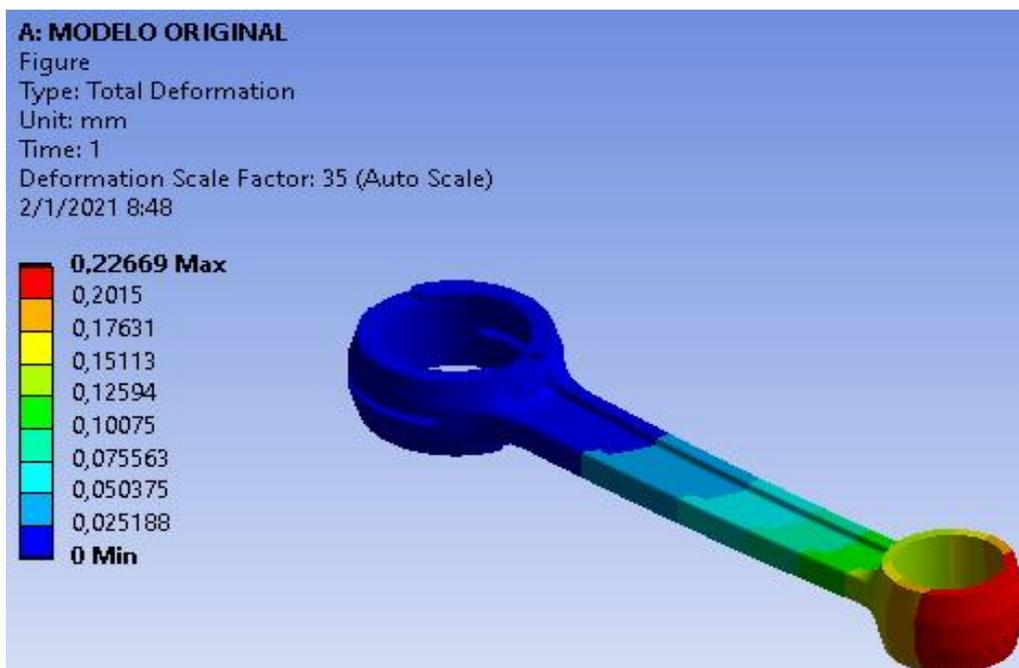


Figura 4-4. Deformación total de la biela original de la motocicleta Suzuki 100cc

Fuente: Autor

En la Figura 5-4, se muestra el análisis del equivalente de Von Mises.

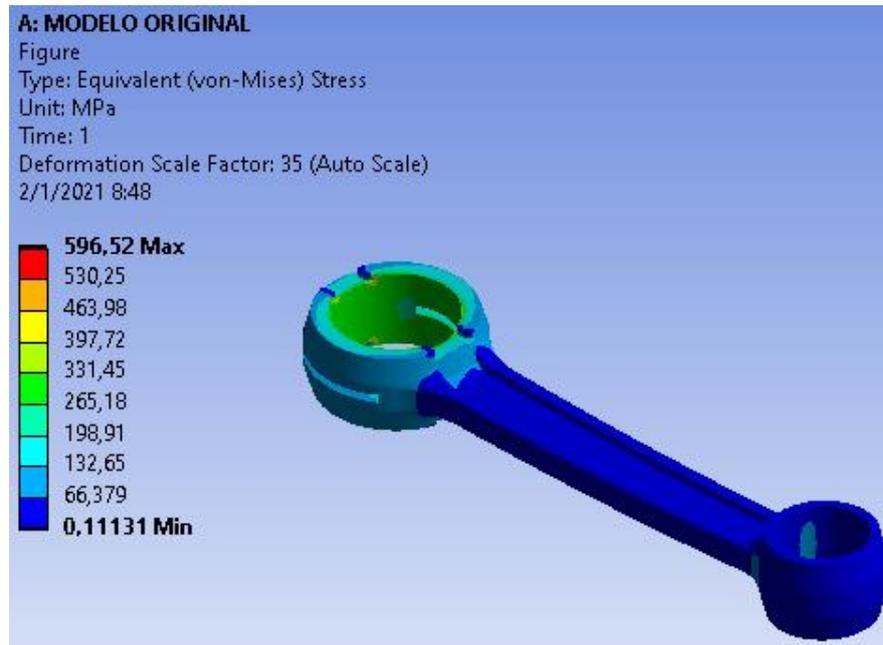


Figura 5-4. Equivalente de Von Mises
Fuente: Autor

En la Figura 6-4, se indica el factor de seguridad correspondiente al análisis de la biela original cuyo valor mínimo es de 0.837, en la cabeza de biela siendo esta la más susceptible a fallar.

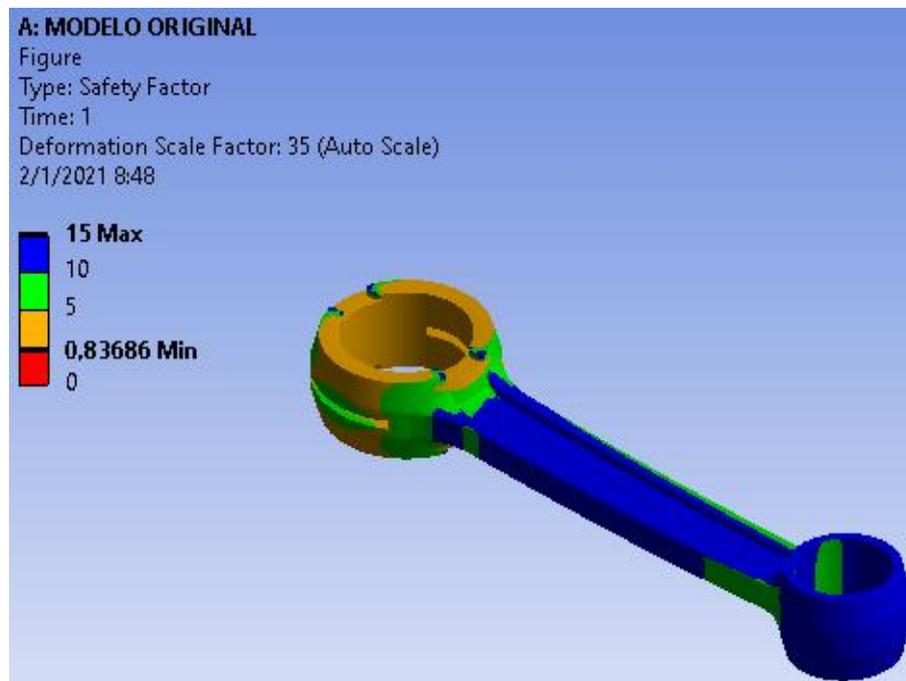


Figura 6-4. Factor de seguridad
Fuente: Autor

4.1.2. Resultados correspondientes al primer rediseño con material 4130

En la Figura 7-4, se muestra la deformación total obtenida del primer rediseño la cual tiene un valor máximo de 0.218 en la zona del pie de biela.

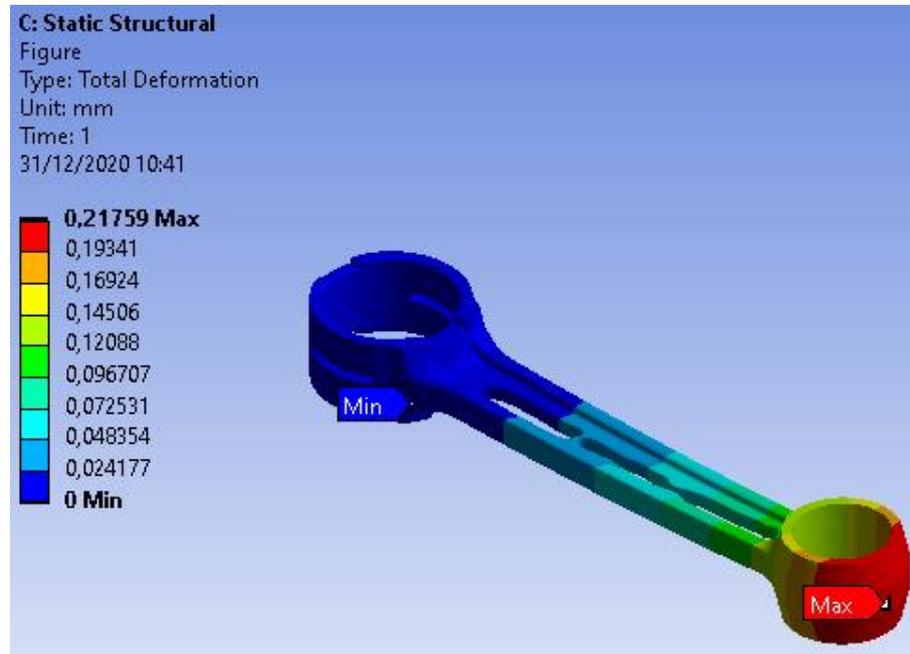


Figura 7-4. Deformación total
Fuente: Autor

En la Figura 8-4, se puede observar el equivalente de Von Mises

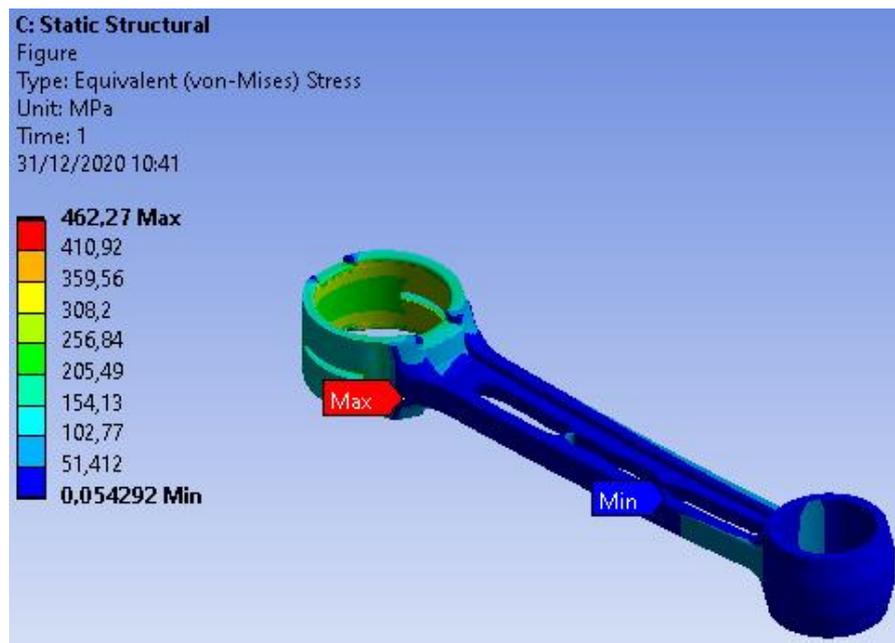


Figura 8-4. Equivalente de Von Mises
Fuente: Autor

La Figura 9-4, indica el factor de seguridad obtenido igual a 0.935 en la zona de la cabeza de la biela.

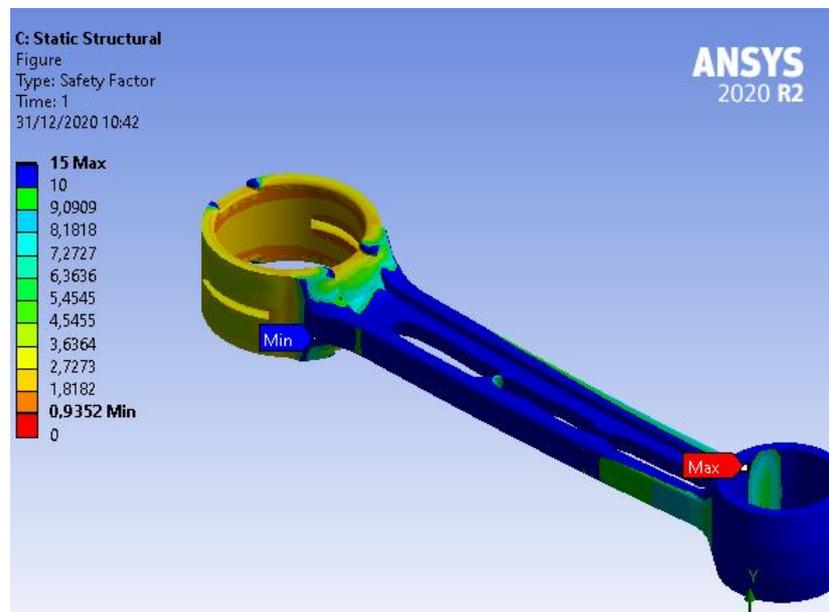


Figura 9-4. Factor de seguridad
Fuente: Autor

4.1.3. Resultados correspondientes al segundo rediseño 4130

La Figura 10-4, corresponde al resultado obtenido de la deformación total del segundo rediseño cuyo valor es igual a 0.192mm ubicado en la zona del pie de biela.

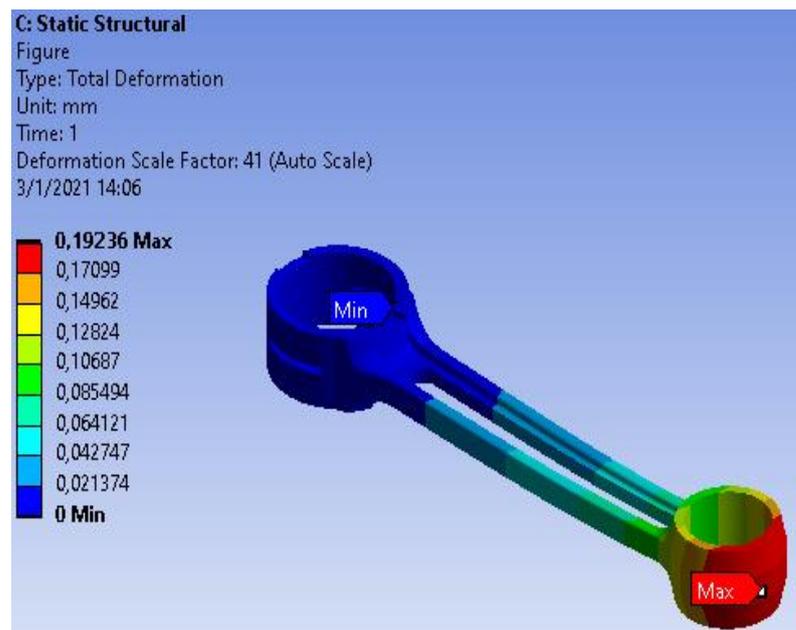


Figura 10-4. Deformación total
Fuente: Autor

En la Figura 11-4, se observa el equivalente de Von Mises

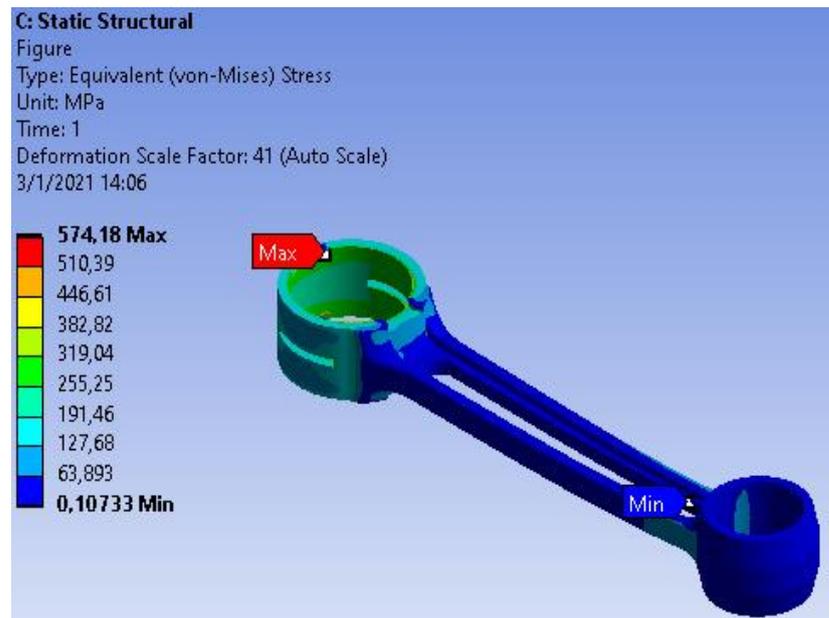


Figura 11-4. Equivalente de Von Mises
Fuente: Autor

La Figura 12-4, muestra el factor de seguridad obtenido del segundo rediseño, con un valor igual a 0.753 localizado en la cabeza de biela.

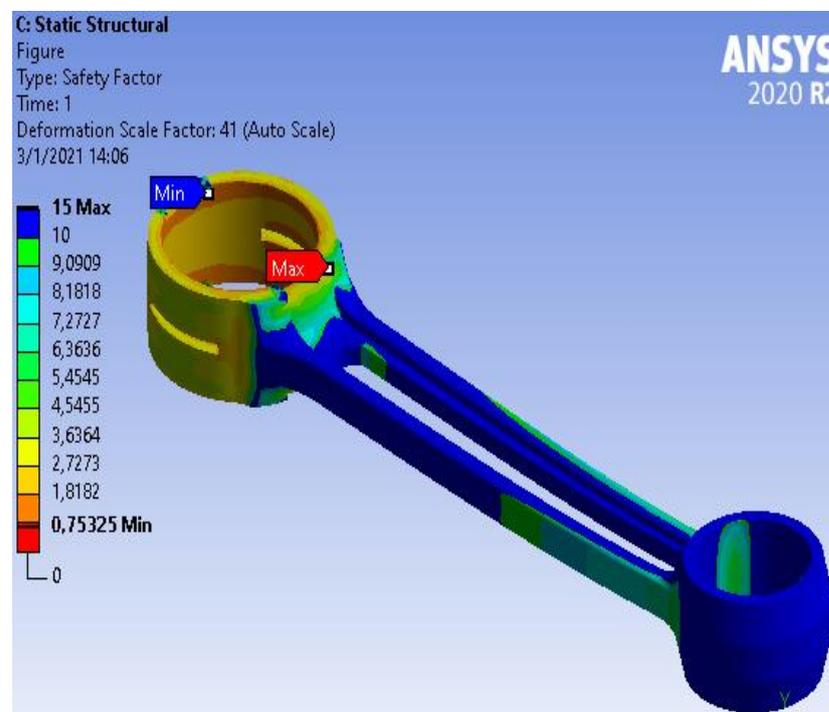


Figura 12-4. Factor de seguridad
Fuente: Autor

4.1.4. Resultados correspondientes al tercer rediseño 4130

Resultado de los análisis del rediseño propuesto, con material AISI 4130 y temperatura de trabajo igual a 90°C. La Figura 13-4, muestra las condiciones térmicas de la biela durante un ciclo de trabajo.

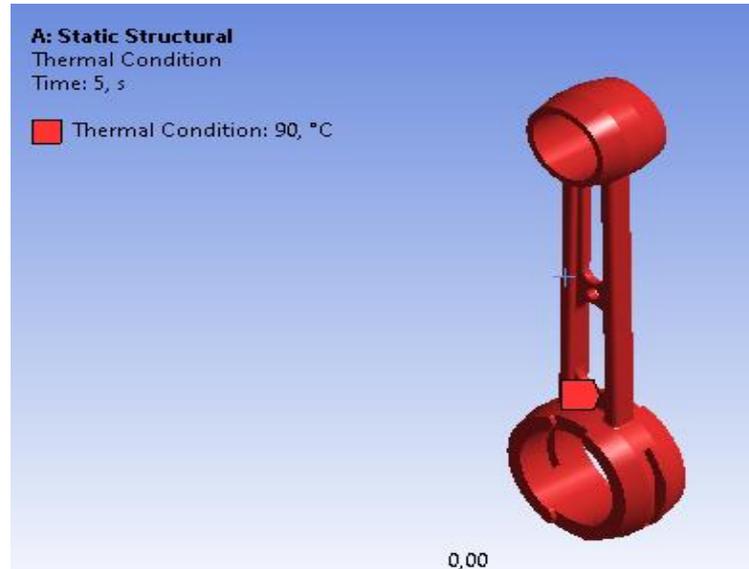


Figura 13-4. Deformación Total

Fuente: Autor

En la Figura 14-4, se indica la deformación total obtenida

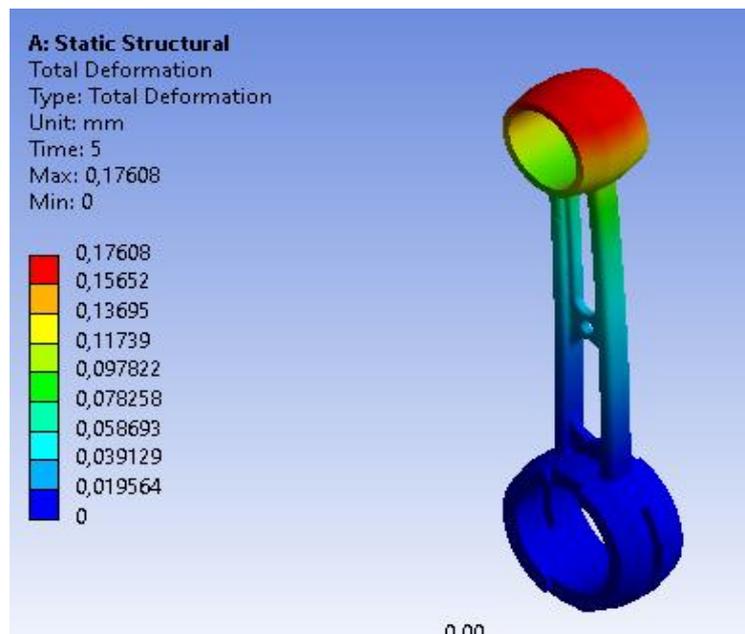


Figura 14-4. Deformación Total

Fuente: Autor

En la Figura 15-4, se muestra la deformación en el eje “x”

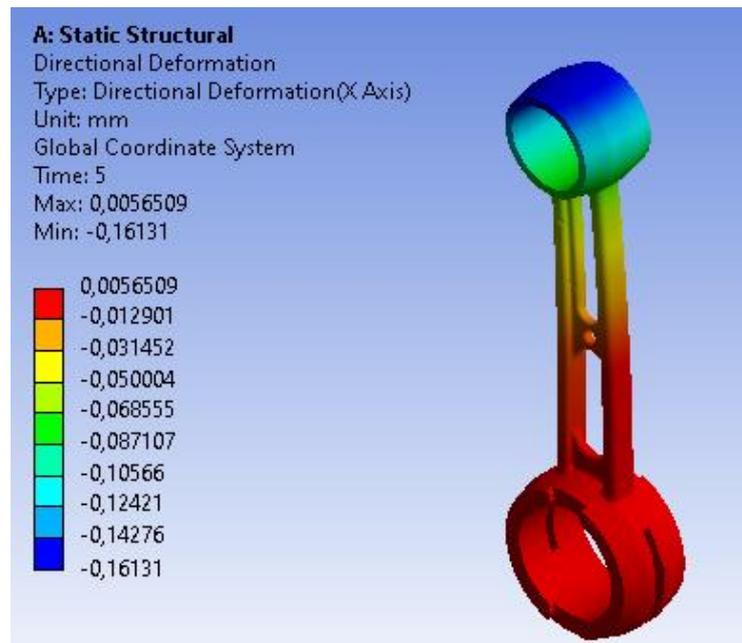


Figura 15-4. Deformación eje “x”
Fuente: Autor

En la Figura 16-4, se ilustra el equivalente de Von Mises

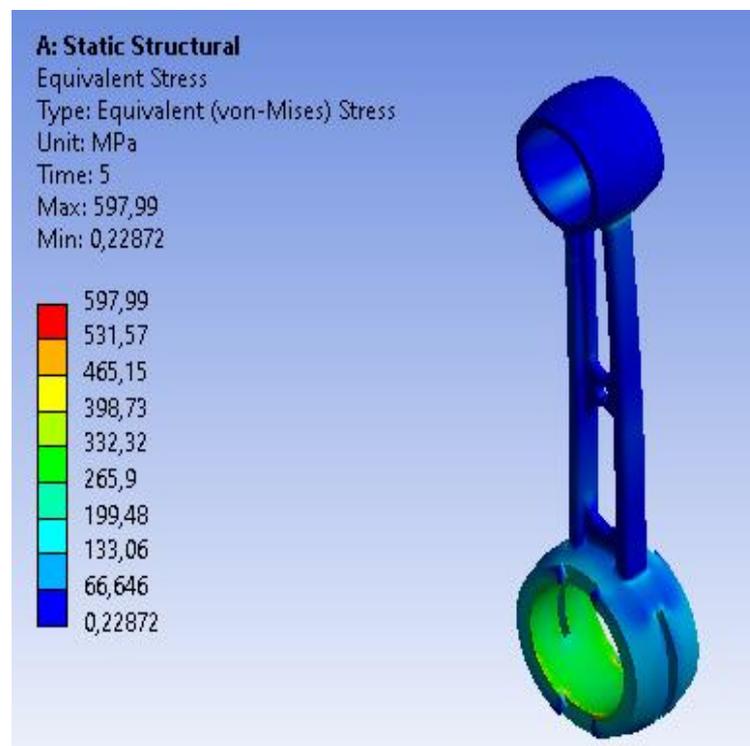


Figura 16-4. Equivalente de Von Mises
Fuente: Autor

En la Figura 17-4, se observa el ciclo de vida del elemento

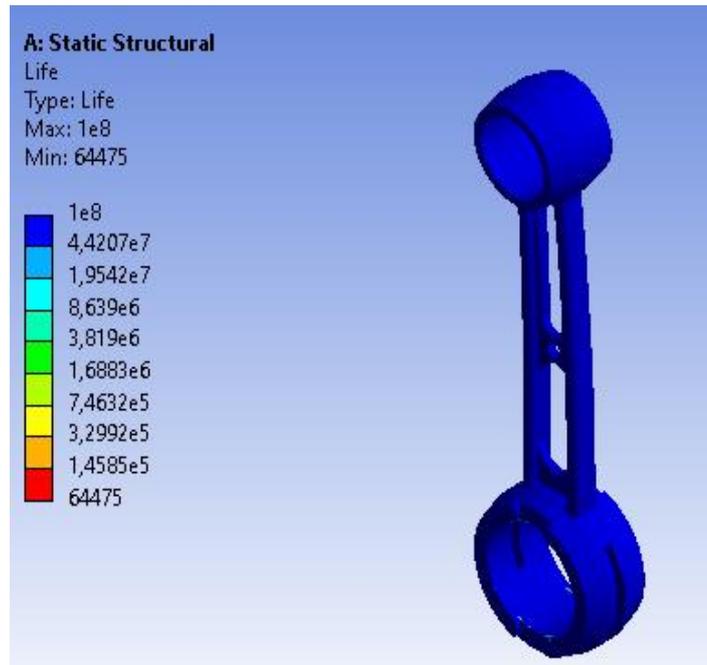


Figura 17-4. Ciclo de vida

Fuente: Autor

En la Figura 18-4, se muestra las zonas de daños del material

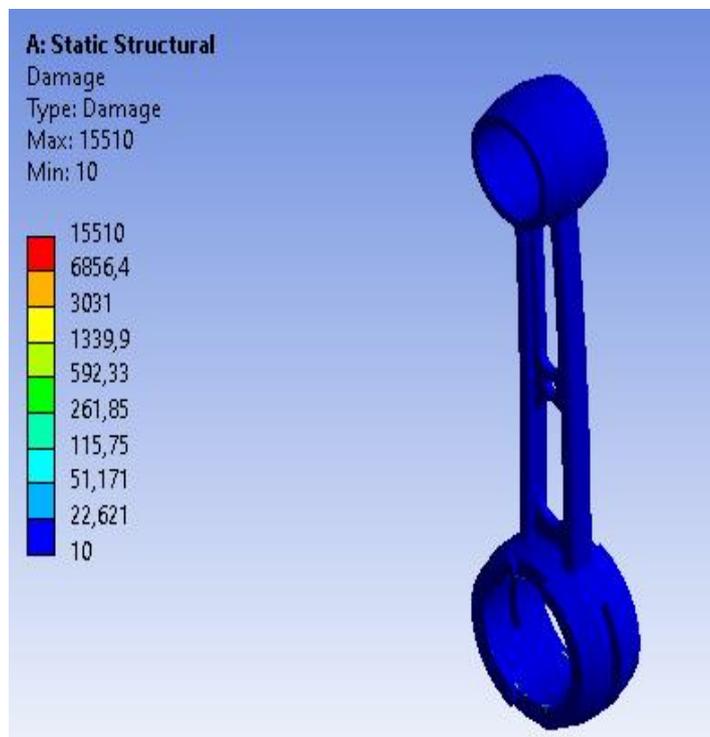


Figura 18-4. Zonas de daño del material

Fuente: Autor

En la Figura 19-4, se indica el factor de seguridad

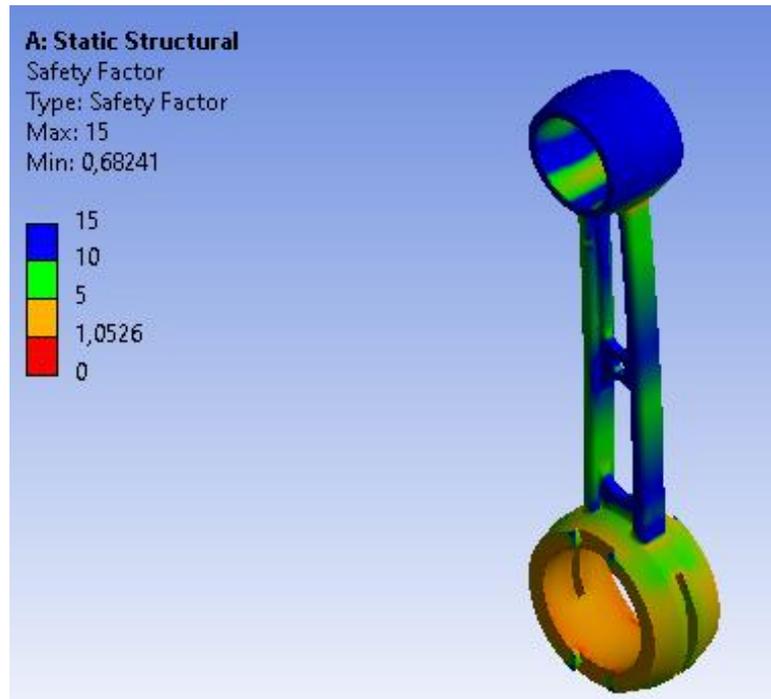


Figura 19-4. Factor de seguridad
Fuente: Autor

En la Figura 20-4, se indica lo siguiente

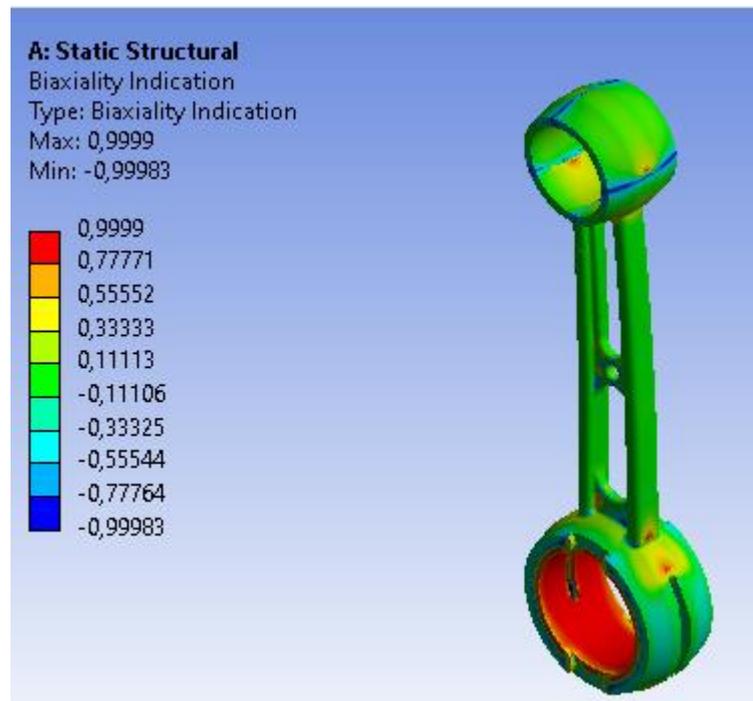


Figura 20-4. Indicaciones biaxiales
Fuente: Autor

En la Figura 21-4, se muestra se muestra el equivalente alternativo de esfuerzo

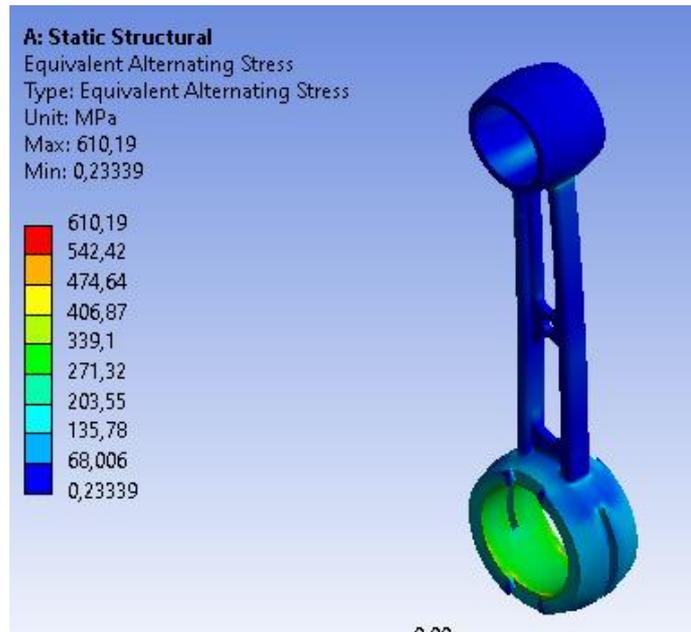
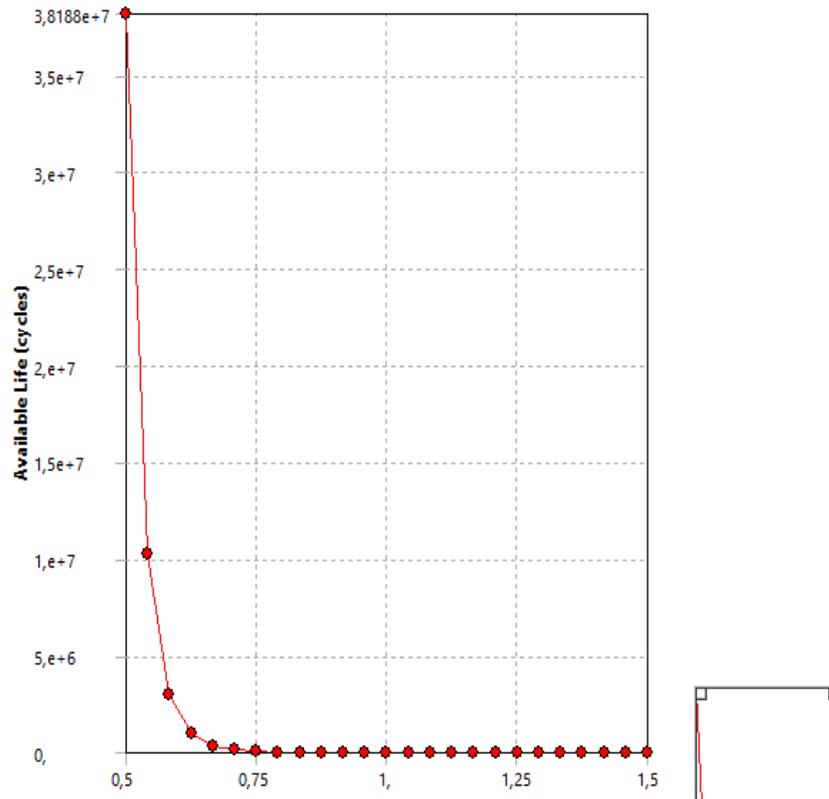


Figura 21-4. Equivalente alternativo d esfuerzo
Fuente: Autor

En la Figura 22-4, se muestra la curva de vida disponible



Gráfica 1-4. Vida disponible
Fuente: Autor

4.1.4.1. Análisis de Fatiga

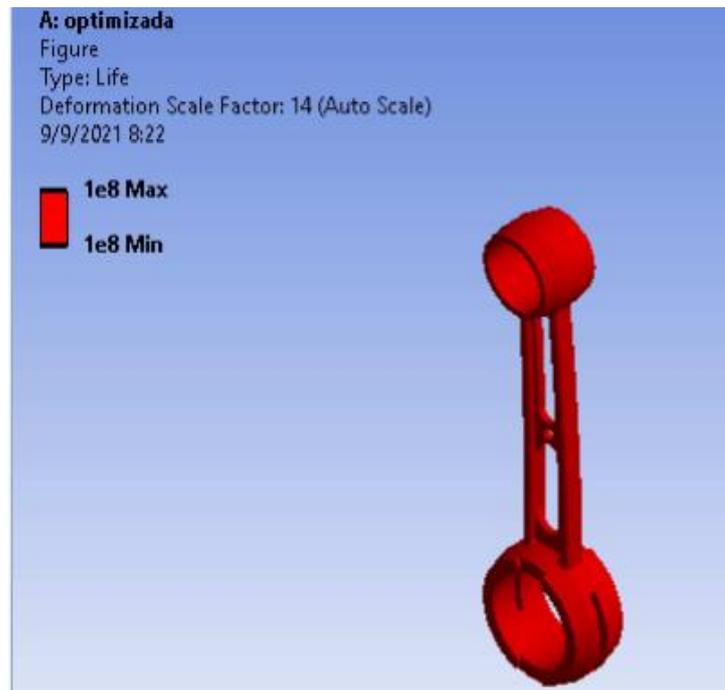


Figura 22-4. Vida
Fuente: Autor

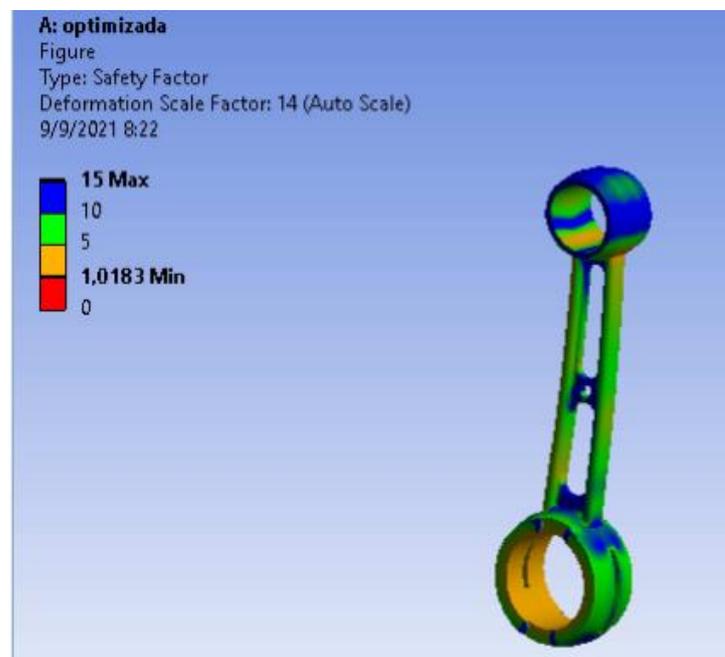


Figura 23-4. Factor de Seguridad
Fuente: Autor

La siguiente Figura 24-4 muestra la sensibilidad a la fatiga

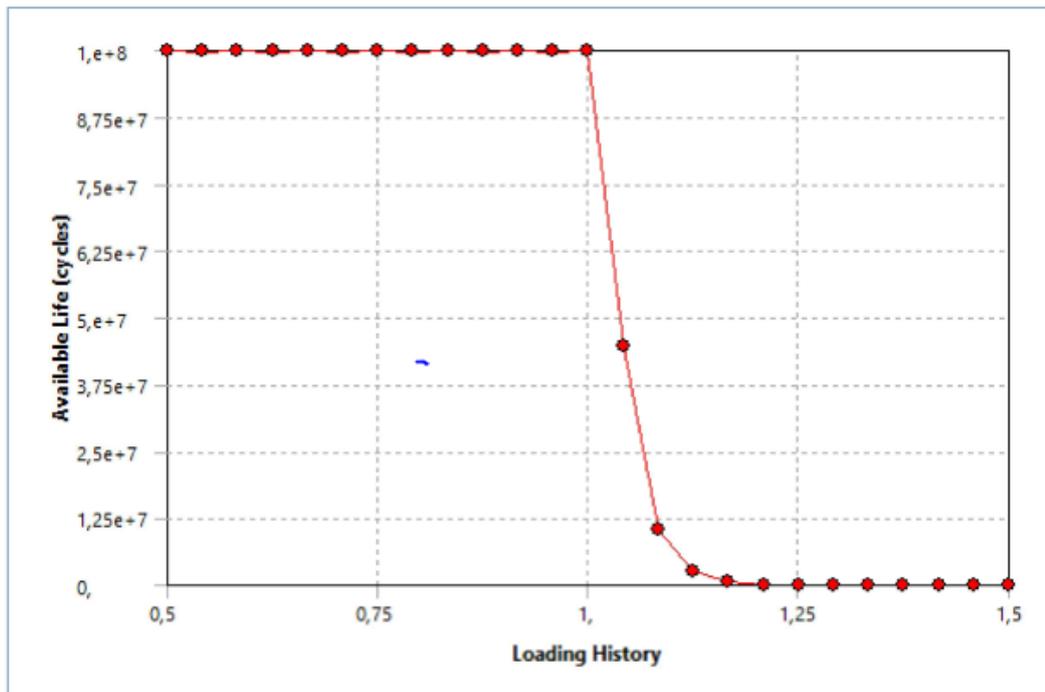


Figura 24-4. Sensibilidad a la fatiga
Fuente: Autor

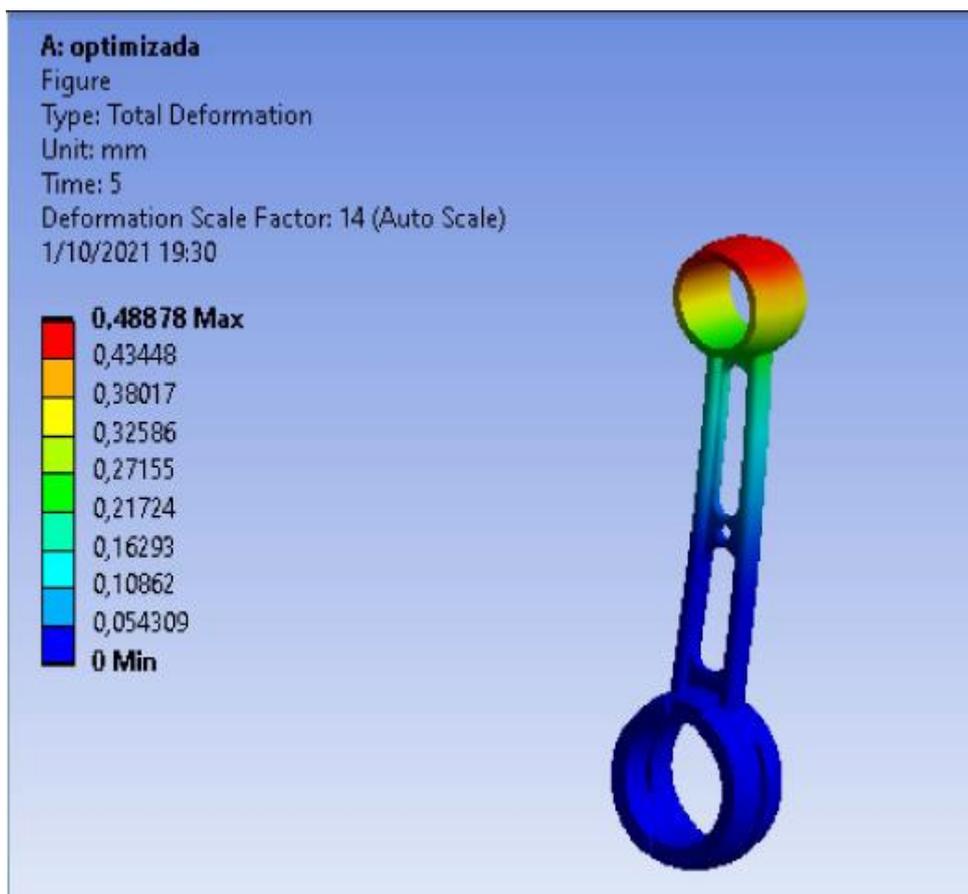


Figura 25-4. Análisis de pandeo
Fuente: Autor

4.1.5. Análisis transitorio durante un ciclo de trabajo

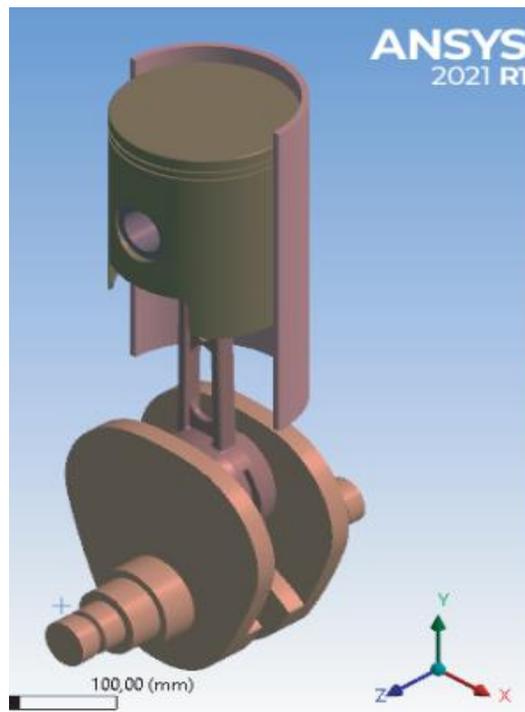


Figura 26-4. Ensamble
Fuente: Autor

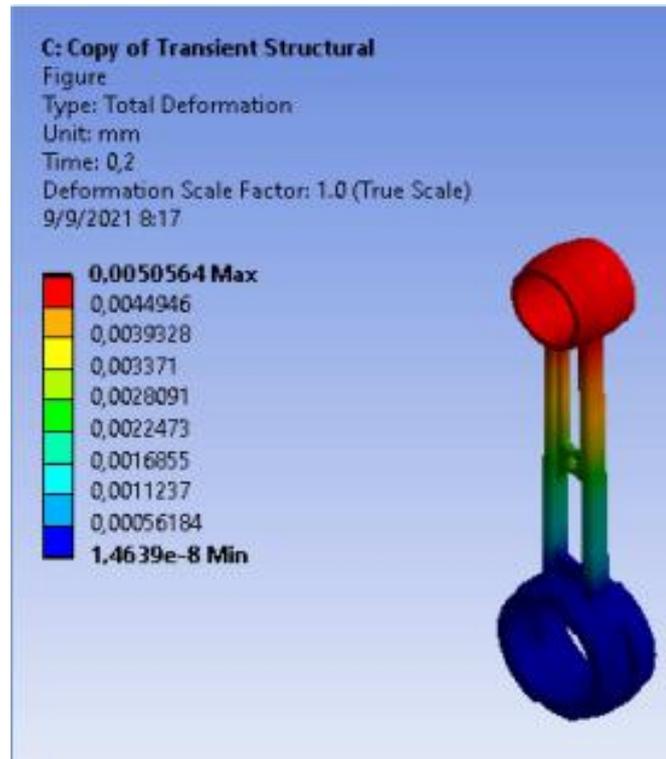


Figura 27-4. Deformación total
Fuente: Autor

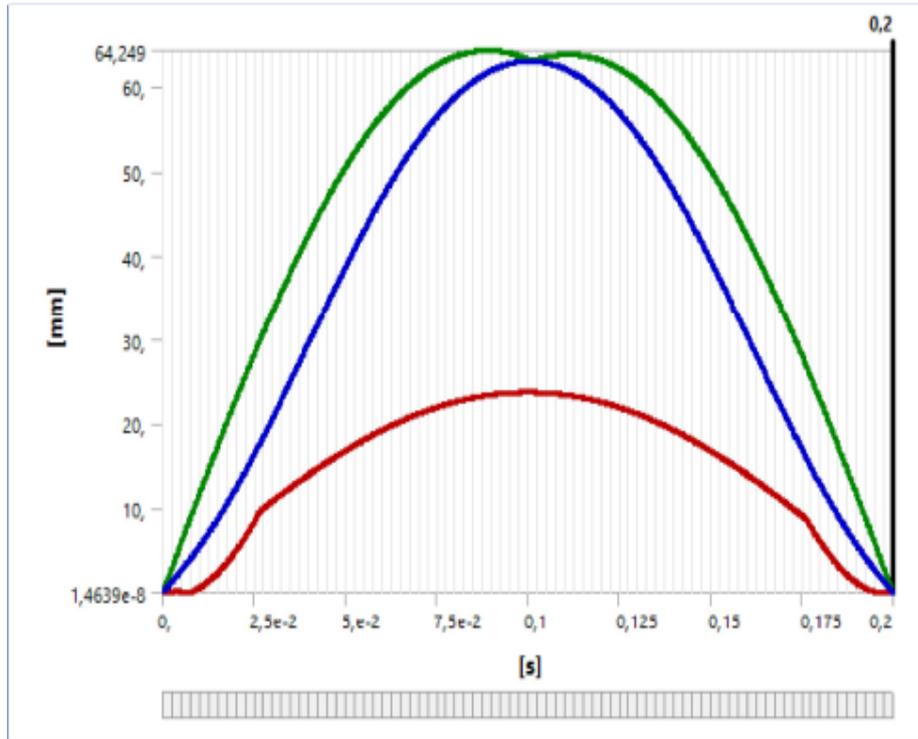


Figura 28-4. Deformación total
Fuente: Autor

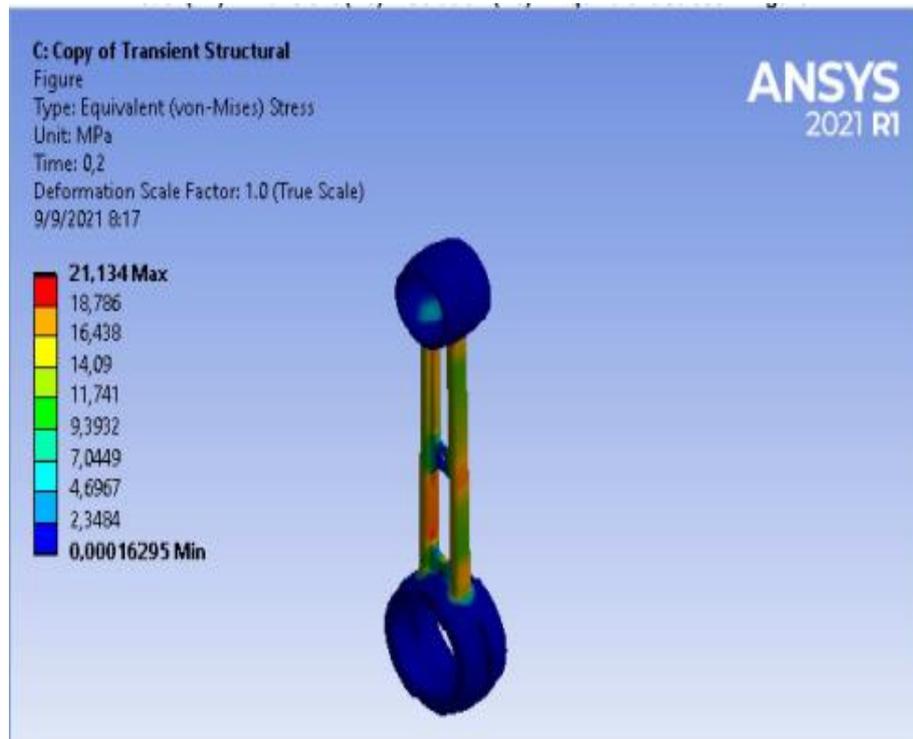


Figura 29-4. Esfuerzo equivalente
Fuente: Autor

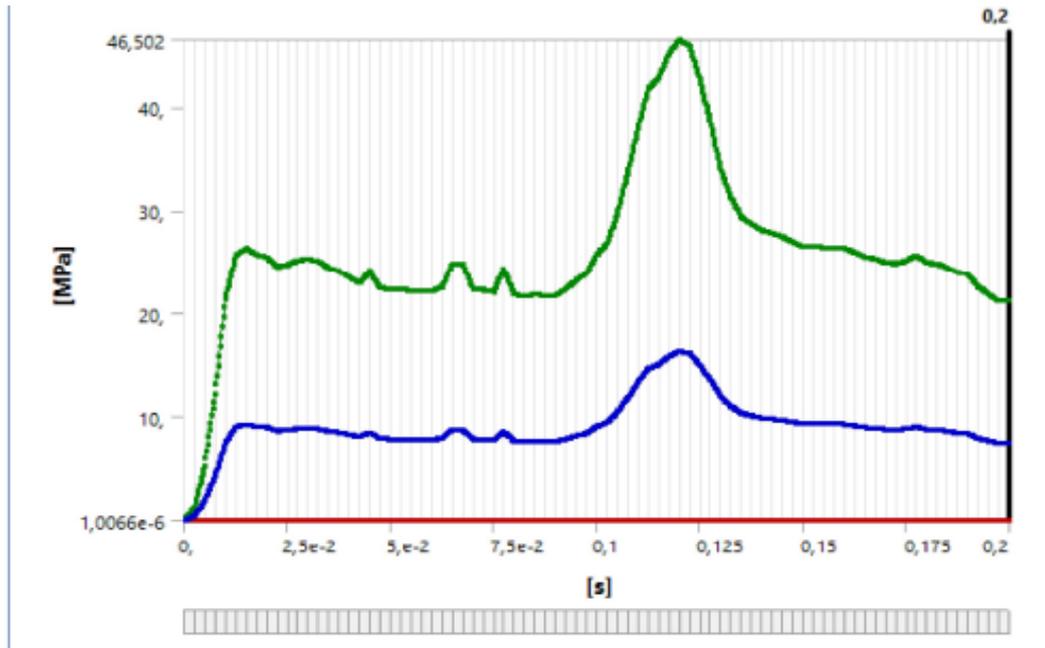


Figura 30-4. Esfuerzo equivalente
Fuente: Autor

4.1.5.1. *Análisis de fatiga*

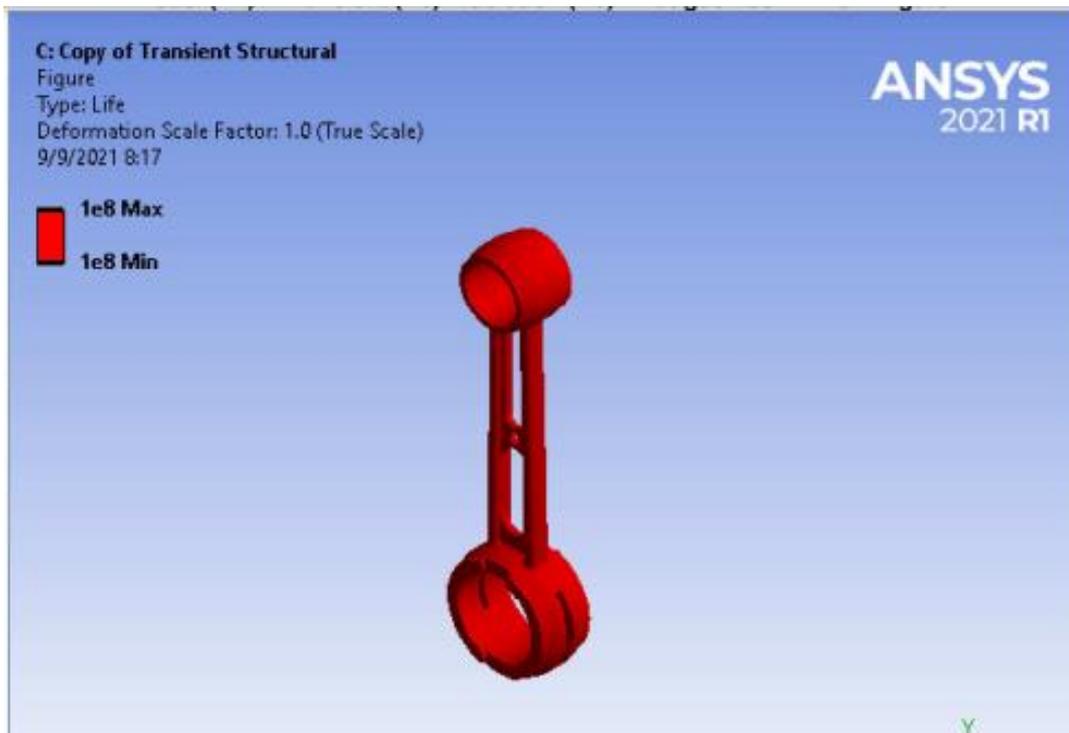


Figura 31-4. Vida
Fuente: Autor

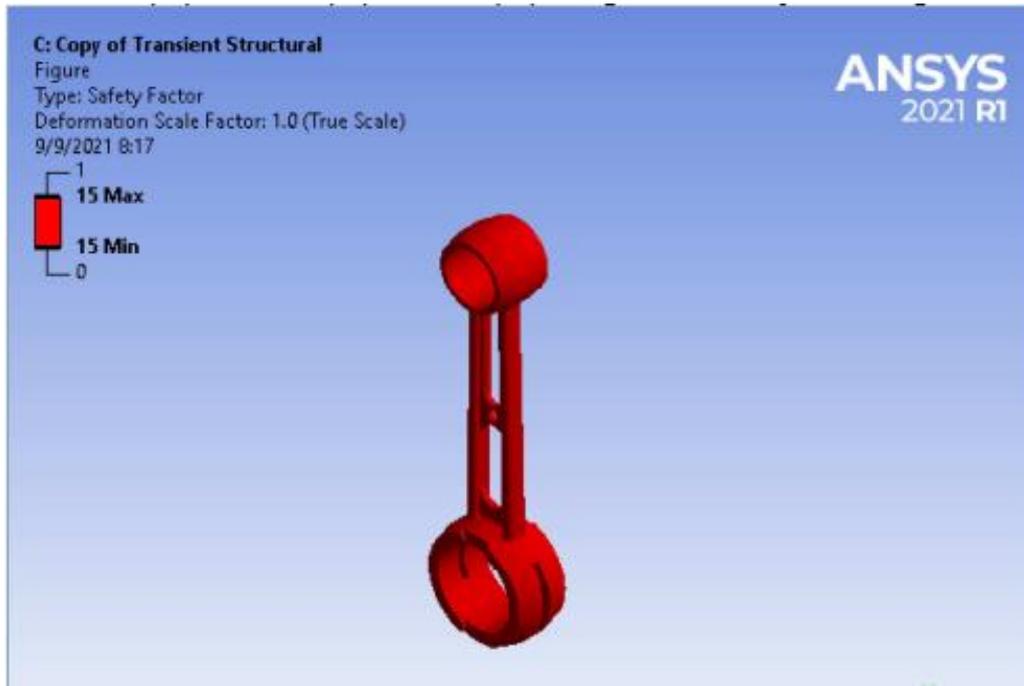


Figura 32-4. Factor seguridad
 Fuente: Autor

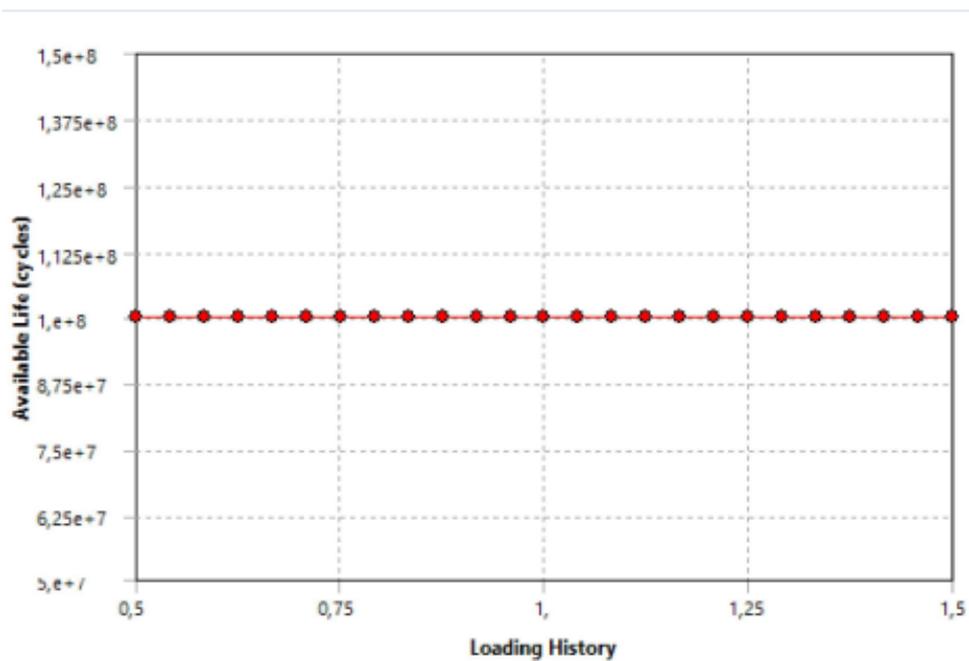


Figura 33-4. Sensibilidad a la fatiga
 Fuente: Autor

4.1.6. *Análisis de resistencia del material seleccionado para el modelo propuesto*

Para la realización del análisis de resistencia del material seleccionado para el modelo propuesto de la biela a temperatura elevada fuera del rango de trabajo de la misma, se utilizó el módulo “Explicit Dynamics” de ANSYS este módulo nos proporcionó la capacidad de realizar un

estudio de resistencia del material a elevadas temperaturas, en este caso de estudio se varió la temperatura a un rango superior al de la temperatura de funcionamiento del motor, ambiente en el cual trabaja la biela, se realizó este análisis para poder observar el comportamiento del mismo a temperaturas extremas que sobrepasan el funcionamiento normal del motor.

Se debe recalcar que este análisis se lo realizó para complementar el estudio de fatiga realizado anteriormente con el módulo *Static Structural* de ANSYS de éste se obtuvo resultados correspondientes a la resistencia del modelo en condiciones normales de funcionamiento, el cual nos dio como resultado que la vida del elemento mecánico, en este caso la biela, es una vida infinita es decir que el modelo no va a fallar durante el trabajo del motor, por lo que se realizó el presente análisis para de esta manera poder avalar el comportamiento del modelo propuesto en caso de condiciones extremas de funcionamiento las cuales no surgen comúnmente en el funcionamiento de motores de combustión interna, se debe puntualizar que este estudio se lo realizó sobre el material seleccionado para la biela.

Durante este estudio se pudo verificar el comportamiento del material a condiciones de temperatura extremas de funcionamiento, se utilizó una temperatura de 572 °C la cual es superior a la temperatura normal dentro del motor que es de 90 °C, lo cual dio como resultado que el material tiene un comportamiento óptimo ya que se pudo obtener tensiones superiores en extremo a la que soporta nuestro modelo en condiciones normales, se extrae de este análisis que el material soporto tensiones de alrededor de 600 MPa hasta que sufrió la fractura con esto se garantiza que el material seleccionado para el modelo de la biela cumple con los requerimientos para un buen funcionamiento.

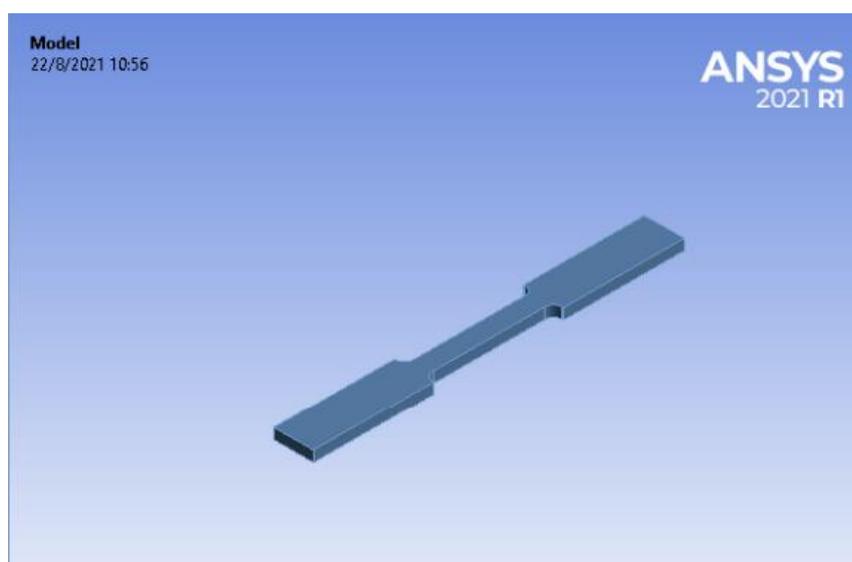


Figura 34-4. Probeta
Fuente: Autor

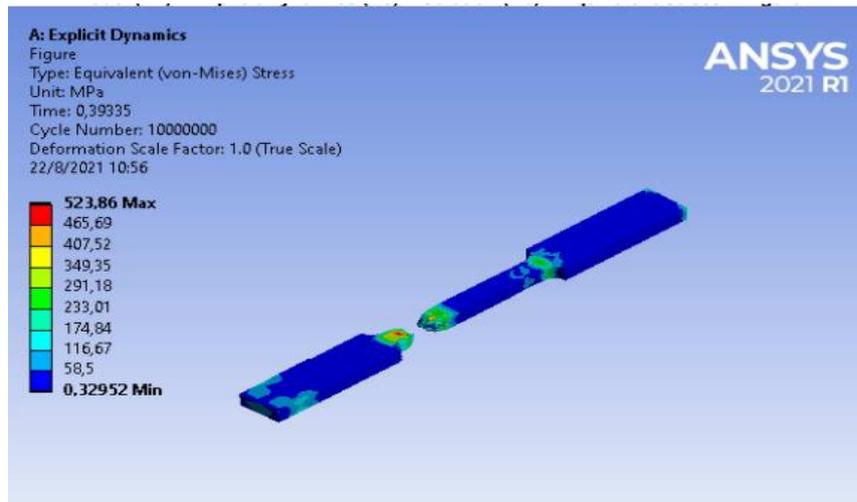


Figura 35-4. Equivalente de Von Mises
 Fuente: Autor

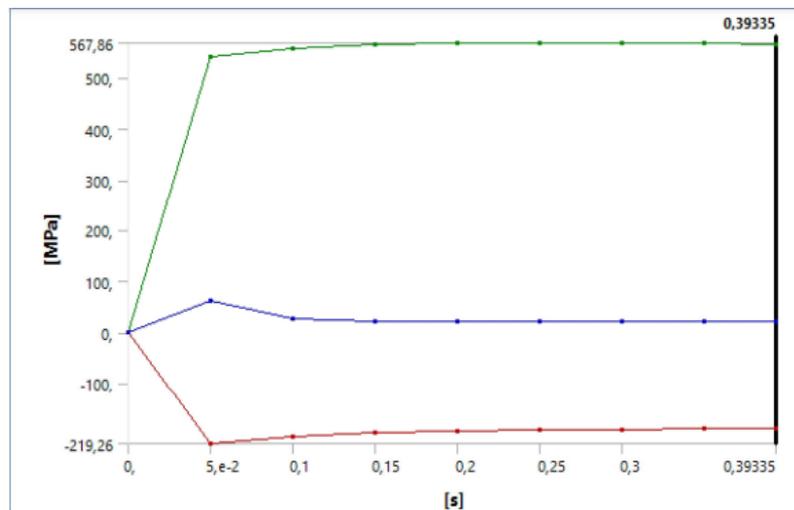


Figura 36-4. Esfuerzo equivalente
 Fuente: Autor

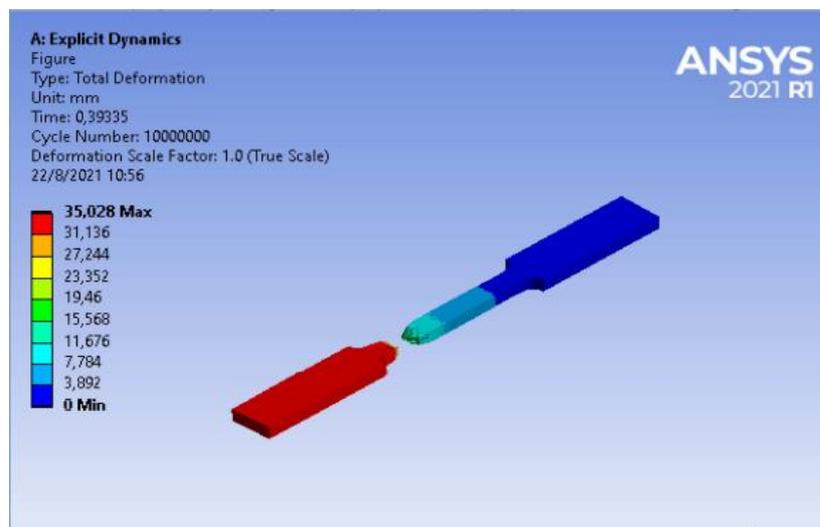


Figura 37-4. Deformación total
 Fuente: Autor

En la Tabla 1-4, se muestra un resumen de los resultados obtenidos de cada fase del análisis de los rediseños.

Tabla 1-4. Resumen de los resultados obtenidos a 90°C y material AISI 4130

N° de análisis	Masa (kg)	Peso (N)	Volumen (mm³)	Deformación total máxima (mm)	Equivalente de Von Mises máximo (MPa)	Factor de seguridad mínimo
Análisis original a temperatura ambiente	0.126	1.235	16084	0.211	117.27	4.257
Análisis original a temperatura máxima de trabajo 90°C	0.126	1.235	16084	0.227	596.52	0.837
Primer rediseño	0.120	1.174	15266	0.218	462.27	0.935
Segundo rediseño	0.114	1.120	14563	0.192	574.18	0.753
Tercer rediseño	0.101	0.994	12918	0.189	635.46	0.688

Fuente: Autor

4.1.7. Resultado del análisis vibratorio

La obtención de la frecuencia natural se realizó en el laboratorio de vibraciones de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

El equipo utilizado es Vibracheck 200 ABG que es un analizador de vibraciones mecánicas, en la cual se obtuvo los valores de la frecuencia natural, tanto del modelo original de la biela como del diseño propuesto.

➤ Modelo original

La frecuencia natural obtenido de la biela original se encuentra dentro del rango de 6 a 9 Hz según las mediciones obtenidas durante el ensayo en el laboratorio como se ilustra en la Figura 38-4a.

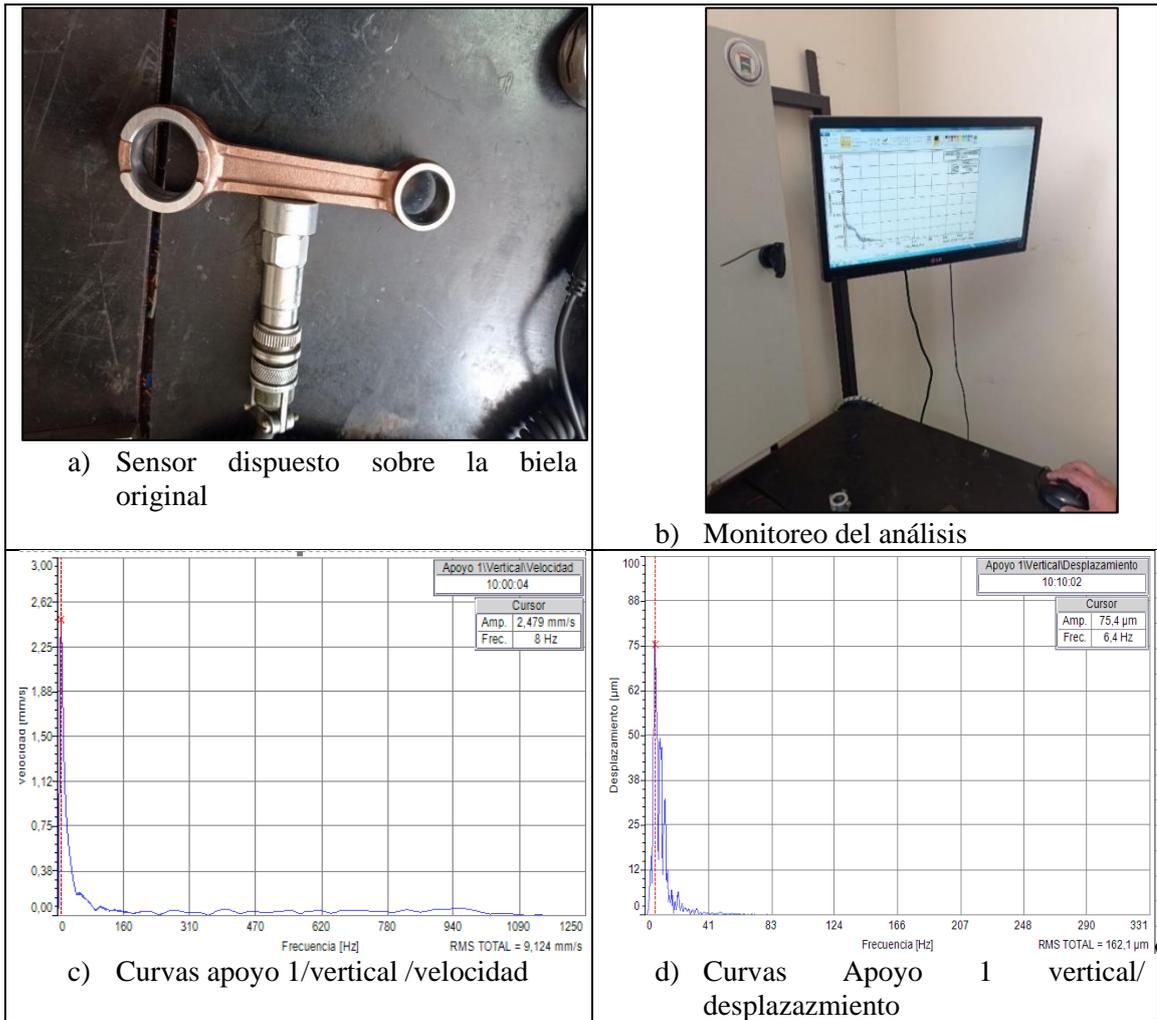


Figura 38-4. Análisis vibratorio
Fuente: Autor

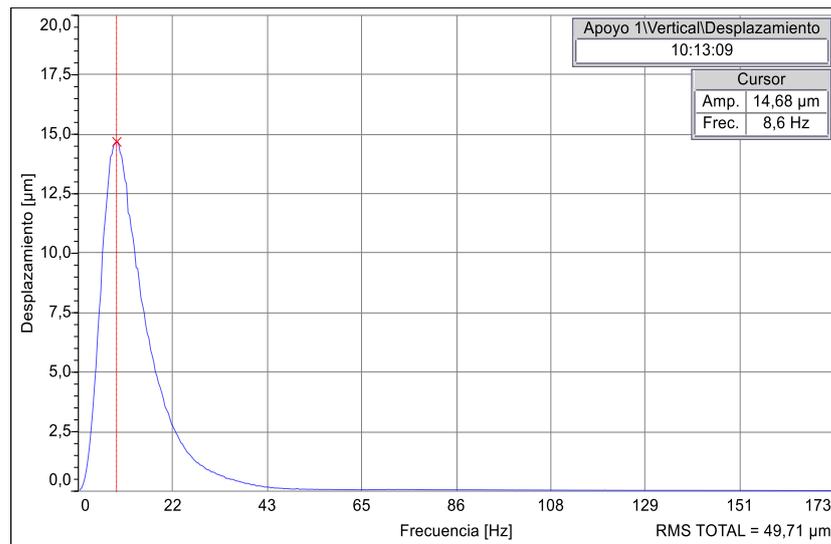


Figura 39-4. Axial superior
Fuente: Autor



Figura 40-4. Sensor predisposto sobre el diseño de biela propuesta
Fuente: Autor

La frecuencia natural obtenido de la biela propuesta se encuentra dentro del rango de 8 a 11 Hz según las mediciones obtenidas durante el ensayo en el laboratorio.

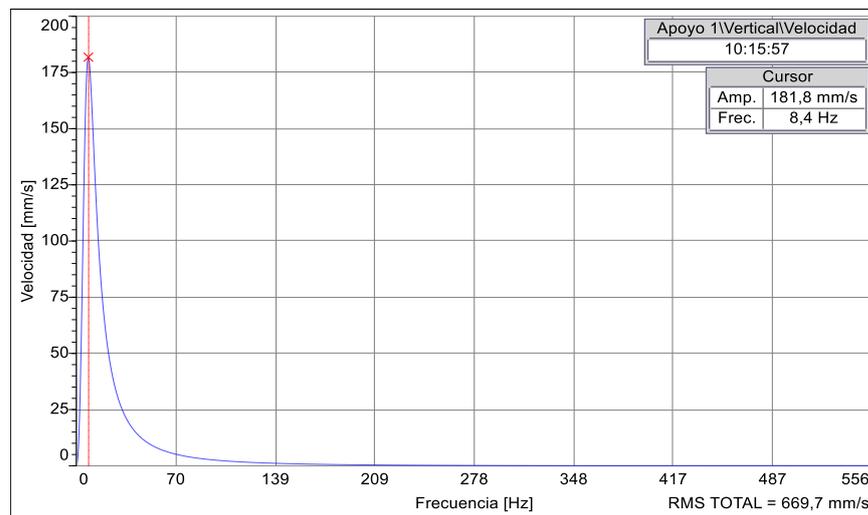


Figura 41-4. Frontal
Fuente: Autor

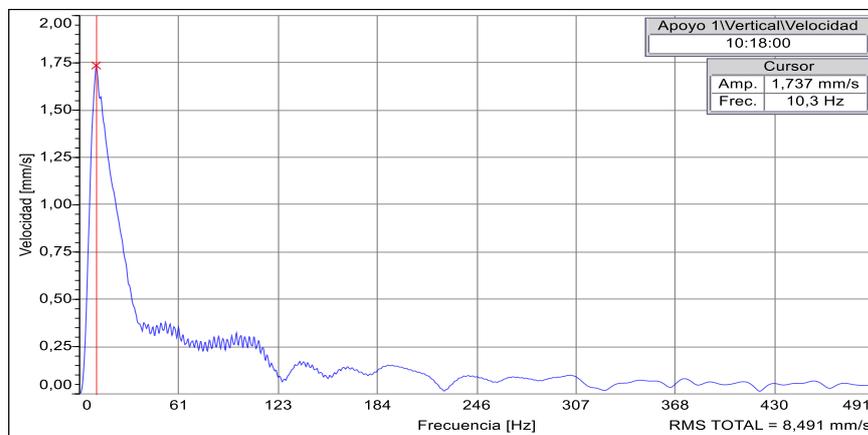


Figura 42-4. Lateral
Fuente: Autor

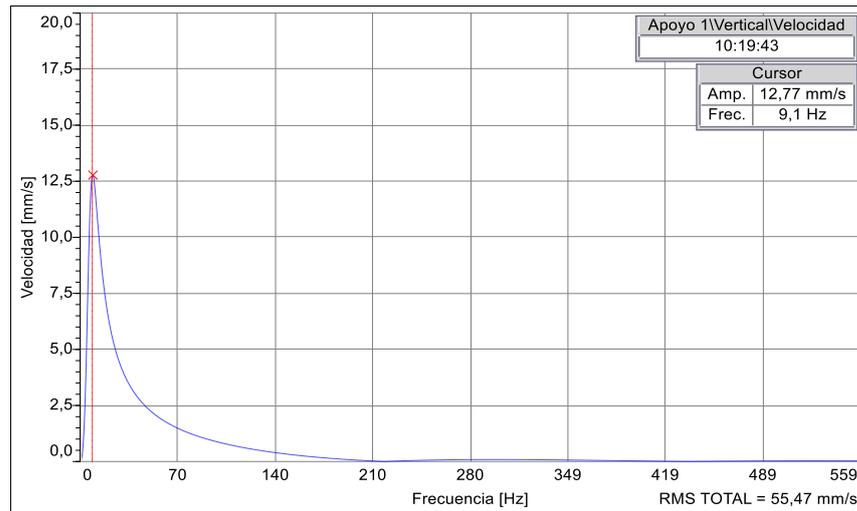


Figura 43-4. Superior
Fuente: Autor

Para concluir se dice que para que suceda una falla por resonancia los elementos en estudio deberían vibrar en la misma frecuencia, es decir, deberían coincidir en el rango de 8 a 11 Hz para que suceda esta falla lo cual no es así debido a que el motor vibra alrededor de los 80 Hz, es decir, no existe razón por la cual el elemento mecánico sufra este tipo de falla.

4.1.8. *Medición de emisión de gases*

En esta parte se realizó la medición de los gases de escape para verificar si existe una variación de la emisión de los mismos al ser modificada el cuerpo de la biela, por lo cual se procedió a la obtención de los resultados en el motor con la biela original y con la biela modificada. Esta medición se realizó en el Centro de Revisión Técnica Vehicular de Tungurahua donde se procedió a la medición de la emisión de gases con la ayuda del personal técnico con la utilización del analizador de gases marca MAHA modelo MGT 5.



Figura 44-4. Analizador de gases
Fuente: Autor



Figura 45-4. Personal técnico CRTV
Fuente: Autor

Las mediciones se realizaron en el motor con la biela original y posteriormente se volvieron a realizar con el motor con la biela modificada, donde se puede observar que no existe grandes variaciones en los resultados teniendo en cuenta principalmente al Monóxido de Carbono (CO) el cual es el agente contaminante más representativo que se toma en cuenta en la revisión técnica para determinar el nivel de contaminación de los vehículos, los resultados se pueden observar a continuación:



Figura 46-4. Obtención de datos
Fuente: Autor



Figura 47-4. Datos obtenidos biela original
Fuente: Autor



Figura 48-4. Datos obtenidos biela modificada
Fuente: Autor

Los datos obtenidos de las mediciones nos muestran que no existe una variación muy elevada entre los mismos, por lo cual no se puede asegurar que la disminución de gases sea de una manera clara debido a que la disminución de masa de la biela no es muy considerable.

4.2. Discusión

De acuerdo con los resultados del análisis de tablas, la masa, volumen y peso de la biela permanecen constantes tanto con el material AISI 4130, como con el 4340 y 1040.

Como se observa en la Tabla 1-5, considerando el material AISI 4130 que es el que más se ajusta al material de fábrica, inicialmente se realizaron dos análisis a temperatura ambiente y a

temperatura de trabajo igual a 90°C, cabe recalcar que la biela analizada es completamente nueva.

Del primer análisis a temperatura ambiente se obtiene una deformación total máxima de 0.211mm con un factor de seguridad de 4.257 mientras que del segundo análisis a temperatura de trabajo de 90°C, presenta una deformación total máxima de 0.227mm y factor de seguridad de 0.837 como se puede apreciar la biela sufre mayor deformación cuando esta entra en contacto por primera vez con la temperatura ya que a una temperatura de 90°C, ofrece un factor de seguridad bajo las magnitudes de variación de la deformación total como del factor de seguridad se analizan a continuación.

Δ de la deformación = Deformación a temperatura de trabajo - Deformación a temperatura ambiente

$$\Delta = (0.227 - 0.211)mm = 0.016mm$$

Δ del factor de seguridad = A temperatura ambiente - A temperatura de trabajo

$$\Delta Factor = 4.257 - 0.837 = 3.420$$

La biela se deforma 0.016mm, mientras que el factor de seguridad varía en 3.240 por efecto de la temperatura, el factor de seguridad en presencia de temperatura es muy bajo respecto al factor de seguridad a temperatura ambiente y esto se debe a que es una biela nueva de acuerdo a la teoría estudiada esta biela para mejorar el factor de seguridad necesita ser montada en el motor y sometida a trabajo ya que de acuerdo a la teoría estudiada y referenciada en artículos científicos en el capítulo dos, indica que la estructura del material de la biela durante el tiempo de funcionamiento del motor, sufre un tratamiento térmico de normalización, haciendo que una biela usada tenga mejor estructura interna y mayor resistencia, porque el normalizado del material es calentado a una temperatura de 870°C, este tratamiento descompone la red de cementita, refina los granos de perlita elevando así las propiedades mecánicas del acero.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

Se realizó la comparación resultados obtenidos entre el material AISI 4130 y el AISI 4340 como se indica en la Tabla 1-5, donde se observa que en el primer rediseño con material 4130 la deformación total es mayor respecto a la deformación con el material 4340 pero el factor de seguridad que ofrece el material 4130 es menor respecto al 4340 de hecho este material ofrece valores mayores de factor de seguridad que el 4130. De aquí se concluye que el material tentativo para la manufactura es el 4340 por que posee mayor factor de seguridad considerando que la deformación se puede corregir en base al tratamiento térmico.

Tabla 1-5. Análisis comparativo entre el material AISI 1141 Y AISI 4130

MATERIAL AISI 1141						
N° de análisis	Masa (kg)	Peso (N)	Volumen (mm^3)	Deformación total máxima (mm)	Equivalente de Von Mises máximo (MPa)	Factor de seguridad mínimo
Análisis original a temperatura ambiente	0.126	1.235	16084	0.211	117.27	4.257
Análisis original a temperatura máxima de trabajo 90°C	0.126	1.235	16084	0.227	596.52	0.837
Primer rediseño	0.120	1.174	15266	0.218	462.27	0.935
Segundo rediseño	0.114	1.120	14563	0.192	574.18	0.753
Tercer rediseño	0.101	0.994	12918	0.189	635.46	0.688
MATERIAL AISI 4130						
Primer rediseño	0.120	1.174	15266	0.215	654.3	1.134
Segundo rediseño	0.114	1.120	14563	0.192	877.54	0.844
Tercer rediseño	0.101	0.994	12918	0.191	923.54	0.836

Fuente: Autor

Comparando el material AISI 4130 con el material AISI 1040 se observa que todas las deformaciones analizadas con el material 4130 son mayores respecto a las deformaciones sufridas con el material 1040.

Al igual que los factores de seguridad a excepción de los valores del tercer rediseño que es mayor el factor de seguridad del material 1040 respecto al 4130 de este análisis se concluye que el material tentativo para la manufactura es el AISI 4130 debido a que oferta mayor factor de seguridad considerando que la deformación total máxima es corregida por el tratamiento térmico que se efectúa cuando esta entra en contacto con la temperatura.

Tabla 2-5. Análisis comparativo entre el material AISI 1141 Y AISI 4130

MATERIAL AISI 1141						
N° de análisis	Masa (kg)	Peso (N)	Volumen (mm^3)	Deformación total máxima (mm)	Equivalente de Von Mises máximo (MPa)	Factor de seguridad mínimo
Análisis original a temperatura ambiente	0.126	1.235	16084	0.211	117.27	4.257
Análisis original a temperatura máxima de trabajo 90°C	0.126	1.235	16084	0.227	596.52	0.837
Primer rediseño	0.120	1.174	15266	0.218	462.27	0.935
Segundo rediseño	0.114	1.120	14563	0.192	574.18	0.753
Tercer rediseño	0.101	0.994	12918	0.189	635.46	0.688
MATERIAL AISI 4130						
Primer rediseño	0.120	1.174	15266	0.214	444.7	0.727
Segundo rediseño	0.114	1.120	14563	0.190	478.01	0.676
Tercer rediseño	0.101	0.994	12918	0.188	438.27	0.742

Fuente: Autor

Al comparar los materiales AISI 4340 y AISI 1040 se puede observar que el material AISI 4340 posee mayor deformación total máxima respecto al material AISI 1040 pero el material AISI 4340 tiene mayor factor de seguridad respecto al AISI 1040.

Además, el valor del factor de seguridad del tercer rediseño con material AISI 4340 se aproxima al factor de seguridad de fábrica que presenta la biela analizada a 90°C con material 4130.

Tabla 3-5. Análisis comparativo entre el material AISI 1141 Y AISI 4130

MATERIAL AISI 1141						
Primer rediseño	0.120	1.174	15266	0.215	654.3	1.134
Segundo rediseño	0.114	1.120	14563	0.192	877.54	0.844
Tercer rediseño	0.101	0.994	12918	0.191	923.54	0.836
MATERIAL AISI 4130						
Primer rediseño	0.120	1.174	15266	0.214	444.7	0.727
Segundo rediseño	0.114	1.120	14563	0.190	478.01	0.676
Tercer rediseño	0.101	0.994	12918	0.188	438.27	0.742

Fuente: Autor

En base a este análisis se puede concluir que los materiales idóneos para la manufactura de la biela son el AISI 4130 y AISI 4340 pero como se ha descrito anteriormente el material AISI 4130 no se encuentra disponible en el país por lo que se propone manufacturar la biela del tercer rediseño pero cambiando de perfil tipo laso que se indica en la Figura 1-5, ya que manufacturar la geometría tipo laso resultaría complejo por lo que el país no cuenta con la maquinaria adecuada para estos tipos de mecanizado, además material AISI 4340 ya que oferta un factor de seguridad aproximado al de una biela nueva de material AISI 4130 cuando esta entra en contacto con la temperatura, considerando que mediante el tratamiento térmico la deformación total máxima va a disminuir a medida que desarrolle el trabajo un motor.



Figura 1-5. Diseño propuesto

Fuente: Autor

5.1. Mecanizado del perfil propuesto

Una vez propuesto el modelo que se indica en la Figura 2-5 y seleccionado el material, se mecanizo dicho diseño haciendo uso de una fresadora CNC de cuatro ejes obteniéndose el modelo final que se indica en la Figura 2-5.

En el anexo 4 se muestra un tutorial del procedimiento que se utilizó para la obtención de la biela el cual se realizó en el software Rhinocam el mismo que presenta las facilidades para el desarrollo de este mecanizado, en su respectiva simulación podemos observar las líneas de trayectoria de la herramienta y el acabado del mecanizado, el video se presenta como anexo, en esta parte también se presenta las hojas de procesos del elemento mecánico la cual se adjunta dentro del anexo 7.



Figura 2-5. Diseño mecanizado
Fuente: Autor

5.2. Validación práctica del diseño mecanizado

Una vez mecanizada la biela, el siguiente paso fue realizar las pruebas de funcionamiento para lo cual, se realizó el montaje de la biela en el motor y posterior encendido del mismo, realizándose las pruebas de funcionamiento bajo los parámetros que se describen a continuación.

A) Marcha mínima o ralentí

Se mantuvo encendido el motor durante un periodo de 5 minutos debido a que al mantenerse en estado estático la temperatura del mismo aumenta ya que el enfriamiento de este tipo de motores se realiza por medio del aire de circulación durante el movimiento de la motocicleta, al finalizar esta etapa se procedió a desarmar el motor como se observa en la Figura 3-5, para observar el comportamiento de la biela y se observó que no sufrió ningún desgaste y ninguna afectación al

cuerpo de la biela, a continuación se volvió a montar en el motor y se procedió a la siguiente prueba.



Figura 3-5. Validación a marcha mínima
Fuente: Autor

B) Motor acelerado (2000rpm o superior)

En esta etapa de la validación práctica se mantuvo encendido el motor durante 5 minutos continuos como se puede observar en la Figura 4-5, posteriormente con una aceleración continua que bordeaba las 2000 rpm durante un tiempo cercano a una hora con intervalos de descanso debido al calentamiento del motor por la falta de refrigeración la cual la proporciona el movimiento de la motocicleta, al finalizar esta etapa de la validación práctica se procedió a desarmar el motor y se observó que el modelo propuesto en el presente estudio no presentó ningún tipo de desgaste ni afectación visible en el cuerpo de la biela objetivos que son de estudio en el presente proyecto.



Figura 4-5. Validación con el motor acelerado
Fuente: Autor

CONCLUSIONES

- Se optimizó la geometría de la biela de la motocicleta Suzuki 100cc a partir del análisis transitorio de las cargas ejercidas en el conjunto pistón – biela durante un ciclo de trabajo, en base a lo cual se identificó las características físicas y mecánicas de la biela empleada en el estudio.
- El ciclo de trabajo del MCI fue definido mediante la instrumentación del motor en condiciones normales de funcionamiento.
- Se obtuvo la carga que actúa sobre el conjunto pistón – biela cuyo valor es $F = 1169N$ misma que se aplicó al modelo de la biela en el software ANSYS.
- Se determinó las zonas de mayor y menor concentración de esfuerzos en la biela donde se realizaron las optimizaciones topológicas de la geometría.
- Se modificó la geometría original de la biela y se evaluó el comportamiento de la misma mediante la realización de varios estudios, como por ejemplo el análisis de resonancia, pandeo y trabajo a elevadas temperaturas.

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de distintos materiales que se puedan emplear para la fabricación de bielas o componentes internos del motor, por ejemplo, en motores de competición se emplea fibra de carbono.
- Para realizar futuros rediseños de diferentes elementos mecánicos se deberá tomar en cuenta los nuevos métodos de optimización.
- Utilizar diferentes softwares de diseño los cuales nos ayudan a facilitar la modificación del elemento mecánico en estudio.
- Para verificar la disminución de la contaminación ambiental producida por el motor se recomienda realizar otras pruebas que están fuera del alcance de la tesis, como por ejemplo montar el motor en un vehículo para poder realizar pruebas de carretera para poder visualizar de mejor manera este aspecto de la contaminación ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso Perez, J. M. (2011). *Técnicas del automóvil Chasis*. Madrid España: Alicia Cevíño Gonzalez.
- Arbeloa Murillo, M., & Dieguez Elizondo, P. M. (2010). *Puesta a punto de un motor de 2 tiempos*. Pamplona.
- Barrera Escobeda, E. T., Bastida Saldaña, J. R., & Flores Mendez, O. (2007). *Programa de producción para bielas "L9" de la empresa maquinados Alcantara SA de CV*. Mexico.
- Benlloch Menchero, J. (2016). *DISEÑO DE MOTOR V6 DE COMBUSTIÓN INTERNA. GENERACIÓN DE SU PROTOTIPO VIRTUAL Y SIMULACIÓN DINÁMICA*. Valencia.
- BOHMAN, I. (s.f.). *IBCA*. Obtenido de: <https://www.ivanbohman.com.ec/product-detail/sierra-cinta/>
- Bosch Rexroth, S. (2014). *rexroth A Bosch Company*. Obtenido de: www.boschrexroth.com
- Bundynas, R., & Keith, N. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico: McGraw-Hill.
- Caicedo, I. (s.f.). • https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjo56_z6NvwAhXTPn0KHaG0B4sQFjACegQIAhAD&url=http%3A%2F%2Frepoitorio.uta.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F7572%2F1%2FMAestr%25C3%25ADa%2520D.%2520M.%252011%2520-%2520Caicedo%252
- Campana, G. G., Cañizares, F., & Villacres, A. (2017). Análisis mecánico del brazo de biela mediante norma ASTM e8. *INNOVA Research Journal 2017, Vol 2, No. 5, 190-204 ISSN 2477-9024*, 15.
- Castillo, J., Rojas, V., Martínez, J., & Zambrano, I. (s.f.). Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático. 9.
- CEAC, E. (2003). *Automovil, Manual CEAC del*. Barcelona España: CEAC.S.A.
- Corporation, N. I. (2004-2007). *USER GUIDE AND SPECIFICATIONS NI USB - 6008/6009*.
- Cortadora. (s.f.). *123RF*. Obtenido de: https://es.123rf.com/photo_78337356_el-jardinero-cortando-la-hierba-por-cortadora-de-c%C3%A9sped-.html
- Dante, G. (1989). *Motores Endotermicos*. Editorial Científico-Médica 1970.
- Design, C. d. (s.f.). *Cálculo del Motor, Design and Calculation Internal Combustion Engine ICE*. Obtenido de *Cálculo del Motor, Design and Calculation Internal Combustion*

- Engine ICE: <https://jasf1961.wordpress.com/2012/06/19/disenomotor-mcia-mec-calculo-del-motor-f1-engine-design-maci/>
- Emher machinery, S. (s.f.). *Maquinaria con precision y durabilidad*. Obtenido de: <http://emhmachinery.com/>
- Escobar Calderon, D. A., Monico Muñoz, L. F., Rodriguez Arango, M., & Sandoval Garcia, L. (2008). *Metodologia de diseño de un motor a apiston de dos tiempos de 10HP para aeronaves no tripuladas*. Bogota,D,C.
- FarmAgro. (s.f.). *FarmAgro*. Obtenido de: <https://farmagro.co.cr/Producto/productos/1/stihl/page:8>
- Ferriol, S. L. (2018). *Motores*. Madrid: Sintesis,S.A.
- Gavilema, H. (s.f.).
- González, A. F. (2016). *Diseño de una biela para*. Valladolid.
- Gonzalez, A. F. (07 de 2016). *Diseño de una biela para un motor de combustion interna*. Valladolid.
- Granizo Solis, S. J., & Toscano Lopez, P. E. (2003). *Diseño, construccion y montaje de un banco de pruebas de motores de dos tiempos*. Latacunga.
- Handbook, S. (1986). *SAE Handbook*.
- Hermanos, L. (s.f.). *Lugo Hermanos* . Obtenido de: www.lugohermanos.com/blog-industrial/equipo-inspeccion-sensor-quick-collect/
- Hernandez, M. (s.f.). *Dibujo Tecnico*. Obtenido de: www.jotecnico.edu.umh.es
- Hibbeler, R. (s.f.). *Mecanica vectorial para ingenieros: Dinamica*.
- IKASTAROAK. (s.f.). *IKASTAROAK*. Obtenido de: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/PPFM/DPMCM/DPMCM01/es_PPFM_DPMCM01_Contentidos/website_anexo_licencias_de_recursos.html
- INEC. (2007-2017). *Informe a la nacion* .
- Ingenium. (2016). *Diseño preliminar de un motor a piston para un vehiculo urbano empleado en la competencia shell eco marathon* . 15.
- Kennet Wark, J., & Donald E, R. (1995). *Temodinamica* . New York.
- Menna. (08 de 10 de 2018). *Como funciona*. Obtenido de: <https://como-funciona.co/una-biela/>
- Metalworld. (s.f.). *Metalworld*. Obtenido de: <https://www.metalworld.mx/>
- MOTRANOSA. (s.f.). *MOTRANOSA Division industrial* . Obtenido de: <https://motranosa.com/2020/06/04/mantenimiento-a-motosierras-electricas-o-a-gasolina-stihl/>

- Naranjo, C. G., Sanchez, X. S., & D., M. J. (s.f.). Evaluacion de un procedimiento de soldadura para el AISI 4130 sin PWHT bajo normas API 6A y ASME seccion IX. 7.
- Online, E. B. (s.f.). *Enciclopedia Britanica Online*. Obtenido de:
<http://escuela.britannica.com.br/assembly/77607/>
- Pinterest. (s.f.). *Pinterest*. Obtenido de:
www.Pinterest.com
- Rodriguez, M. J. (1997). Diagnostico por vibraciones en motores de combustion interna. *Ingeniería Mecánica, 1 (1998) 11–26*, 16.
- Sevilla, U. d. (s.f.). *Departamento de fisica aplicada III*. Recuperado el 16 de 01 de 2020, de
http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Otto
- Software, S. P. (s.f.). Siemens Ingenuity for life . *Siemens* , 4.
- Solutions, G. (s.f.). *GER*. Obtenido de GER:
<http://www.germh.com/index.html>
- Steel, S. (s.f.). *Sverdrup Steel*. Obtenido de:
<https://www.sverdrupsteel.com/es/products/aisi-4130-modified-uns-g41300#:~:text=APLICACIONES,equipo%20de%20%C3%A1rboles%20de%20navidad.&text=Endurecido%20a%20860%C2%B0C,C%2C%20enfriado%20en%20el%20aire.>
- Sumindu. (s.f.). Sumindu Aceros especiales e inoxidables.
- SUZUKI. (s.f.). *AX100*. Obtenido de:
www.suzuki.com.mx
- Valley, P. (s.f.). *Painting Valley*. Recuperado el 16 de 01 de 2020, de Painting Valley:
<https://paintingvalley.com/piston-sketch>

ANEXOS

ANEXO A. Acero para maquinarias AISI 4130



SUMINDU
ACEROS ESPECIALES E INOXIDABLES

CALIDAD
AISI 4130
ACERO PARA
MAQUINARIAS

Color de Identificación:
Blanco / Azul

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL

NORMAS EQUIVALENTES

AFNOR (Fr)	25CD4
BS (Ingl)	708A25
DIN (Alem)	17218
JIS (Jap)	SCM430
UNI (Ital)	25CrMo4
Grado Thyssen	25CD4

RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	SILICIO	MANGANESO
C 0.28 - 0.33	S 0.04 (Máx)	P 0.04 (Máx)	Si 0.15 - 0.35	Mn 0.40 - 0.60
CROMO	NIQUEL	MOLIBDENO	WANADIO	TUNGSTENO
Cr 0.80 - 1.10	Ni —	Mo 0.15 - 0.25	V —	W —

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Es un Acero de construcción de baja aleación al Cromo-Molibdeno.
- Relativamente alta templabilidad.
- Buena tenacidad en estado bonificado (temple y revenido).
- Buena maquinabilidad y soldabilidad.
- Se utiliza en estado bonificado (temple y revenido). También puede nitrurarse.
- No es susceptible a fragilidad de revenido.

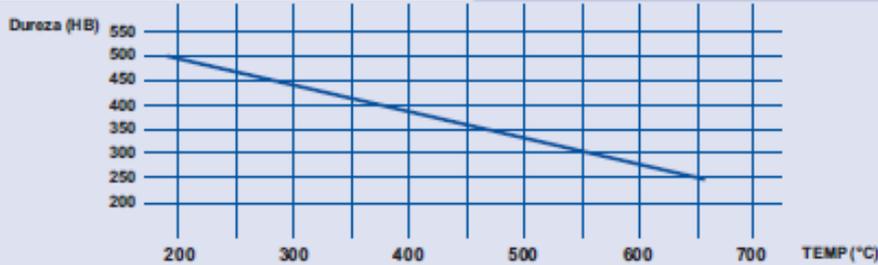
APLICACIONES

- Elementos de máquinas de medianas dimensiones, donde se requiera alta tenacidad y resistencia a la tracción.
- Árboles de leva, muñones de dirección, ejes, engranajes, pernos, etc.
- Estructuras soldadas.
- Cilindros de gas.

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL MATERIAL

TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO	DUREZA	
			RC	HBN
NORMALIZADO	880 -- 900	AIRE		
RECOCIDO	850 -- 870	HORNO		179 (Max)
TEMPLE	860 -- 875	AGUA, ACEITE	52 (Max)	
REVENIDO	630 -- 670			207 - 241
CEMENTACIÓN				

CURVA DE REVENIDO



TEMP (°C)	Dureza (HB)
200	500
300	450
400	400
500	350
600	300
650	250

ESTADO DE ENTREGA

Bonificado (temple y revenido), Durezas (Ver Certificado de Calidad)
Laminado, Premaquinado o Forjados según medidas.

www.sumindu.com

Fuente: (Sumindu)

ANEXO B. Biela mecanizada



Fuente: Autor

ANEXO C. Prueba práctica de la biela

1. Para la realización de la prueba práctica de la biela propuesta se procedió a la utilización del motor de la moto Suzuki Ax100, a continuación, se procedió al desarmado del motor para la sustitución de la biela original con el modelo mecanizado propuesto, en la fotografía se puede observar el montaje que se va a realizar de la biela en el cigüeñal para el posterior montaje en el motor.



Fuente: Autor

2. A continuación, se procedió al montaje completo del motor para su respectivo encendido y realización de las pruebas del modelo de la biela con el motor encendido con diferentes valores de revoluciones, en las siguientes imágenes se puede observar el motor en funcionamiento.



Fuente: Autor



Fuente: Autor

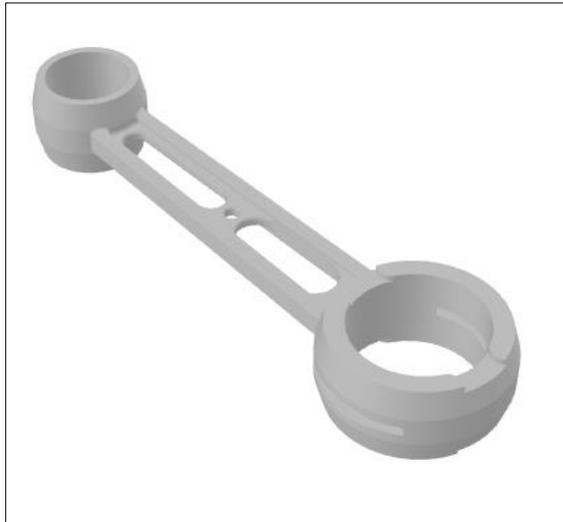
3. Para finalizar la prueba práctica se procedió al respectivo desmontaje de la biela y se pudo observar que no sufrió ningún daño como se puede observar en la siguiente imagen.



Fuente: Autor

ANEXO D. Mecanizado de la biela de la motocicleta Suzuki AX100

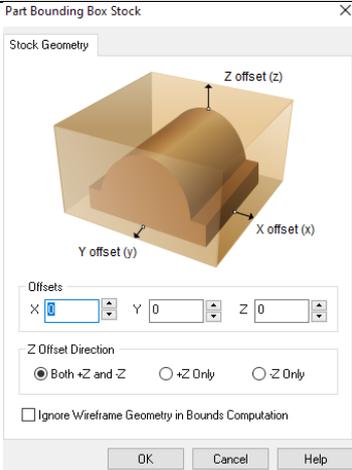
Mecanizado de la Biela Propuesta

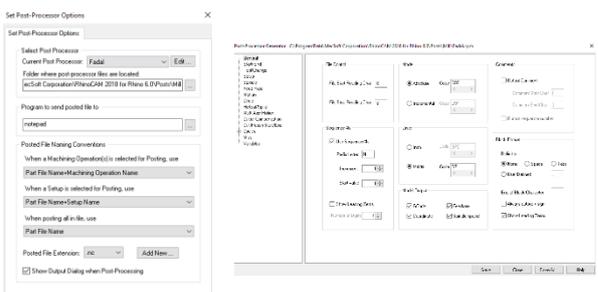


<p>Medida de la pieza</p>	
<p>Medida del tocho</p>	
<p>Selección de la máquina</p>	<p>Máquina FADAL 4 ejes. Post-procesador: FADAL</p>
<p>Material Tocho</p>	<p>AISI 4130 Rectangular</p>

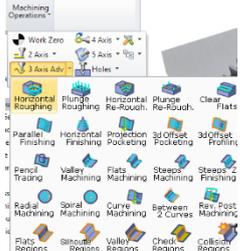
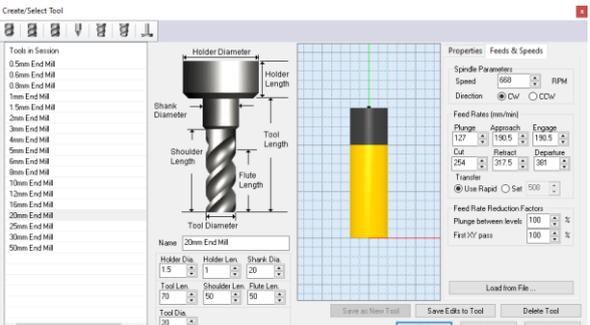
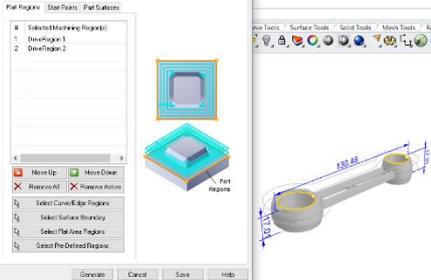
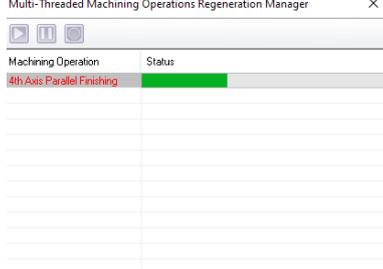
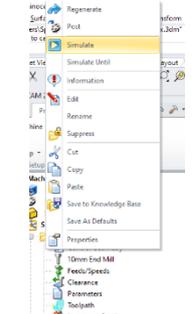
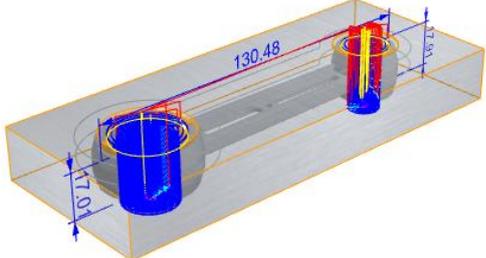
Tipo de operaciones	<p>Horizontal Roughing</p> <p>Herramienta plana carburo 6mm</p> <p>Revoluciones: 4200 rpm</p> <p>Avance: 750 mm/min</p> <p>Parallel Finishing</p> <p>Herramienta de bola carburo 2mm</p> <p>Revoluciones:4000 rpm</p> <p>Avance: 8000 mm/min</p> <p>Profundidad de corte: 0.06 mm</p>
----------------------------	---

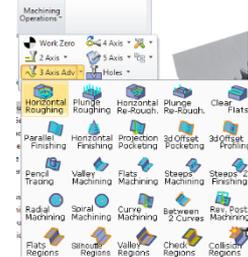
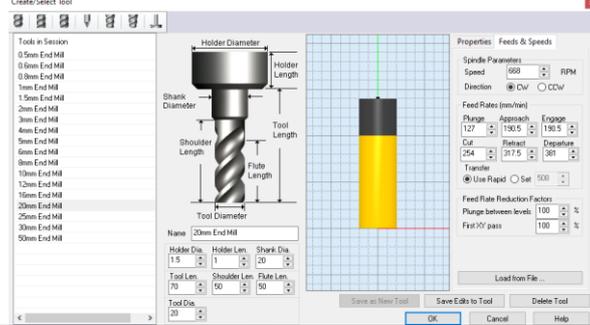
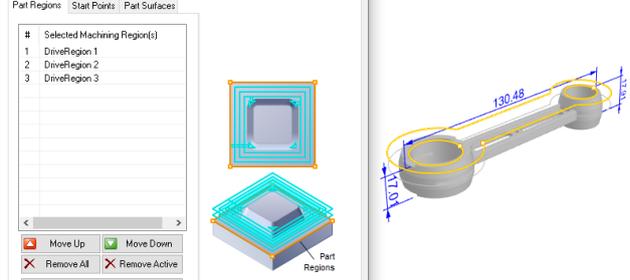
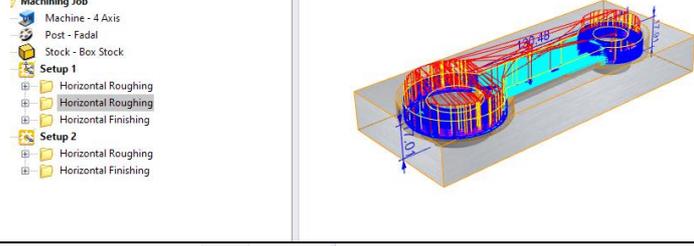
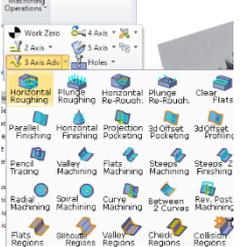
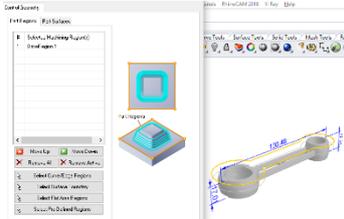
PASOS PARA EL PROCESO DE MECANIZADO EN RHINOCERO

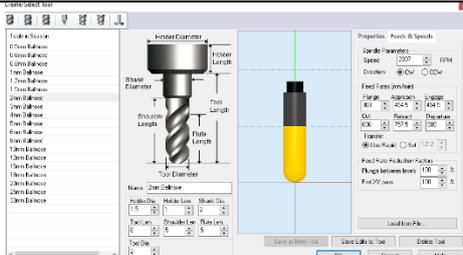
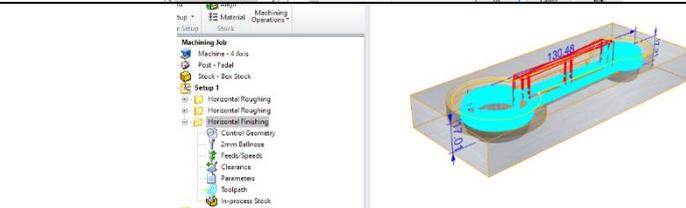
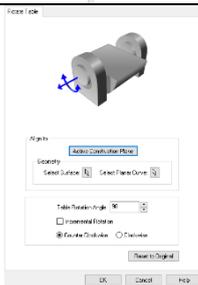
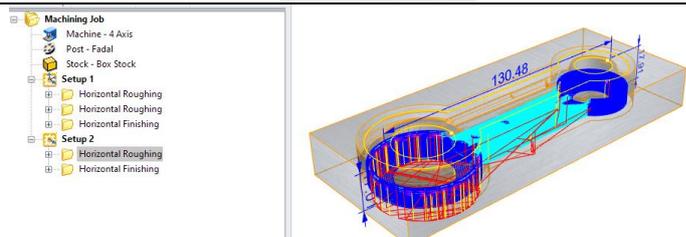
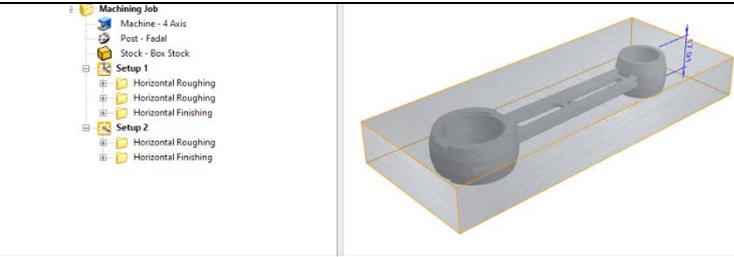
Configuración del tocho	
--------------------------------	---

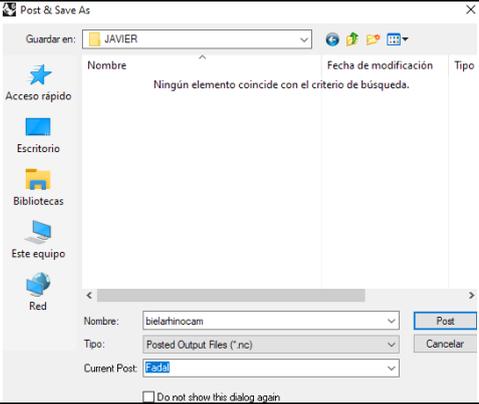
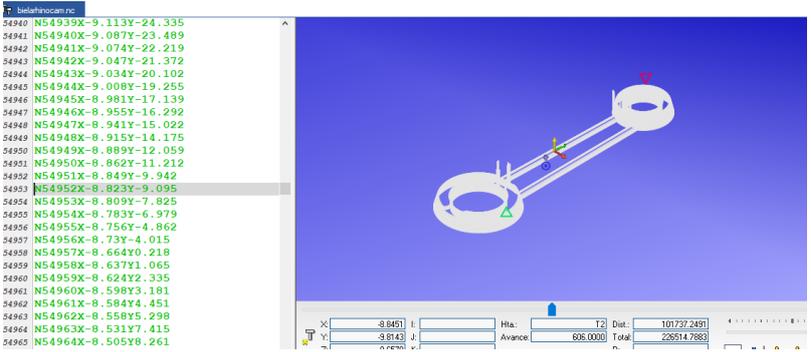
Selección del post-procesador y configuración de las unidades	
--	--

Definición de la máquina	
---------------------------------	--

<p>Creamos una operación y se elige Horizontal Roughing</p>	
<p>Elegimos la herramienta y ubicamos sus parámetros</p>	
<p>Seleccionamos los límites</p>	
<p>Generamos la configuración</p>	
<p>Simulamos la primera operación</p>	
<p>Trayectoria de la herramienta</p>	

<p>Volvemos a las operaciones y se selecciona Horizontal Roughing</p>	
<p>Elegimos la herramienta y configuramos las velocidades.</p>	
<p>Seleccionamos los límites</p>	
<p>Generamos la trayectoria de herramientas</p>	
<p>Finalizamos con un Horizontal Finishing</p>	
<p>Seleccionamos los límites</p>	

<p>Seleccionamos la herramienta y configuramos las velocidades</p>																																																																							
<p>Generamos las líneas de trayectoria</p>																																																																							
<p>Rotamos el elemento</p>																																																																							
<p>Copiamos y pegamos las dos últimas operaciones con las mismas configuraciones</p>																																																																							
<p>Generamos la información de las operaciones</p>	<p>Mops Information</p> <table border="1" data-bbox="667 1211 1358 1473"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Status</th> <th>Tool</th> <th>Tool #</th> <th>Cut Feed</th> <th># of GOTOs</th> <th>Machine Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="7">Setup 1</td> </tr> <tr> <td>Horizontal Roughing</td> <td>Clean</td> <td>6mm End Mill</td> <td>1</td> <td>808.00 mm/min</td> <td>17086</td> <td>26.14 min</td> </tr> <tr> <td>Horizontal Roughing</td> <td>Clean</td> <td>6mm End Mill</td> <td>1</td> <td>808.00 mm/min</td> <td>8115</td> <td>58.43 min</td> </tr> <tr> <td>Horizontal Finishing</td> <td>Clean</td> <td>2mm Ballno...</td> <td>2</td> <td>606.00 mm/min</td> <td>38296</td> <td>1 hr 30 min</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Setup-total</td> <td>2 hr 54 min</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Setup 2</td> </tr> <tr> <td>Horizontal Roughing</td> <td>Clean</td> <td>6mm End Mill</td> <td>1</td> <td>808.00 mm/min</td> <td>5079</td> <td>49.01 min</td> </tr> <tr> <td>Horizontal Finishing</td> <td>Clean</td> <td>2mm Ballno...</td> <td>2</td> <td>808.00 mm/min</td> <td>51809</td> <td>1 hr 1 min</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Setup-total</td> <td>1 hr 50 min</td> </tr> </tbody> </table>	Name	Status	Tool	Tool #	Cut Feed	# of GOTOs	Machine Time	Setup 1							Horizontal Roughing	Clean	6mm End Mill	1	808.00 mm/min	17086	26.14 min	Horizontal Roughing	Clean	6mm End Mill	1	808.00 mm/min	8115	58.43 min	Horizontal Finishing	Clean	2mm Ballno...	2	606.00 mm/min	38296	1 hr 30 min						Setup-total	2 hr 54 min	Setup 2							Horizontal Roughing	Clean	6mm End Mill	1	808.00 mm/min	5079	49.01 min	Horizontal Finishing	Clean	2mm Ballno...	2	808.00 mm/min	51809	1 hr 1 min						Setup-total	1 hr 50 min
Name	Status	Tool	Tool #	Cut Feed	# of GOTOs	Machine Time																																																																	
Setup 1																																																																							
Horizontal Roughing	Clean	6mm End Mill	1	808.00 mm/min	17086	26.14 min																																																																	
Horizontal Roughing	Clean	6mm End Mill	1	808.00 mm/min	8115	58.43 min																																																																	
Horizontal Finishing	Clean	2mm Ballno...	2	606.00 mm/min	38296	1 hr 30 min																																																																	
					Setup-total	2 hr 54 min																																																																	
Setup 2																																																																							
Horizontal Roughing	Clean	6mm End Mill	1	808.00 mm/min	5079	49.01 min																																																																	
Horizontal Finishing	Clean	2mm Ballno...	2	808.00 mm/min	51809	1 hr 1 min																																																																	
					Setup-total	1 hr 50 min																																																																	
<p>Operaciones totales</p>																																																																							

<p>Mecanizado final</p>	
<p>Guardamos el código generado</p>	
<p>Resultados de los códigos</p>	<p>Se han generado 110814 líneas de código</p>
<p>Detalle de simulación cinco 4to eje.</p> <p>Nota. No se puede apreciar el sólido para este tipo de configuración solo la trayectoria y los códigos</p>	

Fuente: Autor

MECANIZADO CNC FRESA 4 AXIS

“BIELA SUZUKI AX100”

¿Qué es el mecanizado CNC?

Es el tallado de piezas metálicas utilizando maquinas controladas por un programa personalizado, CNC (control numérico por computadora).

Las máquinas CNC, gracias a los adelantos de la electrónica aplicada al control de procesos y máquinas, hacen posible la automatización y flexibilidad de la producción; con la consiguiente disminución de costes.

Ventajas de trabajar con una CNC.

- ❖ Eficiencia
- ❖ Precisión
- ❖ Productividad
- ❖ Posibilidad de fabricación de piezas muy difíciles o imposibles.
- ❖ Aumento de productividad de la máquina.
- ❖ Permite simular el movimiento de corte.
- ❖ Versatilidad del mecanizado.

Pasos para la programación CNC.

- ❖ Planificar el proceso.
- ❖ Analizar la pieza tolerancias, rugosidades
- ❖ Decidir el proceso de mecanizado, Herramientas, condiciones de corte, tipo de sujeción.
- ❖ Generar el programa CNC
- ❖ Con la ayuda de software seleccionamos de donde a donde va a mecanizar y el tipo de proceso si es desbastado o acabado.
- ❖ Simular el mecanizado.

Parámetros de mecanizado. (Parámetros convencionales utilizados en parte para una máquina CNC,)

Se toman en cuenta 4 factores.

- ❖ Material a trabajar.
- ❖ Refrigerante a utilizar.
- ❖ La máquina.
- ❖ Las herramientas.

Parámetros de corte más utilizados

- **Velocidad de corte (Vc):** Es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta. Más específicamente es la velocidad relativa entre la arista de corte de la herramienta y la superficie a mecanizar de la pieza.
 - ❖ Se mide en m/min.
 - ❖ Habitualmente es un dato que puedes obtener de los catálogos de herramientas de los fabricantes, en función del material a trabajar, la potencia y rigidez de la máquina, el portaherramientas y la calidad que quieras lograr.
 - ❖ Los materiales blandos se mecanizan a altas Vc, y los materiales duros a bajas.
 - ❖ La Vc suele ser menor en las operaciones de fresado que en las de torneado.
 - ❖ Aumentar la Vc reduce la vida de la herramienta.
- **La velocidad de giro (N):** Es el número de vueltas que da el cabezal, y por tanto la pieza (en el torno) o la herramienta (en la fresadora), en un periodo de tiempo. No es habitual que los proveedores de herramientas publiquen tablas para el cálculo de la N.

$N = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D}$	<p>N: velocidad de giro (en rpm).</p> <p>V_c: velocidad de corte (en m/min).</p> <p>D: diámetro del mecanizado a realizar (en mm).</p>
--	---

- **El avance (Av, Amin o Az , aunque también puedes encontrar fn, vf o fz) :** Es la longitud recorrida por la herramienta sobre la superficie a mecanizar en la pieza en un tiempo dado. Se expresa con unidades de distancia.
 - ❖ Habitualmente es un dato que puedes obtener de los catálogos de herramientas de los fabricantes.
 - ❖ Av es la longitud recorrida entre la herramienta y la pieza por cada vuelta del cabezal. Se mide en mm/revolución. Es el avance más usado en torneado.
 - ❖ Amin es la longitud recorrida entre la herramienta y la pieza por unidad de tiempo. Se mide en mm/min. Se usa más en fresado, pero también al trabajar en torneado con herramientas motorizadas. La relación entre ambos avances es: Amin = Av * N
 - ❖ Az es la longitud recorrida entre la herramienta y la pieza durante el corte de material por uno de sus dientes o filos. Se mide en mm/diente. Es el avance más usado en fresado. La relación entre ambos avances es: Az = Av / z donde z es el número de dientes de la herramienta.

- ❖ Para obtener una buena calidad del mecanizado, el valor del avance será menor que el radio de la punta de la herramienta.
 - ❖ Al contrario de lo que pueda parecer, un avance demasiado reducido rompe peor la viruta, reduce la vida de la herramienta y puede provocar problemas de calidad en la superficie mecanizada.
- **La profundidad de pasada (Ap):** Es la distancia que penetra la herramienta en la pieza en cada una de las pasadas de un mecanizado.
 - ❖ La profundidad de pasada tiene un valor máximo admisible: para mecanizar profundidades mayores, deberás hacer varias pasadas repetitivas sobre la misma superficie a mecanizar, a diferentes profundidades.
 - ❖ Dependerá principalmente de la herramienta y la rigidez de su portaherramientas, pero también de la potencia de la máquina, de las creces del material a mecanizar, de la calidad a lograr y del avance.
 - ❖ El valor de la Ap deberá ser mayor que el radio de la punta de la herramienta, recomendándose un valor comprendido entre las 6 y las 10 veces el valor de Av.

$$p = \frac{D - d}{2}$$

$$A_p = \frac{p}{n} = \frac{D - d}{2 \cdot n}$$

$$6 \cdot A_v \ll A_p \ll 10 \cdot A_v$$

A_p: profundidad de pasada (en mm).
p: profundidad de corte (en mm).
D: diámetro antes de la pasada (en mm).
d: diámetro después de la pasada (en mm).
n: número de pasadas.
A_v: Avance por vuelta (en mm/rev.).

- **Fuerza de corte (Fc):** Es la fuerza necesaria que debe realizar la máquina para cortar la viruta. Dependerá sección de la viruta y de su relación entre anchura y espesor de viruta. Una fuerza grande permitirá sacar una sección de viruta mayor. Es un parámetro sencillo de entender, pero no muy usado. La fuerza específica de corte depende del material de la pieza y de los tratamientos que haya recibido, por lo que deberá identificarlo el proveedor de material. Puedes calcular la fuerza de corte con la siguiente fórmula:

$$F_c = A_p \cdot A_v \cdot K_c$$

F_c: fuerza de corte (Kgf).
A_p: profundidad de pasada (mm).
A_v: avance (mm/rev).
K_c: fuerza específica de corte (Kgf/mm²).

- **Potencia de corte (P_c):** Es el trabajo de corte producido por unidad de tiempo. Es un parámetro importante, ya que limita la sección de viruta, y por tanto, Qz. Sirve para calcular la potencia mínima necesaria en el cabezal del torno para poder hacer ciertas operaciones, o sabiendo cual es la potencia del cabezal, poder calcular las profundidades y avances máximos que podremos aplicar en las diferentes operaciones de mecanizado. La puedes calcular con la siguiente fórmula:

$$P_c = S \cdot K_c \cdot V_c / 60 \cdot 75$$

P_c: potencia de corte (CV).

S: sección de la viruta (mm²).

K_c: fuerza específica de corte (Kgf/mm²).

V_c: velocidad de corte (m/min).

CASOS PRÁCTICOS. OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CORTE.

Antes de definir los parámetros de corte, necesitas establecer:

- 0.- El tipo de máquina que vas a usar: convencional, CNC, más o menos potente, tipo de amarre de las herramientas a la torreta
- 1.- El material a mecanizar: aceros, fundiciones, metales no férreos.
- 2.- El tipo de mecanizados: desbaste o acabado, roscado, perfiles exteriores o interiores, radios de mecanizado.

Tabla del fabricante.

- 3.- La velocidad de corte (V_c).
- 4.- El avance (A_v).
- 5.- La profundidad de pasada (A_p).

(3.3.3.- Caso práctico: obtención de los parámetros de corte. | DPMCM01.- Procesos de mecanizado por arranque de viruta., 2021) (IKASTAROAK, n.d.)

ANEXO F. Rhinocam

RHINOCAM



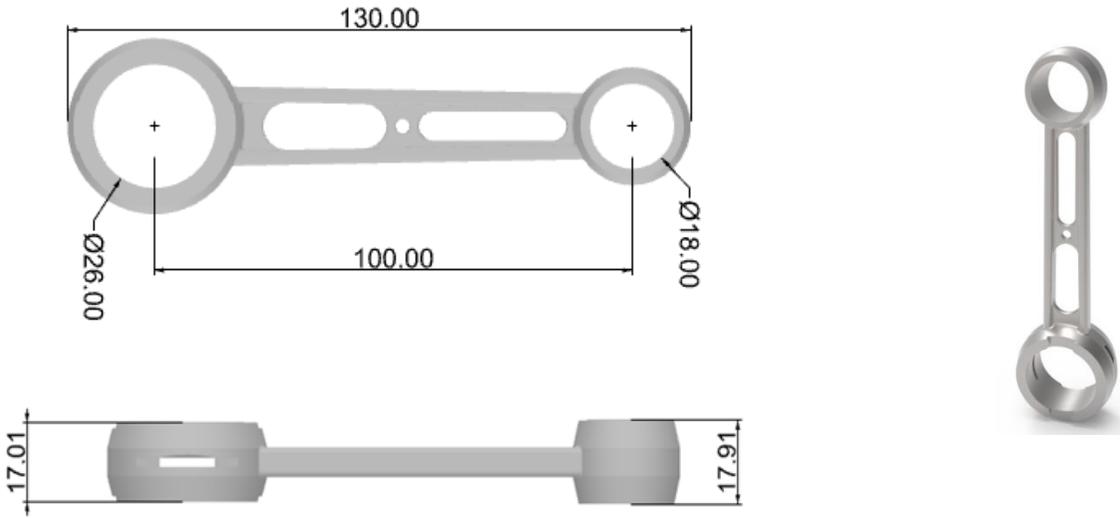
RhinoCAM es un complemento de software CAM que se ejecuta completamente dentro de Rhinoceros 6.0 y 7.0 (solo Windows). RhinoCAM combina el poder del modelado de forma libre de Rhino con la legendaria funcionalidad CAM de VisualCAM para ofrecerle un producto de capacidad incomparable. Con una integración perfecta y completa de RhinoCAM, actúa y se siente como si estuviera trabajando con Rhino al generar programas CNC. RhinoCAM también es totalmente asociativo a cualquier cambio de geometría dentro de Rhino.

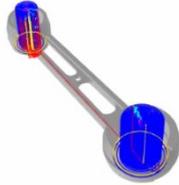
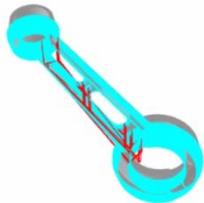
FRESADO DE 4 EJES	XPR	ETS	EXP	PRO	PRE
Mecanizado indexado de 4 ejes			✓	✓	✓
Indexación múltiple automática de 4 ejes			✓	✓	✓
Refrentado continuo de 4 ejes			✓	✓	✓
Bolsillos continuos de 4 ejes			✓	✓	✓
Perfilado continuo de 4 ejes			✓	✓	✓
Grabado continuo de 4 ejes			✓	✓	✓
Desbaste paralelo de 4 ejes			✓	✓	✓
Acabado paralelo de 4 ejes			✓	✓	✓
Acabado radial de 4 ejes			✓	✓	✓
Bolsillo de proyección de 4 ejes			✓	✓	✓
Mecanizado de superficies motrices de 4 ejes (4 ejes verdaderos)			✓	✓	✓
SIMULACIÓN DE CORTE	XPR	ETS	EXP	PRO	PRE
Animación de trayectoria	✓	✓	✓	✓	✓
Simulación de material de corte	✓	✓	✓	✓	✓
Simulación avanzada de material de corte		✓	✓	✓	✓
Detección visual de colisiones del soporte		✓	✓	✓	✓
Comparación de existencias			✓	✓	✓
Simulación de máquina herramienta (solo MILL)			✓	✓	✓

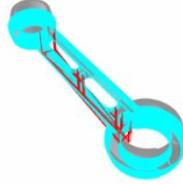
GENERADOR DE POSTPROCESADOR	XPR	ETS	EXP	PRO	PRE
Generador de publicaciones personalizable	✓	✓	✓	✓	✓
Simular ciclos	✓	✓	✓	✓	✓
Salida de arco	✓	✓	✓	✓	✓
Salida de hélice		✓	✓	✓	✓
Salida en espiral		✓	✓	✓	✓
Salida de 5 ejes				✓	✓

Fuente: (MOTRANOSA, n.d.)

ANEXO G. Hoja de procesos

	<h1>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</h1>		
<h2>INSTITUTO DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO</h2>			
<h3>HOJA DE PROCESOS</h3>			
<p>ELABORADO POR: Javier Edmundo Albuja Jácome</p>			
<p>TEMA: Mecanizado de biela</p>			
<p>Escala: 1/1</p>	<p>Material: AISI 4130</p>	<p>Dimensiones en bruto: Largo= 65 mm Ancho= 160 mm Altura= 20 mm</p>	
			

Fase N°	Denominación	Croquis	Máquina	Útiles		Condiciones de trabajo				Observaciones
				Trabajo	Control	Vc (m/min)	n (rpm)	Prof. (mm)	Tm (min)	
1	DESBASTE HORIZONTAL		CNC 4 ejes	Fresa plana Carburo Ø 6	Calibrador	15	4200		26,14	Obtención parámetros adecuados.
2	DESBASTE HORIZONTAL		CNC 4 ejes	Fresa plana Carburo Ø 6	Calibrador	15	4200		58,43	Obtención parámetros adecuados.
3	ACABADO HORIZONTAL		CNC 4 ejes	Fresa esférica Carburo Ø 2	Calibrador	15	4000	0,06	90	Obtención parámetros adecuados.
4	ROTACIÓN		CNC 4 ejes							Se realiza la rotación de la pieza para seguir con las operaciones.

Fase N°	Denominación	Croquis	Máquina	Útiles		Condiciones de trabajo				Observaciones
				Trabajo	Control	Vc (m/min)	n (rpm)	Prof. (mm)	Tm (min)	
5	DESBASTE HORIZONTAL		CNC 4 ejes	Fresa plana Carburo Ø 6	Calibrador	15	4200		49,01	Obtención parámetros adecuados.
6	ACABADO HORIZONTAL		CNC 4 ejes	Fresa esférica Carburo Ø 2	Calibrador	15	4000	0,06	61	Obtención parámetros adecuados.
Vc = Velocidad de corte n = Revoluciones Prof. = Profundidad Tm = Tiempo de mecanizado								Total	284,58	

ANEXO 1



Máquina FADAL de 4

ANEXO 2



Panel de control

Fuente: Autor