



Matemática aplicada para la optimización del diseño de una biela de un motor de combustión interna

Applied mathematics for the optimization of the design of a connecting rod of an internal combustion engine

Matemática aplicada à otimização do projeto de uma biela de um motor de combustão interna

Javier Edmundo Albuja-Jácome ^I

javier.albuja@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-5044-3373>

Sayuri Monserrath Bonilla-Novillo ^{II}

smbonilla@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6509-8238>

Christian Giovanni Flores-Arévalo ^{III}

giovanni.flores@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0132-8326>

Correspondencia: javier.albuja@epoch.edu.ec

Ciencias de la Educación

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 09 de mayo de 2024 * **Aceptado:** 16 de junio de 2024 * **Publicado:** 24 de julio de 2024

- I. Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Facultad de Mecánica, Grupo de Investigación GIDENM. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

En la presente investigación se realizó la optimización del diseño de una biela de un motor de combustión interna de dos tiempos, empleando el análisis matemático, la teoría del diseño mecánico, selección de materiales y el análisis transitorio de cargas ejercidas en el conjunto pistón – biela durante un ciclo normal de funcionamiento. Para lo cual se realizó una investigación aplicada, con un enfoque cuantitativo ya que se levantó información de la presión ejercida sobre el pistón mediante un sensor piezoeléctrico para medición de presiones. Mediante ecuaciones matemáticas y con base en los datos de presión se obtuvieron los valores de las fuerzas distribuidas sobre la biela. Se utilizó el software SolidWorks para el rediseño del modelo óptimo y el software ANSYS para la validación del diseño final de la biela. Se logró un diseño óptimo de la geometría de la biela con una reducción de 0,025 kg de masa y con un material Acero AISI 1040.

Palabras clave: diseño mecánico; pistón – biela; sensor piezoeléctrico; ecuaciones matemáticas; presión media efectiva.

Abstract

In the present investigation, the optimization of the design of a connecting rod of a two-stroke internal combustion engine was carried out, using mathematical analysis, the theory of mechanical design, selection of materials and the transient analysis of loads exerted on the piston - connecting rod assembly. during a normal operating cycle. For which an applied research was carried out, with a quantitative approach since information was collected on the pressure exerted on the piston using a piezoelectric sensor for pressure measurement. Using mathematical equations and based on the pressure data, the values of the forces distributed on the connecting rod were obtained. SolidWorks software was used to redesign the optimal model and ANSYS software was used to validate the final design of the connecting rod. An optimal design of the connecting rod geometry was achieved with a reduction of 0.025 kg of mass and with an AISI 1040 steel material.

Keywords: mechanical design; piston – connecting rod; piezoelectric sensor; mathematical equations; average effective pressure.

Resumo

Na presente investigação foi realizada a otimização do projeto de uma biela de um motor de combustão interna a dois tempos, utilizando a análise matemática, a teoria de projeto mecânico, a

seleção de materiais e a análise transitória de cargas exercidas no pistão - conjunto da biela durante um ciclo operacional normal . Para o qual foi realizada uma investigação aplicada, com uma abordagem quantitativa uma vez que foi recolhida informação sobre a pressão exercida no pistão com recurso a um sensor piezoelétrico para medição de pressão. Recorrendo a equações matemáticas e com base nos dados de pressão, foram obtidos os valores das forças distribuídas na biela. O software SolidWorks foi utilizado para redesenhar o modelo ideal e o software ANSYS foi utilizado para validar o projeto final da biela. Um design ideal da geometria da biela foi conseguido com uma redução de 0,025 kg de massa e com um material de aço AISI 1040.

Palavras-chave: projeto mecânico; pistão – biela; sensor piezoelétrico; equações matemáticas; pressão média efetiva.

Introducción

Los motores 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 1, se observa un esquema de los componentes principales de este tipo de motor.

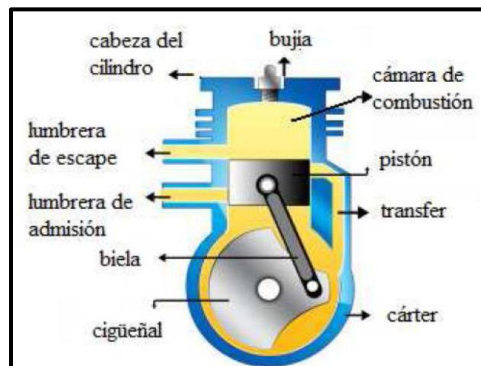


Figura 1. Componentes del motor de dos tiempos

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, motosierras, cortadoras de césped, etc., 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. (FarmAgro, n.d.)

Se denomina 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). (Escobar Calderon, Monico Muñoz, Rodriguez Arango, & Sandoval Garcia, 2008)

La biela es un componente del motor, la cual se la describe como una pieza sólida, 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, durante su funcionamiento está sometida a esfuerzos de tracción, compresión y flexión. (Dante, 1989)



Figura 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.

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.

El material empleado para la manufactura de las bielas automotrices es un acero AISI 4340, 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) (Gonzalez, 2016)

- **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. (González, 2016)

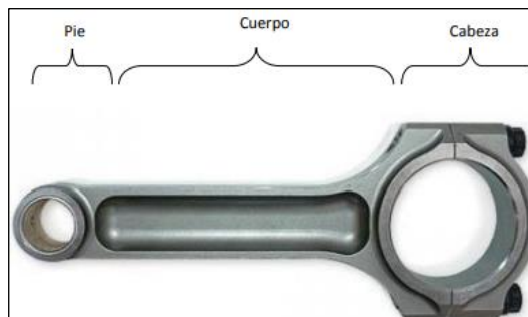


Figura 3. Partes de una biela

Fuente: (González, 2016), (Valley, n.d.)

Sensor medidor de presión. 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 4, se indica la curva de caracterización del sensor.

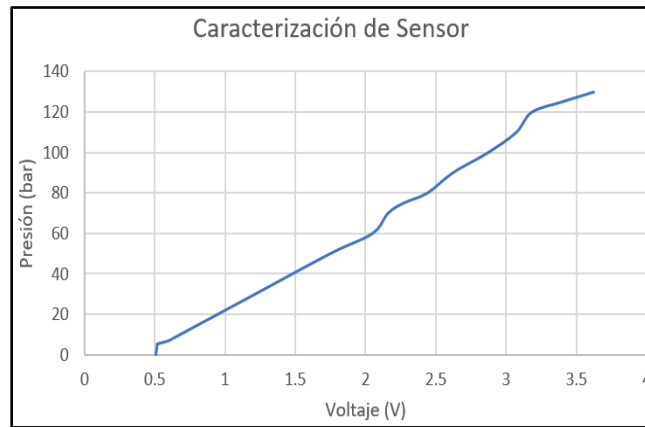


Figura 4. Curva de caracterización

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

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 1, se muestra algunos valores habituales de motores a gasolina (Benlloch Menchero, 2016)

Tabla 1. 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, 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, la energía disipada por una resistencia de 1 ohm cuando se aplica un voltaje equivalente a la señal del cilindro, 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. (Benlloch Menchero, 2016)

$$Presión\ media\ efectiva = \frac{Fuerza}{Area\ del\ cilindro} \quad (1)$$

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

$$P_s = \frac{1}{n_2 - n_1 + 1} \sum_{n=n_1}^{n_2} |x_n|^2 \quad (3)$$

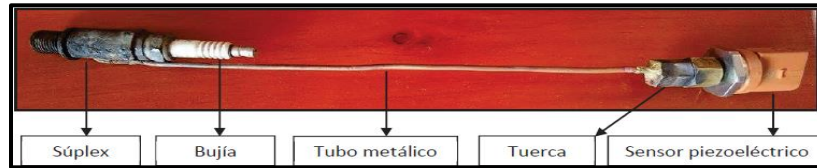


Figura 5. Sensor de presión adaptado a la bujía

Fuente: Autores

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.

Metodología

Esta investigación fue del tipo aplicada, enfocándose en la búsqueda de información y consolidación de los conocimientos adquiridos, además se utilizó el software ANSYS y SolidWorks.

Digitalización de la biela. Inicialmente para el estudio de optimización de la biela, se utilizó los datos técnicos de la motocicleta Suzuki AX 100CC y se consiguió la biela en los almacenes de repuestos (Figura 6).



Figura 6. Biela adquirida

Fuente: Autores

Posterior a la adquisición se inspecciono y tomo las medidas exteriores e interiores del elemento en cuestión, haciendo uso del calibrador pie de rey como también de otros instrumentos adicionales de medición. Con las dimensiones tomadas se digitalizó haciendo uso del software SolidWorks empezando por la creación del croquis, hasta obtener el elemento digitalizado completamente (Figura 7).

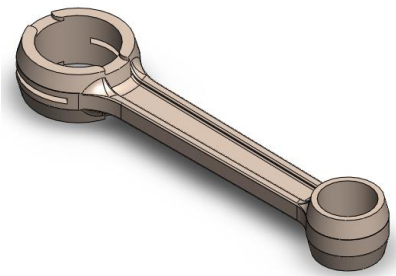


Figura 7. Digitalización de la biela

Elaborado por: Autores.

Para los cálculos efectuados es importante conocer las componentes de la fuerza ejercida sobre el pistón (Figura 8).

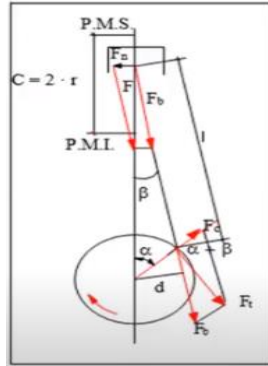


Figura 8. Componentes de la fuerza ejercida sobre el pistón

Fuente: (Pinterest, n.d.)

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, en el orificio porta bujía situado en la cabeza del cilindro, luego se realizó las conexiones a la tarjeta DAQ USB 6009 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. 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 bar = $5,956 \times 10^5 \frac{N}{m^2}$.

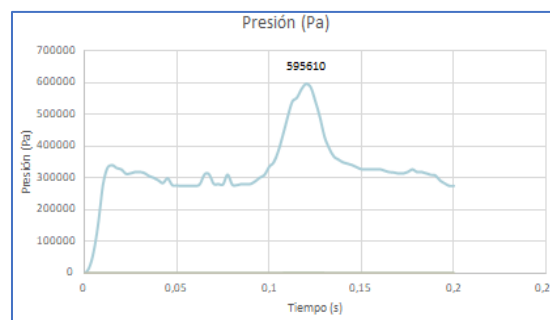


Figura 9. Adquisición de parámetros (Presión máxima obtenida)

Fuente: Autores

Por tanto, la presión máxima determinada, 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), cuyas magnitudes se encontraron mediante los siguientes cálculos:

Datos:

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

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

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

Para calcular la magnitud de la fuerza de empuje ejercida sobre el pistón.

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

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

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

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

La carrera del pistón fue calculada así:

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

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

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

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

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

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

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

$$\alpha = 78.25^\circ$$

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

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

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

Análisis de Pandeo:

Datos:

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

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

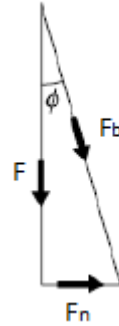
$$\sigma_c = 435 \text{ MPa}$$

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

$$\cos\varphi = 0,98748$$

$$F.S. = 3$$

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



Resolución:

Fuerza actuante sobre la biela

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

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

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

Carga crítica de Pandeo

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

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

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

Cálculo del espesor de la sección transversal típica de la biela

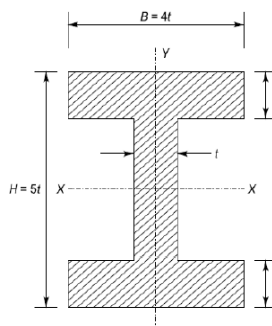


Figura 10. Vista en sección transversal típica de la biela

Fuente: Autores

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

$$A = 11t^2$$

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

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

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:

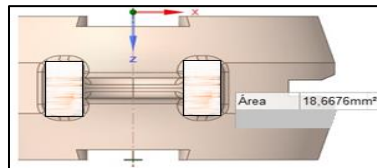


Figura 11. Área seccional de un lado de la biela

Fuente: Autores

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

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

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

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:

$$3552,84 \text{ N} \rightarrow 100\%$$

$$x \rightarrow 42,4264\%$$

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

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

Resultados y discusión

Análisis de la biela original. 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.

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 9.

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

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

Fuente: Autores

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:

$$F = 383.731 \text{ N}$$

$$M_f = 9.606 \times 10^3 \text{ Nmm}$$

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

Determinación óptima del diseño geométrico de la biela

Una vez obtenidos y analizados los resultados del análisis original de la biela se procedió a rediseñar la misma. Para lo cual se utilizó 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, hasta alcanzar un modelo óptimo, ya que la capacidad de procesamiento que posee una máquina normal resulta limitada para este proceso.

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.

Tabla 3. Valores optimizados en el 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

Resultados y discusión

Resultados correspondientes al análisis original de la biela, bajo condiciones de trabajo del motor a temperatura igual a 90°C

En la Figura 13, 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.

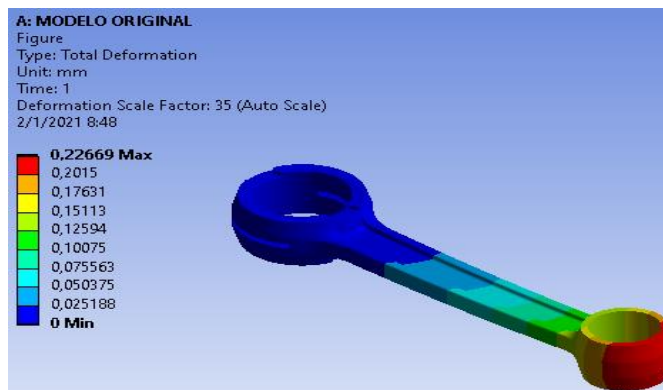


Figura 12. Deformación total de la biela original de la motocicleta Suzuki 100cc

Fuente: Autores

En la Figura 13, 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.

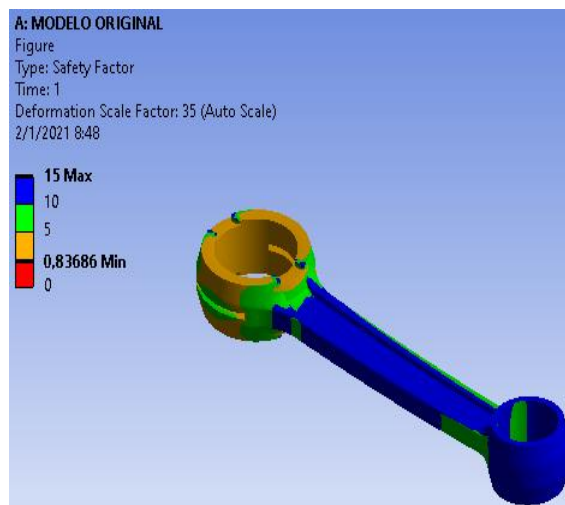


Figura 13. Factor de seguridad

Fuente: Autor

Resultados correspondientes al rediseño:

Resultado de los análisis del rediseño propuesto, con material AISI 4130 y temperatura de trabajo igual a 90°C. La Figura 15, muestra las condiciones térmicas de la biela durante un ciclo de trabajo.

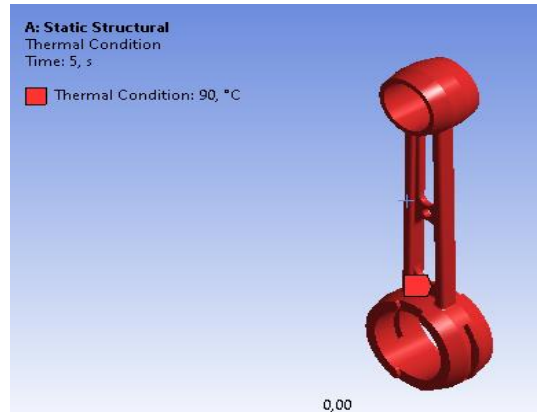


Figura 14. Deformación Total

Fuente: Autores

En la Figura 16, se indica la deformación total obtenida

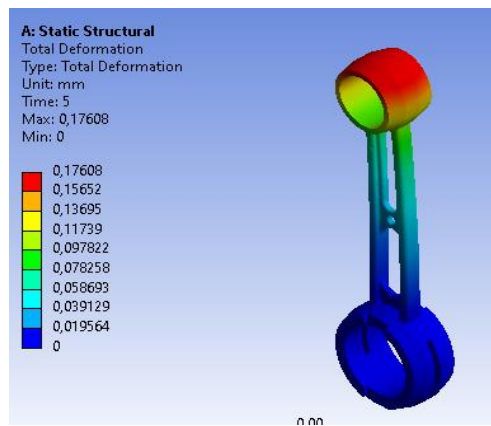


Figura 15. Deformación Total

Fuente: Autores

Se realizó la comparación resultados obtenidos entre el material AISI 4130 y el AISI 4340 (Tabla 4):

Tabla 4. Análisis comparativo entre el material AISI 1141 Y AISI 4130

MATERIAL AISI 1141						
Nº 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
Rediseño	0.101	0.994	12918	0.189	635.46	0.688
MATERIAL AISI 4130						
Rediseño	0.101	0.994	12918	0.191	923.54	0.836

Fuente: Autores

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.

Conclusiones

- Se mejoró el diseño de la biela de la motocicleta tras analizar las cargas dinámicas sobre el conjunto pistón-biela durante un ciclo operativo.
- Se identificaron las propiedades físicas y mecánicas de la biela utilizada en el estudio. La carga aplicada al modelo de la biela en el software ANSYS fue de 1169 N.
- Se localizaron las áreas de mayor y menor concentración de esfuerzos en la biela, donde se llevaron a cabo ajustes topológicos en la geometría para optimizar su rendimiento.
- Se modificó la geometría original de la biela y se evaluó su desempeño bajo cargas.
- Se verificó la resistencia del material a temperaturas superiores a las de funcionamiento de la biela.
- Se aseguró que la biela propuesta no presente problemas de resonancia, ya que las frecuencias de los componentes están fuera del rango crítico para este tipo de fallo.
- Se validó la resistencia de la biela propuesta mediante un análisis de pandeo, característico de este componente mecánico.

Referencias

1. Arbeloa Murillo, M., & Dieguez Elizondo, P. M. (2010). Puesta a punto de un motor de 2 tiempos. Pamplona.
2. Benlloch Menchero, J. (2016). DISEÑO DE MOTOR V6 DE COMBUSTIÓN INTERNA. GENERACIÓN DE SU PROTOTIPO VIRTUAL Y SIMULACIÓN DINÁMICA. Valencia.
3. Bosch Rexroth, S. (2014). rexroth A Bosch Company. Obtenido de:
4. www.boschrexroth.com
5. Bundaynas, R., & Keith, N. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Mexico: McGraw-Hill.
6. Campaña, 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.
7. 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.
8. Dante, G. (1989). Motores Endotermicos. Editorial Científico-Médica 1970.
9. Escobar Calderon, D. A., Monico Muñoz, L. F., Rodriguez Arango, M., & Sandoval Garcia, L. (2008). Metodología de diseño de un motor a pistón de dos tiempos de 10HP para aeronaves no tripuladas. Bogota, D.C.
10. FarmAgro. (s.f.). FarmAgro. Obtenido de:
11. <https://farmagro.co.cr/Producto/productos/1/stihl/page:8>
12. Gonzalez, A. F. (07 de 2016). Diseño de una biela para un motor de combustion interna. Valladolid.
13. Granizo Solis, S. J., & Toscano Lopez, P. E. (2003). Diseño, construcción y montaje de un banco de pruebas de motores de dos tiempos. Latacunga.
14. Hibbeler, R. (s.f.). Mecánica vectorial para ingenieros: Dinámica.
15. Menna. (08 de 10 de 2018). Como funciona. Obtenido de:
16. <https://como-funciona.co/una-biela/>

17. 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.
18. Rodriguez, M. J. (1997). Diagnostico por vibraciones en motores de combustion interna. *Ingeniería Mecánica*, 1 (1998) 11–26, 16.
19. 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
20. Software, S. P. (s.f.). Siemens Ingenuity for life . Siemens , 4.
21. www.suzuki.com.mx
22. Valley, P. (s.f.). Painting Valley. Recuperado el 16 de 01 de 2020, de Painting Valley: <https://paintingvalley.com/piston-sketch>

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).