

# DETERMINACIÓN DE LA CARGA MECÁNICA MÁXIMA QUE SOPORTAN LAS BIELAS DEL MOTOR DE UNA CAMIONETA MAZDA BT-50 DIÉSEL MEDIANTE ENSAYOS ESTÁTICOS DE ESFUERZO EXPERIMENTAL Y POR ELEMENTOS FINITOS.

Victor Morillo, Rommel Imbaquingo, Ignacio Benavides.

## Resumen

Las bielas deben durar todo el ciclo de vida de un motor, pero defectos superficiales como pliegues o fisuras podrían producir la falla del mismo. Se realizará ensayos no destructivos para descartar estas imperfecciones luego se realizó ensayos a compresión en las bielas cuyos datos proporcionados servirá para confirmar la capacidad mecánica del material.

Este proyecto se basa en la determinación de la carga máxima a compresión de la biela, cuyo análisis se ha realizado en el ciclo de expansión tomando en cuenta el material del cual fueron diseñadas además de sus porcentajes en cuanto a sus componentes.

El software para utilizar será SolidWorks que permite el modelado y simulación de las bielas sometidas a un esfuerzo de compresión, fundamentándose toda esta información en la teoría de Elementos Finitos que permite el análisis mediante un mallado y estudio nodular. Así logrando obtener como resultado datos que respaldarán y verificarán los cálculos a realizar.

**Palabras Clave:** Análisis metalográfico, Bielas de un motor, Elementos Finitos.

## Abstract

The connecting rods must last the whole life cycle of an engine but superficial defects like folds or fissures could produce the fault of the same. Non-destructive tests shall be carried out to discard any imperfections and then perform compression tests on the connecting rods whose data will serve to confirm the mechanical capacity of the material.

This project is based on the determination of the maximum compressive load of the connecting rod, whose analysis has been carried out in the expansion cycle taking into account the material of which were designed in addition to their percentages in terms of their components.

The software to be used will be SolidWorks that allows the modeling and simulation of the cranks subjected to a compression effort, based all this information in the theory of Finite Elements that allows the analysis through a mesh and nodular study. Thus, obtaining as a result data that will support and verify the calculations to be performed.

**Keywords:** Metallographic Analysis, Connecting rod, Finite Elements.

## 1. Definición

Se denomina biela a un elemento mecánico que conecta el pistón al cigüeñal. Sirve además para transmitir al cigüeñal la fuerza recibida del pistón transformando esta fuerza de lineal a rotativa.

### 1.1 Partes de la biela



Figura 1. Partes de la biela

## 2. Análisis de la fuerza de explosión.

Para el análisis del ciclo de explosión se utiliza el libro de Jovaj el cual es la base en ingeniería automotriz para los cálculos dentro de un motor a combustión interna.

La determinación de la fuerza de explosión es fundamental para posteriormente utilizar este resultado en un programa de simulación que ayude a determinar si las bielas cuentan con un factor de seguridad aceptable y además un posible sobredimensionamiento para el trabajo al que son sometidas.

Tabla 1. Resultado de la fuerza en el ciclo de explosión.

Bielas	Pz (MPa)	Fe (KN)
Original	5.15	60.185

Alterna	4.11	60.185
---------	------	--------

## 3. Análisis en condición de columna.

Para este análisis se comprobó que las bielas actúan como columnas cortas.

$$Si \frac{KL}{R} > Cc \therefore \text{Columna larga}$$

$\therefore$  Se utiliza la ecuación de Euler

$$Si \frac{KL}{R} < Cc \therefore \text{Columna corta}$$

$\therefore$  Se utiliza la ecuación de J.B.Johnson

Para determinar la carga crítica (Pcr) se utiliza la ecuación de Johnson.

Tabla 2. Resultados de la carga crítica.

Bielas	Pcr (KN)
Original	200.852
Alterna	96.879

## 4. Análisis químico de las bielas.

El análisis químico se realizó en la Escuela Politécnica Nacional con ayuda Espectrómetro de Emisión por Arco y Chispa Shimadzu PDA-7000.

Tabla 3. Resultado del análisis químico.

Metales	Bielas Original (%)	Bielas Alterna (%)
Carbono (C)	0.40	0.30
Silicio (Si)	0.25	0.25
Magnesio (Mg)	0.85	0.50
Cromo (Cr)	0.95	0.95
Níquel (Ni)	0.043	0.038

<b>Fosforo (P)</b>	0.035 máx.	0.035 máx.
<b>Azufre (S)</b>	0.040 máx.	0.040 máx.
<b>Cobre (Cu)</b>	0.206	0.129
<b>Aluminio (Al)</b>	0.035	<0.005
<b>Molibdeno (Mo)</b>	0.20	0.20
<b>Titanio (Ti)</b>	0.003	<0.0015
<b>Hierro (Fe)</b>	98.04	97.72

Se observa una diferencia de 0.1% más de contenido de carbono en la biela original y también una diferencia en magnesio 0.35%, níquel 0.005%, cobre 0.077%, aluminio 0.03%, hierro 0.32% y titanio 0.0015% en comparación con la biela alterna.

Esta diferencia en los contenidos de los elementos contribuye a una mejor microestructura de las bielas originales garantizando el aumento de sus propiedades mecánicas.

## 5. Ensayo metalográfico

La metalografía consiste en el análisis de la estructura y constitución de los metales y las aleaciones.

Con estos ensayos podemos determinar tamaño de granos, forma segregaciones o irregularidades y tipo de material.

### 5.1 Examen micrográfico.

Es un método en el que requiere el uso de instrumentos ópticos con los cuales se amplifica la superficie estructural, con el cual podemos observar el proceso térmico al que ha sido sometido un metal ya que ponen en evidencia la estructura cambios estructurales que sufren dicho proceso.

Para este examen es necesario seguir los siguientes pasos:

- Desbaste y pulido
- Ataque químico

Para el debate y pulido se utiliza las normas ASTM E 3 y para el ataque químico ASTM 112.

## 5.2 Análisis metalográfico.

### 1) Micrografías

Para la determinación del material se realizó unas probetas extraídas desde el cuerpo de la biela.

### 2) Resultados de la micrografía

#### A) Biela original

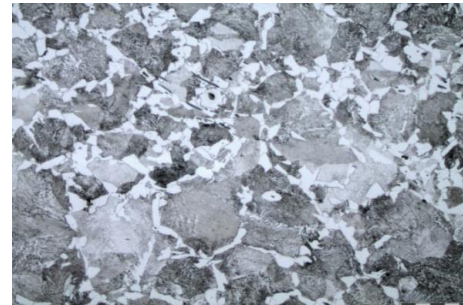


Figura 2. Acero AISI 4140

#### B) Biela Alterna.

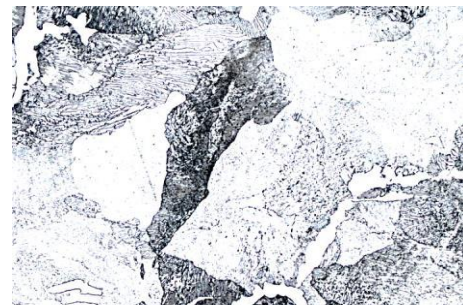


Figura 3. Acero AISI 4130.

## 6. Análisis de dureza.

El ensayo de dureza se lo realiza basado en la norma ASTM E 140.

Se ha realizado las mediciones en tres puntos diferentes de cada probeta de diferente procedencia cuyos valores de dureza se determinan en escala de Brinell (HBW 10/3000).

### 6.1 Biela Original.

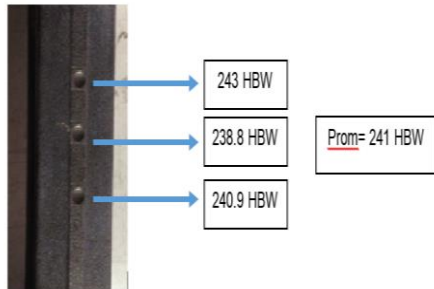


Figura 4. Ensayo de dureza biela original.

## 6.2 Biela Alterna.

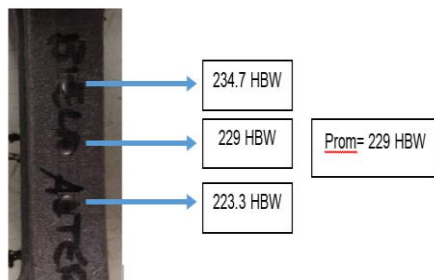


Figura 5. Ensayo de dureza biela alterna.

## 7. Ensayo no destructivo.

Los métodos de ensayos no destructivos se han realizado con la finalidad de descartar posibles discontinuidades, fisuras, porosidades o grietas que afecten en los resultados al someterlas a los ensayos a compresión.

### 7.1 Ensayo por tintas penetrantes.

Con este ensayo podemos detectar discontinuidades que aparecen en la superficie en sólidos no porosos, puesto que, al aplicar un líquido sobre la superficie de la muestra, éste penetra en las discontinuidades, para este ensayo se basa en la norma ASTM E 165, Tipo II método A.

#### 1) Productos utilizados.

**Limpiadores:** como características principales de los removedores o limpiadores son su baja viscosidad, solubles en detergentes y agua, no corrosivos y no depositan residuos se utiliza tiner.

**Penetrantes:** los líquidos penetrantes deben cumplir ciertos requerimientos entre ellos están la capacidad para penetrar fácilmente en las discontinuidades más finas, facilidad de

limpieza, fluidez, conservación del color o la fluorescencia durante el tiempo necesario, no inflamabilidad.

**Reveladores:** los reveladores actúan extrayendo el líquido de la discontinuidad. Estos deben reunir características como gran capacidad de absorción del penetrante.

### 7.2 Ensayo por partículas magnéticas.

El ensayo de partículas magnéticas es una técnica basada en la propiedad de ciertos materiales de convertirse en un imán. Se basa en la norma ASTM E 709.

#### 1) Procedimiento.

Consiste en la utilización principalmente de corriente eléctrica y así crear un flujo magnético en una pieza y al aplicarse un polvo ferromagnético en medio acuoso produce la indicación donde exista distorsión en las líneas de flujo.

#### 2) Aplicaciones.

Son utilizadas para la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales hasta 1/4" de profundidad aproximadamente en materiales ferromagnéticos.

## 8. Ensayo a compresión.

El estudio se ha realizado en la máquina de ensayos universales universal (testing machine/hidráulica tracción tester) cuyas lecturas de los diagramas esfuerzo vs deformación se realizan desde el respectivo software de la máquina.

Biela	Carga (KN)	Esfuerzo calculado (MPa)	Desplazamiento (mm)
Original	223.4	803.78	8.46
	5		
Alterna	122.4	551.67	8.97
	7		

*Víctor Morillo / DETERMINACIÓN DE LA CARGA MECÁNICA MÁXIMA QUE SOPORTAN LAS BIELAS DEL MOTOR DE UNA CAMIONETA MAZDA BT-50 DIÉSEL MEDIANTE ENSAYOS ESTÁTICOS DE ESFUERZO EXPERIMENTAL Y POR ELEMENTOS FINITOS.*

## 9. Análisis de esfuerzos por elementos finitos.

### 9.1 Análisis en la biela original.

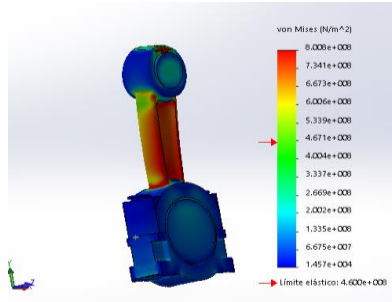


Figura 6. Esfuerzo de la biela sometida a su máxima carga 223.450 KN.

Tabla 4. Estudio a compresión biela original en SolidWorks.

Fuerza máxima experimental (KN)	Esfuerzo (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad
223.45	800.8	8.12	1.013

Tabla 5. Análisis en condición de columna biela original en SolidWorks.

Pcr (KN)	Factor de seguridad
200.852	1.07

### 9.2 Análisis en la biela Alterna.

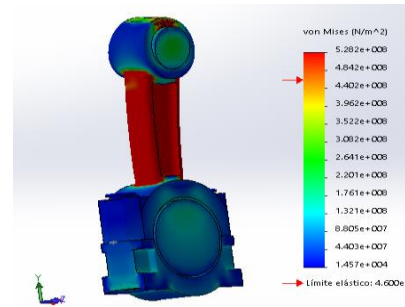


Figura 7. Esfuerzo de la biela alterna sometida a su máxima carga de 122.470 KN.

Tabla 6. Estudio a compresión biela alterna en SolidWorks.

Fuerza máxima experimental (KN)	Esfuerzo (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad
122.47	528.2	9.05	0.97

Tabla 7. Análisis en condición de columna biela alterna en SolidWorks.

Pcr (KN)	Factor de seguridad
96.879	1.27

## 10. Comprobación del sobredimensionamiento de las bielas.

El sobredimensionamiento se basa en una comparación del esfuerzo generado por la fuerza en el ciclo de explosión y el esfuerzo máximo encontrado en el ensayo experimental sobre el área de la sección transversal de las bielas.

## 10.1 Biela original.

$$\delta C_F = \frac{F}{A}$$

Donde:

$\delta C_F$  = Esfuerzo en base a la fuerza experimental.

$A$  = área de la sección transversal = 2.78 cm<sup>2</sup>.

$F$  = Fuerza Máxima Experimental = 223.45 KN, obtenida en el ensayo a compresión.

$$\delta C_F = \frac{223.45 \text{ KN}}{2.78 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\delta C_F = 803.78 \text{ MPa}$$

Esfuerzo generado en el ciclo de explosión.

$$\delta C_F = \frac{60.185 \text{ KN}}{2.78 \times 10^{-4}}$$

$$\delta C_{Fc} = 216.49 \text{ MPa}$$

### Cálculo del factor de seguridad.

$$F_S = \frac{\delta C_F}{\delta C_{Fe}}$$

$$F_S = \frac{803.78 \text{ MPa}}{216.49 \text{ MPa}}$$

$$F_S = 3.71$$

## 10.2. Biela Alterna.

**Esfuerzo obtenido con la fuerza del ensayo experimental.**

$$\delta C_F = \frac{122.47 \text{ KN}}{2.22 \times 10^{-4}}$$

$$\delta C_F = 551.67 \text{ MPa}$$

Esfuerzo en el ciclo de explosión.

$$\delta C_{Fc} = 216.49 \text{ MPa}$$

### Cálculo del factor de seguridad biela Alterna.

$$F_S = \frac{552.34 \text{ MPa}}{216.49 \text{ MPa}}$$

$$F_S = 2.55$$

Las bielas originales y alternas se encuentran sobredimensionadas y además presentan un factor de seguridad acorde al trabajo para el que son diseñadas.

### Análisis de resultados.

Por medio del análisis micrográfico se determinó que la biela original corresponde a un acero AISI 4140 mientras que las bielas alternas so de acero AISI 4130.

Según los diferentes ensayos de dureza, ensaya a compresión y por elementos finitos realizados a las bielas originales como alternas se puede apreciar valores mayores para las bielas originales.

Según el análisis químico se apresara que las bielas originales poseen más cantidades de elementos químicos con respecto a la biela alterna por esta razón las bielas originales presentan mejores propiedades mecánicas.

### Conclusiones.

- De los ensayos no destructivos por tintas penetrantes y partículas magnéticas se determinó que las bielas no tienen fisuras, discontinuidades o porosidades que puedan actuar como concentradores de tensión que puedan influir en los resultados del estudio. De acuerdo con los valores obtenidos de esfuerzo tanto por ensayo experimental y por elementos finitos (FEM) se puede apreciar que existe un rango mínimo de error validando los modelos numéricos.
- En el ensayo a compresión se determina que la biela original soporta un 45,20 % más de carga que las bielas alternas.

- Se determinó con ayuda del análisis químico, ensayo de dureza y la micrografía que las bielas originales corresponden a un acero AISI 4140, mientras que las bielas alternas corresponden a un acero AISI 4130, además las bielas originales presentan un 0.1 % más de carbono es por esta razón que el acero 4140 presenta mejores propiedades mecánicas.
- Tomando como referencia a la fuerza de la explosión con la fuerza del ensayo experimental se determinó que las bielas originales presentan un factor de seguridad de 3.71 mientras que las bielas alternas el factor de seguridad de 2.55 con esto se concluye que las bielas están sobredimensionadas.

## Referencias

### Artículos de revistas:

- [1] IEEE. (2010). *IEEE*. Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5421410&isnumber=5421314> J.
- [2] Gonzales Leon, M. (2008). Análisis de fatiga de juntas soldadas de acero al carbono utilizado en recipientes a presión. *Scielo Venezuela*, 287-294.

### Libros:

- [3] Amé, R. M. (2011). *Mecánica aplicada al diseño de los elementos de máquinas temas básicos de resistencia de materiales aplicables al diseño de árboles y ejes*. Buenos Aires: Nobuko.
- [4] Jovaj. (1982). *Motores de automoviles*. Moscu: MIR. 2nd ed., vol. 2, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 15-64.
- [5] Secundino, E., & Rivas, J. L. (2009). *Motores*. España: Macmillan Iberia, S.A.

### Reportes Técnicos:

- [6] A. Strozzi, A. B. (16 de noviembre de 2016). *Sciencedirect*. Obtenido de Ingeniería Análisis de Falla: <http://linkinghub.elsevier.com/sci-hub.cc/retrieve/pii/S1350630715301655>.
- [7] Conesa Ferrer, J. A. (2011). *Motor de combustión interna. Experimentación en Ingeniería Química III*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/17062>.

### Tesis:

- [8] Burgos, B., & Freire, E. (junio de 2008). *Repositorio digital EPN*. Obtenido de

[http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/667/1/CD-1610\(2008-07-28-09-59-37\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/667/1/CD-1610(2008-07-28-09-59-37).pdf)

- [9] Imbaquingo, R., & Puente, E. (octubre de 2011). *Repositorio ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4994/1/T-ESPEL-0860.pdf>
- Ingeniería real. (2010). Obtenido de <http://ingenieriareal.com/tipos-de-máquinas-universales-de-tension-y-compresion/>

### Recursos de Internet:

- [10] Logan, S. (25 de febrero de 2014). *Competition Connecting Rods*. Obtenido de <http://www.mooregoodink.com/news/tag/con-rod-manufacturing/>
- [11] A. (30 de junio de 2015). *El confidencial*. Obtenido de [http://www.elconfidencial.com/motor/2015-06-30/admitida-a-tramite-una-demanda-contra-renault-por-fallo-en-sus-motores-dci\\_907544/](http://www.elconfidencial.com/motor/2015-06-30/admitida-a-tramite-una-demanda-contra-renault-por-fallo-en-sus-motores-dci_907544/)
- [12] Mecánica.org, A. (2010). *Bielas, anillo y piston*. Obtenido de <https://www.mecanicoautomotriz.org/765-curso-mecanica-automotriz-bielas-anillos-piston>



# DETERMINATION OF THE MAXIMUM MECHANICAL LOAD SUPPORTING THE MOTOR CONNECTING ROD OF A MAZDA BT-50 DIESEL TRUCK THROUGH STATIC TRIALS OF EXPERIMENTAL EFFORT AND FINITE ELEMENTS.

Victor Morillo, Rommel Imbaquingo, Ignacio Benavides.

## Abstract

The connecting rods must last the whole life cycle of an engine but superficial defects like folds or fissures could produce the fault of the same. Non-destructive tests shall be carried out to discard any imperfections and then perform compression tests on the connecting rods whose data will serve to confirm the mechanical capacity of the material.

This project is based on the determination of the maximum compressive load of the connecting rod, whose analysis has been carried out in the expansion cycle taking into account the material of which were designed in addition to their percentages in terms of their components.

The software to be used will be SolidWorks that allows the modeling and simulation of the cranks subjected to a compression effort, based all this information in the theory of Finite Elements that allows the analysis through a mesh and nodular study. Thus, obtaining as a result data that will support and verify the calculations to be performed.

**Keywords:** Metallographic Analysis, Connecting rod, Finite Elements.

## Resumen

Las bielas deben durar todo el ciclo de vida de un motor, pero defectos superficiales como pliegues o fisuras podrían producir la falla del mismo. Se realizará ensayos no destructivos para descartar estas imperfecciones luego se realizó ensayos a compresión en las bielas cuyos datos proporcionados servirá para confirmar la capacidad mecánica del material.

Este proyecto se basa en la determinación de la carga máxima a compresión de la biela, cuyo análisis se ha realizado en el ciclo de expansión tomando en cuenta el material del cual fueron diseñadas además de sus porcentajes en cuanto a sus componentes.

El software para utilizar será SolidWorks que permite el modelado y simulación de las bielas sometidas a un esfuerzo de compresión, fundamentándose toda esta información en la teoría de Elementos Finitos que permite el análisis mediante un mallado y estudio nodular. Así logrando obtener como resultado datos que respaldarán y verificarán los cálculos a realizar.

**Palabras Clave:** Análisis metalográfico, Bielas de un motor, Elementos Finitos.

## 1. Definition

A connecting rod is called a mechanical element that connects the piston to the crankshaft. It also serves to transmit to the crankshaft the force received from the piston by transforming this force from linear to rotary.

### 1.1 Parts of connecting rod



Figure 1. Connecting rod parts

## 2. Explosion force analysis.

For the analysis of the explosion cycle is used the book of Jovaj which is the basis in automotive engineering for calculations inside an internal combustion engine.

The determination of the explosion force is fundamental to later use this result in a simulation program that helps determine if the connecting rods have an acceptable safety factor and also a possible oversizing for the work to which they are subjected.

Table 8. Result of the force in the explosion cycle.

Connecting rod	Pz (MPA)	Fe (KN)
Original	5.15	60.185
alternative	4.11	60.185

## 3. Analysis in column condition.

For this analysis, it was verified that the connecting rods act as short columns.

$$Si \frac{KL}{R} > Cc \therefore \text{long Columns}$$

$\therefore$  Se utiliza la ecuación de Euler

$$Si \frac{KL}{R} < Cc \therefore \text{short Columns}$$

$\therefore$  Se utiliza la ecuación de J. B. Johnson

To determine the critical load (Pcr) we use Jon's equation.

Table 2. Results of the critical load.

Connecting rod	Pcr (KN)
Original	200.852
Alternative	96.879

## 4. Chemical analysis of the connecting rods.

The chemical analysis was performed in the Escuela Politécnica Nacional with help spectrometry de emission Arco and spark Shimadzu PDA-7000.

Tabla 9. Resultado del análisis químico.

Metales	Original connecting rod (%)	Alternative connecting rod (%)
Carbono (C)	0.40	0.30
Silicon (Si)	0.25	0.25
Magnesium (Mg)	0.85	0.50
Chrome (Cr)	0.95	0.95
Nickel (Ni)	0.043	0.038
Phosphorus (P)	0.035 máx.	0.035 máx.
Sulfur (S)	0.040 máx.	0.040 máx.
Copper (Cu)	0.206	0.129
Aluminum (Al)	0.035	<0.005
Molybdenum (Mo)	0.20	0.20
Titanium (Ti)	0.003	<0.0015
Iron (Fe)	98.04	97.72

A difference of 0.1% more carbon content was observed in the original connecting rod and a difference in magnesium 0.35%, nickel 0.005%, copper 0.077%, aluminum 0.03%, iron 0.32% and titanium 0.0015% compared to the alternative connecting rod.

This difference in the contents of the elements contributes to a better microstructure of the original connecting rods, guaranteeing the increase of its mechanical properties.

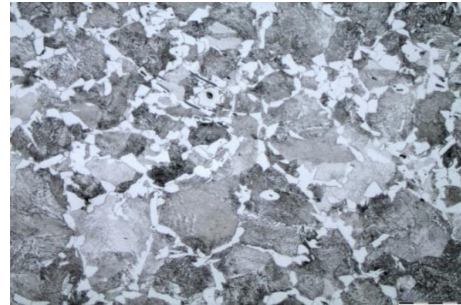


Figura 8. Steel AISI 4140

## 5. Metallographic test

Metallography consists of the analysis of the structure and constitution of metals and alloys.

With these tests, we can determine grain size, form segregations or irregularities and type of material.

### 5.1 Micrographic examination.

It is a method in which it requires the use of optical instruments with which the structural surface is amplified, with which we can observe the thermal process to which a metal has been subjected since they show the structure structural changes that undergo this process.

For this examination, it is necessary to follow the following steps:

- Roughing and polishing
- Chemical attack

For discussion and polishing, ASTM E 3 and ASTM 112 are used.

### 5.2 Metallographic analysis.

#### 1) Micrographs

For the determination of the material were made specimens extracted from the rod body.

#### 2) Results of the micrography

##### A) Original connecting rod

##### B) Alternative connection rod.

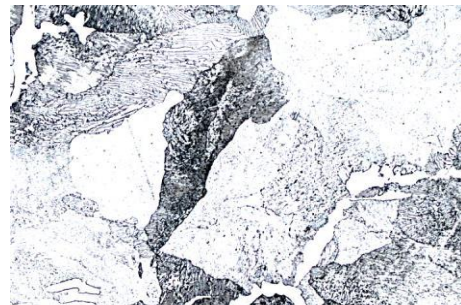


Figura 9. Steel AISI 4130.

## 6. Hardness analysis.

The hardness test is performed based on ASTM E 140.

Measurements have been made at three different points of each specimen of different origin whose hardness values are determined in Brinell scale (HBW 10/3000).

### 6.1 Original connecting rod

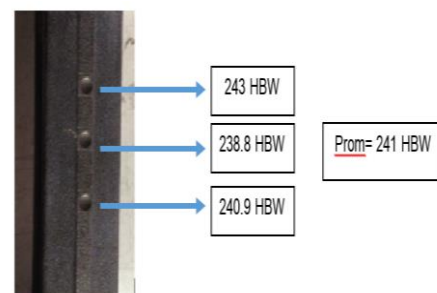


Figura 10. Original connecting rod hardness test.

## 6.2 Alternative connecting rod.

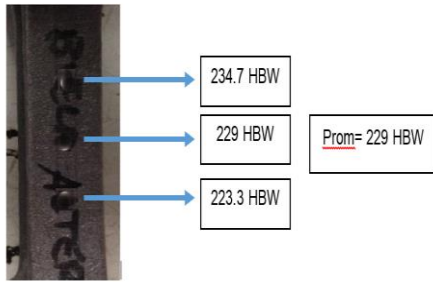


Figura 11. Alternate connecting rod hardness test.

## 7. Non-destructive test.

The non-destructive test methods have been carried out to discard possible discontinuities, cracks, porosities or cracks that affect the results when subjected to compression tests.

### 7.1 Test by penetrating inks.

With this test, we can detect discontinuities that appear on the surface in non-porous solids, since, when applying a liquid on the surface of the sample, it penetrates the discontinuities, for this test is based on the ASTM E 165, Type II Method A.

#### 2) Products used.

**Cleaners:** as the main characteristics of the removers or cleaners are their low viscosity, soluble in detergents and water, non-corrosive and do not deposit waste is used tiner.

**Penetrants:** Penetrant liquids must meet certain requirements among them are the ability to easily penetrate the finest discontinuities, ease of cleaning, fluidity, color conservation or fluorescence for the required time, non-flammability.

**Developers:** Developers act by extracting the liquid from the discontinuity. These must meet characteristics such as great absorption capacity of the penetrating.

### 7.2 Magnetice partidle test.

The magnetic particle test is a technique based on the property of certain materials to become a magnet.

It is based on ASTM E 709.

#### 1) Procedure.

It consists of the use mainly of electric current and thus create a magnetic flux in one piece and when applying a ferromagnetic powder in aqueous medium produces the indication where there is distortion in the lines of flow.

#### 2) Applications.

They are used for the detection of surface and subsurface discontinuities up to about 1/4 "deep in ferromagnetic materials.

## 8. Compression test.

The study was carried out in the Universal Testing Machine (testing machine/hydraulic traction tester) whose readings of the stress versus strain diagrams are made from the respective software of the machine.

Connecting rod	Load (KN)	Calculated effort (MPa)	Displacement (mm)
Original	223.45	803.78	8.46
Alternative	122.47	551.67	8.97

## 9. Analysis of finite element stresses.

### 9.1 Analysis in the original connecting rod.

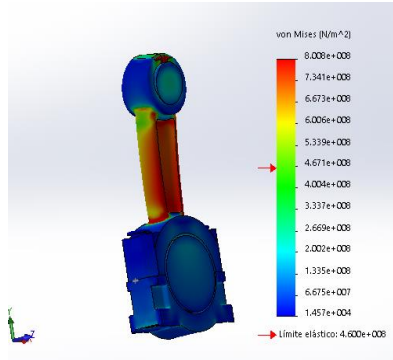


Figure 12. Strength of connecting rod subjected to its maximum load 223,450 KN

Table 4. Original compression study in SolidWorks.

Maximum experiment al force (KN)	Effort (MPa)	Displacement (mm)	Security factor
223.45	800.8	8.12	1.013

Table 5. Analysis in original connecting rod condition in SolidWorks.

Pcr (KN)	Security factor
200.852	1.07

## 9.2 Analysis in the connecting rod Alternative.

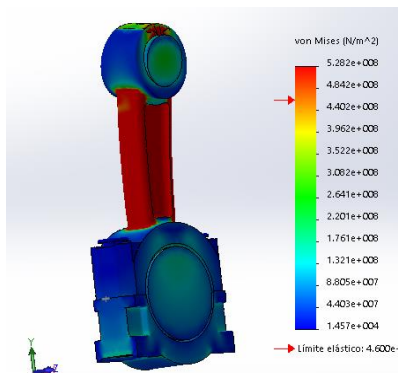


Figure 7. Effort of the connecting rod subjected to its maximum load of 122,470 KN.

Table 6. Alternate connecting rod compression study in SolidWorks.

Maximum experimental force (KN)	Effort (MPa)	Displacement (mm)	Security factor
122.47	528.2	9.05	0.97

Table 7. Alternate connecting column condition analysis in SolidWorks.

Pcr (KN)	Security factor
96.879	1.27

## 10. Checking the oversizing of the connecting rods.

The oversizing is based on a comparison of the effort generated by the force in the explosion cycle and the maximum effort found in the experimental test on the cross-sectional area of the connecting rods.

### 10.1 Original connecting rod.

$$\delta C_F = \frac{F}{A}$$

Where:

$\delta C_F$  = Effort based on experimental force.

A = cross-sectional area = 2.78 cm<sup>2</sup>.

F = maximum experimental strength = 223.45 KN,

Obtained in the compression test.

$$\delta C_F = \frac{223.45 \text{ KN}}{2.78 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\delta C_F = 803.78 \text{ MPa}$$

Effort generated in the explosion cycle.

$$\delta C_F = \frac{60.185 \text{ KN}}{2.78 \times 10^{-4}}$$

$$\delta C_{Fc} = 216.49 \text{ MPa}$$

**Calculation of the safety factor.**

$$F_S = \frac{\delta C_F}{\delta C_{Fe}}$$

$$F_S = \frac{803.78 \text{ MPa}}{216.49 \text{ MPa}}$$

$$F_S = 3.71$$

## 10.2. Alternative Connecting Rod.

**Effort obtained with the strength of the experimental test.**

$$\delta C_F = \frac{122.47 \text{ KN}}{2.22 \times 10^{-4}}$$

$$\delta C_F = 551.67 \text{ MPa}$$

Effort in the explosion cycle.

$$\delta C_{Fc} = 216.49 \text{ MPa}$$

**Calculation of safety factor Alterna.**

$$F_S = \frac{552.34 \text{ MPa}}{216.49 \text{ MPa}}$$

$$F_S = 2.55$$

The original and alternate connecting rods are oversized and have a safety factor according to the work for which they are designed.

### Analysis of results.

By means of the micrographic analysis it was determined that the original connecting rod corresponds to an AISI 4140 steel while the alternative connecting rods are of steel AISI 4130.

According to the different tests of hardness, it tests to compression and by finite elements realized to the

original cranks like alternans majors' values can be appreciated for the original cranks.

According to the chemical analysis it is estimated that the original connecting rods possess more amounts of chemical elements with respect to the alternative connecting rod, for this reason the original connecting rods have better mechanical properties.

### Conclusions.

- Non-destructive testing by penetrating inks and magnetic particles determined that the connecting rods do not have cracks, discontinuities or porosities that may act as stress concentrators that may influence the results of the study. According to the obtained values of effort by both experimental and finite element (FEM), there is a minimum error range validating the numerical models.
- In the compression test it is determined that the original connecting rod supports 45.20% more load than the alternating connecting rods.
- It was determined with the help of chemical analysis, hardness test and micrograph that the original connecting rods correspond to an AISI 4140 steel, while the alternative connecting rods correspond to an AISI 4130 steel, in addition the original connecting rods present a 0.1% more carbon is per This reason that steel 4140 has better mechanical properties.
- Taking as reference the force of the explosion with the strength of the experimental test it was determined that the original connecting rods present a safety factor of 3.71 while the connecting rods alternates the safety factor of 2.55 with this it is concluded that the connecting rods are oversized.

## References

### Articles of journals:

- [13] IEEE. (2010). *IEEE*. Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5421410&isnumber=5421314> J.
- [14] Gonzales Leon, M. (2008). Análisis de fatiga de juntas soldadas de acero al carbono utilizado en recipientes a presión. *Scielo Venezuela*, 287-294.

### Books:

- [15] Amé, R. M. (2011). *Mecánica aplicada al diseño de los elementos de máquinas temas básicos de resistencia de materiales aplicables al diseño de árboles y ejes*. Buenos Aires: Nobuko.
- [16] Jovaj. (1982). *Motores de automoviles*. Moscu: MIR. 2nd ed., vol. 2, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 15-64.
- [17] Secundino, E., & Rivas, J. L. (2009). *Motores*. España: Macmillan Iberia, S.A.

### Technical Reports:

- [18] A. Strozzi, A. B. (16 de noviembre de 2016). *Sciencedirect*. Obtenido de Ingeniería Análisis de Falla: <http://linkinghub.elsevier.com/sci-hub.cc/retrieve/pii/S1350630715301655>.
- [19] Conesa Ferrer, J. A. (2011). *Motor de combustión interna. Experimentación en Ingeniería Química III*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/17062>.

### Thesis:

- [20] Burgos, B., & Freire, E. (junio de 2008). *Repositorio digital EPN*. Obtenido de [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/667/1/CD-1610\(2008-07-28-09-59-37\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/667/1/CD-1610(2008-07-28-09-59-37).pdf)
- [21] Imbaquingo, R., & Puente, E. (octubre de 2011). *Repositorio ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4994/1/T-ESPEL-0860.pdf>  
*Ingeniería real*. (2010). Obtenido de <http://ingenieriareal.com/tipos-de-maquinas-universales-de-tension-y-compresion/>

### Internet resources:

- [22] Logan, S. (25 de febrero de 2014). *Competition Connecting Rods*. Obtenido de <http://www.mooregoodink.com/news/tag/con-rod-manufacturing/>
- [23] A. (30 de junio de 2015). *El confidencial*. Obtenido de [http://www.elconfidencial.com/motor/2015-06-30/admitida-a-tramite-una-demanda-contra-renault-por-fallo-en-sus-motores-dci\\_907544/](http://www.elconfidencial.com/motor/2015-06-30/admitida-a-tramite-una-demanda-contra-renault-por-fallo-en-sus-motores-dci_907544/)
- [24] Mecánica.org, A. (2010). *Bielas, anillo y piston*. Obtenido de <https://www.mecanicoautomotriz.org/765-curso-mecanica-automotriz-bielas-anillos-piston>.