

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

EXTENSIÓN LATACUNGA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD MECÁNICA DE CARGA DE DIFERENTES BIELAS UTILIZADAS EN LOS VEHÍCULOS KIA RÍO, CORSA EVOLUTION Y VOLKSWAGEN GOL MEDIANTE ANÁLISIS DE ESFUERZOS EXPERIMENTAL Y POR ELEMENTOS FINITOS CON UN ANÁLISIS METALOGRAFICO DE LAS MISMAS.”

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AUTOMOTRIZ**

**IMBAQUINGO NAVARRETE ROMMEL PAÚL
PUENTE CHILUISA EDGAR FABIÁN**

Latacunga, Octubre 2011

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores:
IMBAQUINGO NAVARRETE ROMMEL PAÚL, PUENTE CHILUISA
EDGAR FABIÁN, bajo la supervisión:

Ing. Oswaldo Jácome
DIRECTOR DEL PROYECTO

Dr. Marcelo Román
CODIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Juan Castro C.
DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADÉMICO

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, IMBAQUINGO NAVARRETE ROMMEL PAÚL
PUENTE CHILUISA EDGAR FABIÁN

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado **“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD MECÁNICA DE CARGA DE DIFERENTES BIELAS UTILIZADAS EN LOS VEHÍCULOS KIA RÍO, CORSA EVOLUTION Y VOLKSWAGEN GOL MEDIANTE ANÁLISIS DE ESFUERZOS EXPERIMENTAL Y POR ELEMENTOS FINITOS CON UN ANÁLISIS METALOGRAFICO DE LAS MISMAS.”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Octubre del 2011.

Rommel Paúl Imbaquingo N.
C. C. N° 100285205-9

Edgar Fabián Puente Ch.
C. C. N° 100300971-7

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSION LATACUNGA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
CERTIFICAN

Que el trabajo titulado **“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD MECÁNICA DE CARGA DE DIFERENTES BIELAS UTILIZADAS EN LOS VEHÍCULOS KIA RÍO, CORSA EVOLUTION Y VOLKSWAGEN GOL MEDIANTE ANÁLISIS DE ESFUERZOS EXPERIMENTAL Y POR ELEMENTOS FINITOS CON UN ANÁLISIS METALOGRAFICO DE LAS MISMAS”**, ha sido guiado y revisado periódicamente y, cumple con normas estatutarias establecidas por la ESPE en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, SI recomendamos su publicación.

El mencionado trabajo consta UN empastado, y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat. Autorizamos a los señores Rommel Paúl Imbaquingo N; Edgar Fabián Puente Ch., que le entregue al Ing. Juan Castro C., en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, Octubre 2011.

Ing. Oswaldo Jácome
DIRECTOR

Dr. Marcelo Román
CO-DIRECTOR

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, IMBAQUINGO NAVARRETE ROMMEL PAÚL
PUENTE CHILUISA EDGAR FABIÁN

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca Virtual de la Institución del trabajo “**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD MECÁNICA DE CARGA DE DIFERENTES BIELAS UTILIZADAS EN LOS VEHÍCULOS KIA RÍO, CORSA EVOLUTION Y VOLKSWAGEN GOL MEDIANTE ANÁLISIS DE ESFUERZOS EXPERIMENTAL Y POR ELEMENTOS FINITOS CON UN ANÁLISIS METALOGRAFICO DE LAS MISMAS.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Octubre del 2011.

Rommel Paúl Imbaquingo N.
C. C. N° 100285205-9

Edgar Fabián Puente Ch.
C. C. N° 100300971-7

DEDICATORIA

La culminación de este proyecto va dedicado con todo mi cariño a mis padres quienes me han impulsado a seguir adelante, gracias a sus valores, empuje y dedicación, han sido de gran apoyo y guía durante toda mi carrera universitaria, no me han dejado caer y me han brindado una mano siempre que la he necesitado.

A mi familia, mis hermanas, abuelitos y sobre todo a José Martín quienes han sido la fuerza que me ha llevado a seguir adelante.

EDGAR PUENTE

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico con todo mi amor y cariño.

A ti Dios por darme la fortaleza, una maravillosa familia y porque hiciste realidad este sueño que desde un inicio fue tan anhelado.

A mis papás, Edmundo y Olga que me dieron la vida y gracias a su amor, sacrificio, apoyo y virtudes inculcadas en mi he logrado cumplir mis objetivos como persona y como estudiante.

A mi Familia en especial a mi Abuelita, Hermana y sobrino por su amor y confianza depositados en mí.

ROMMEL IMBAQUINGO

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a Dios por permitirme ir cada día en busca de mis sueños e ideales. Pero ante todo por siempre brindarme todas las personas y herramientas necesarias para culminar este camino de mi vida.

A ustedes mis padres, Jenny y Edgar, por estar ahí en las satisfacciones y tropiezos siempre con sus consejos y alientos para salir de todos mis problemas.

A mi familia, amigos, ingenieros por todo su apoyo en mi carrera y vida universitaria.

EDGAR PUENTE

AGRADECIMIENTO

En realidad son muchas las personas especiales para mí y a quienes les agradezco su amistad, ánimo y compañía durante los diferentes transcurso de mi vida. Algunas personas están aquí otras en el recuerdo y en mi corazón pero sin importar donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí.

A ti mamá ya que doblaste el esfuerzo desde que mi papá falleció con tal de verme como todo un profesional.

A ti papá por tus valores y enseñanzas depositadas en mí y desde el cielo que nunca has dejado de apoyarme.

A ustedes Ingenieros por impartirme sus conocimientos durante mi vida universitaria y así lograr culminar con éxito que este proyecto.

ROMMEL IMBAQUINGO

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
DECLARAMOS QUE:	iii
CERTIFICAN.....	iv
AUTORIZACIÓN.....	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
NOMENCLATURA	xv
RESUMEN.....	xvii
PRESENTACIÓN	xviii
CAPÍTULO 1	1
1.MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 FUNCIÓN DE LAS BIELAS	1
1.1.1 DEFINICIÓN.....	1
1.2 PARTES DE LA BIELA	3
1.2.1 CABEZA DE LA BIELA.....	3
1.2.2 CUERPO DE LA BIELA	4
1.2.3 PIE DE LA BIELA	4
1.2.4 TAPA DE LA BIELA	4
1.2.5 PASADOR DE BIELA	4
1.2.6 COJINETES DE BIELA	5
1.3 MATERIAL DE LAS BIELAS	5
1.4 PERFIL ESTRUCTURAL DE LAS BIELAS	6
1.4.1 SECCIONES TRANSVERSALES:	6
1.4.2 CARACTERÍSTICAS	6
1.5 ENSAYOS METALOGRAFICOS	7
1.5.1 EXAMEN MACROGRÁFICO.....	7
1.5.2 EXAMEN MICROGRÁFICO	8
1.6 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	9
1.6.1 ENSAYO DE TINTAS PENETRANTES	10
1.6.2 ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	13
CAPÍTULO 2	15
2. ANÁLISIS METALOGRAFICO DE LAS BIELAS	15
2.1 ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS BIELAS A SER PROBADAS	15
2.2 ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA DE LAS BIELAS A SER PROBADAS	16
2.2.1 MICROGRAFÍAS	16
2.2.2 RESULTADOS DE LA MICROGRAFÍA.....	18
2.3 ENSAYO DE DUREZA	22
2.3.1 PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACION DE LA PRUEBA.....	22
2.3.2 RESULTADOS OBTENIDOS	26

2.4	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	27
2.4.1	ENSAYO NO DESTRUCTIVO UTILIZANDO EL PROCEDIMIENTO DE TINTAS PENETRANTES	27
2.4.2	ENSAYO NO DESTRUCTIVO UTILIZANDO EL PROCEDIMIENTO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	29
CAPÍTULO 3		32
3. ANÁLISIS DE ESFUERZOS POR ELEMENTOS FINITOS		32
3.1	PARÁMETROS DE DISEÑO	32
3.2	MODELIZACIÓN EN SOLID WORKS DE LAS BIELAS	33
3.2.1	CROQUIS DE UNA BIELA	33
3.3	ANÁLISIS EN CADA BIELA	36
3.3.1	KÍA RÍO	36
3.3.2	VOLKSWAGEN GOL	42
3.3.3	CHEVROLET CORSA	47
CAPÍTULO 4		53
4. ANÁLISIS DE ESFUERZOS		53
4.1.1	KÍA RÍO	53
4.3.2	VOLKSWAGEN GOL	69
4.3.3	CHEVROLET CORSA	79
4.2	ANÁLISIS EN CONDICIONES DE COLUMNA	88
4.2.1	KÍA RÍO	88
4.2.2	VOLKSWAGEN GOL	92
4.2.3	CHEVROLET CORSA	94
4.3	ENSAYO A COMPRESIÓN	97
4.3.1	KÍA RÍO	98
4.3.2	VOLKSWAGEN GOL	101
4.3.3	CHEVROLET CORSA	103
4.4	COMPROBACIÓN DEL SOBREDIMENSIONAMIENTO DE LAS BIELAS	104
4.4.1	KÍA RÍO	104
4.4.2	VOLKSWAGEN GOL	105
4.4.3	CHEVROLET CORSA	106
CAPÍTULO 5		107
5. TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		107
5.1	TABULACIÓN DE RESULTADOS	107
5.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	110
5.2.1	KÍA RÍO	111
5.2.2	VOLKSWAGEN GOL	112
5.2.3	CHEVROLET CORSA	114
CAPÍTULO 6		116
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		116
6.1	CONCLUSIONES	116
6.2	RECOMENDACIONES	117
6.3	BIBLIOGRAFÍA	119

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1	1
Figura 1.1 Esquema de una biela	1
Figura 1.2 Esquema de una biela forjada	2
Figura 1.3 Funcionamiento de la biela en el tren alternativo	3
Figura 1.4 Partes de la Biela	5
Figura 1.5 Perfiles I,+ y H respectivamente.	6
Figura 1.6 Ejemplo. Examen macrográfico mediante corte Transversal	8
Figura 1.7 Ejemplo de Microestructura AISI 680 mediante corte transversal	9
CAPÍTULO 2	15
Figura 2.1 Corte Transversal de la Probeta	16
Figura 2.2 Proceso de lijado con lijas de diferente numeración (150-1500)	17
Figura 2.3 Pulido con alúmina y agua destilada	17
Figura 2.4 Ataque químico con Nital al 3%	18
Figura 2.5 Fotografiado Micrográfico	18
Figura 2.6 Micrografía a 100x Chevrolet Corsa	19
Figura 2.7 Micrografía a 200x Chevrolet Corsa	19
Figura 2.8 Micrografía a 400x Chevrolet Corsa	19
Figura 2.9 Grade 80-55-06 pearlitic ductile iron, as-cast. Typical bull's-eye structure of graphite nodules surrounded by ferrite in a matrix of pearlite. 3% nital. 100x.....	20
Figura 2.10 Micrografía a 100x Volkswagen Gol	20
Figura 2.11 4140 steel, quenched and tempered to 30 HRC, then ion nitrided 24 h at 510 °C (950 °F). Monophase surface layer of Fe ₄ N, plus a diffusion zone of nitride containing tempered martensite. Nital. 750x.....	21
Figura 2.12 Micrografía a 100x Kía Río.....	21
Figura 2.13 Decarburized 1060 steel, heated 1 h at 1205 °C (2000 °F) before rolling to size. Note the thin layer of scale at the surface (top) and the decarburized layer (white, near top). Below that is unresolved pearlite and ferrite. Picral. 100x.....	22
Figura 2.14 Ubicación de la Probeta	22
Figura 2.15 Normativa de la máquina	23
Figura 2. 16 Penetradores	23
Figura 2.17 Pesas	23
Figura 2.18 Probeta en contacto con penetrador	24
Figura 2.19 Aguja pequeña alineada al triángulo	24
Figura 2.20 Sistema encerado o setiado	24
Figura 2.21 Palanca lateral en posición de carga	25
Figura 2.22 Toma de Lectura en el Indicador.	26
Figura 2.23 Puntos de Medición Kía Río	26
Figura 2.24 Puntos de Medición Volkswagen Gol	27
Figura 2.25 Puntos de Medición Chevrolet Corsa	27
Figura 2.26 Tintas Penetrantes	28
Figura 2.27 Inspección Visual	29
Figura 2.28 Partículas Magnéticas.....	30
Figura 2.29 Inspección Visual	31
CAPÍTULO 3	32
Figura 3.1 Método de elementos finitos utilizado por SolidWorks.	33
Figura 3.2 Croquis	34
Figura 3.3 Croquis en construcción del brazo de biela	34
Figura 3.4 Croquis en construcción de la tapa de biela	35
Figura 3.5 Biela terminada con sus cotas principales	35
Figura 3.6 Tapa de biela terminada con sus cotas principales	36

Figura 3.7	Ensamblaje total de la biela Kía Río	37
Figura 3.8	Esfuerzo de la biela sometida a su máxima carga	37
Figura 3.9	Desplazamiento de la biela sometida a su máxima carga	38
Figura 3.10	Factor de seguridad de la biela sometida a su máxima carga	39
Figura 3.11	Biela en condición de columna aplicando su carga Crítica	41
Figura 3.12	Ensamblaje total de la biela Volkswagen Gol	42
Figura 3.13	Esfuerzo de la biela sometida a su máxima carga	43
Figura 3.14	Desplazamiento de la biela sometida a su máxima carga	44
Figura 3.15	Factor de seguridad de la biela sometida a su máxima carga	45
Figura 3.16	Biela en condición de columna aplicando su carga Crítica	46
Figura 3.17	Ensamblaje total de la biela Chevrolet Corsa	48
Figura 3.18	Esfuerzo de la biela sometida a su máxima carga	48
Figura 3.19	Desplazamiento de la biela sometida a su máxima carga	49
Figura 3.20	Factor de seguridad de la biela sometida a su máxima carga	50
Figura 3.21	Biela en condición de columna aplicando su carga Crítica	52
CAPÍTULO 4	53
Figura 4.1	Fuerzas que actúan en el Tren Alternativo	53
Figura 4.2	Sección Transversal Biela Kía Río	88
Figura 4.3	Sección Transversal Biela Volkswagen Gol	92
Figura 4.4	Sección Transversal Biela Chevrolet Corsa	95
Figura 4.5	Máquina de ensayos Universales	98
Figura 4.6	Ubicación de la biela entre las placas para el ensayo a compresión	99
Figura 4.7	Encerado de la máquina	99
Figura 4.8	Datos de la Biela Kía Río obtenidos en el programa.	100
Figura 4.9	Biela Kía Río deformada	101
Figura 4.10	Datos de la Biela Volkswagen Gol obtenidos en el programa.	102
Figura 4.11	Biela Volkswagen Gol deformada	102
Figura 4.12	Datos de la Biela Chevrolet Corsa obtenidos en el programa.	103
Figura 4.13	Fractura de la Biela Chevrolet Corsa	104
CAPÍTULO 5	107
Figura 5.1	Gráfica Fuerza vs Esfuerzo calculado Kía Río	111
Figura 5.2	Gráfica Fuerza vs Esfuerzo SolidWorks Kía Río	112
Figura 5.3	Gráfica Fuerza vs Esfuerzo calculado Volkswagen Gol	113
Figura 5.4	Gráfica Fuerza vs Esfuerzo SolidWorks Volkswagen Gol	113
Figura 5.5	Gráfica Fuerza vs Esfuerzo calculado Chevrolet Corsa	114
Figura 5.6	Gráfica Fuerza vs Esfuerzo SolidWorks Chevrolet Corsa	115

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2	15
Tabla 2.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO.	15
CAPÍTULO 3	32
Tabla 3.1 Valores de Fuerza y Esfuerzo Kía Río	38
Tabla 3.2 Valores de Fuerza y Desplazamiento Kía Río	39
Tabla 3.3 Valores de Fuerza y Factor de Seguridad Kía Río	40
Tabla 3.4 Valores de Fuerza y Factor de Seguridad Kía Río	41
Tabla 3.5 Valores de Fuerza y Esfuerzo Volkswagen Gol	43
Tabla 3.6 Valores de Fuerza y Desplazamiento Volkswagen Gol	44
Tabla 3.7 Valores de Fuerza y Factor de Seguridad Volkswagen Gol	45
Tabla 3.8 Valores de Fuerza y Factor de Seguridad Volkswagen Gol	47
Tabla 3.9 Valores de Fuerza y Esfuerzo Chevrolet Corsa	49
Tabla 3.10 Valores de Fuerza y Desplazamiento Chevrolet Corsa	50
Tabla 3.11 Valores de Fuerza y Factor de Seguridad Chevrolet Corsa	51
Tabla 3.12 Valores de Fuerza y Factor de Seguridad Chevrolet Corsa	52
CAPÍTULO 4	53
Tabla 4.1 Valores de fuerza y desplazamiento biela kía Río	100
Tabla 4.2 Valores de fuerza y desplazamiento biela Volkswagen Gol	101
Tabla 4.3 Valores de fuerza y deformación biela Chevrolet Corsa	103
CAPÍTULO 5	107
Tabla 5.1 Resultados en el Ciclo de Explosión	107
Tabla 5.2 Resultados en el Carga Crítica	107
Tabla 5.3 Resultados en SolidWorks (Estudio Columna)	107
Tabla 5.4 Resultados en SolidWorks (Estudio compresión)	108
Tabla 5.5 Resultados del Ensayo experimental a compresión	108
Tabla 5.6 Comparación de Resultados del Análisis a Compresión	109
Tabla 5.7 Resultados ensayo a compresión:	111
Tabla 5.8 Resultados ensayo a compresión	112
Tabla 5.9 Resultados ensayo a compresión	114

NOMENCLATURA

PMI	=	Punto muerto inferior
PMS	=	Punto muerto superior
Vh	=	Cilindrada unitaria
ϕ	=	Diámetro del pistón
S	=	Carrera del pistón
VH	=	Cilindrada total del vehículo
Vc	=	Volumen de la cámara
ε	=	Relación de compresión
Va	=	Volumen total de los cilindros
Pa	=	Presión de admisión
Po	=	Presión inicial
β	=	Coeficiente de amortiguación de la velocidad de la carga en la sección examinada del cilindro
ξ	=	El coeficiente de resistencia del sistema de admisión referida a su sección más estrecha
ω_{ad}	=	La velocidad del aire en la entrada del sistema de admisión
ρ_o	=	Densidad de la carga de Admisión
R	=	constante universal de los gases
Ta	=	Temperatura en el ciclo de admisión
To	=	Temperatura inicial
ΔT	=	Incremento de la temperatura en el proceso del calentamiento de la carga
Y_r	=	Coeficiente de gases residuales
T_r	=	Temperatura de los gases residuales
Pc	=	Presión en el ciclo de compresión
Pa	=	Presión en el ciclo de admisión
n1	=	Exponente politrópico medio de compresión

T_c	=	Temperatura en el ciclo de la compresión
T_z	=	Temperatura en el ciclo de la explosión
μ_z	=	la energía interna de los productos de combustión
P_z	=	Presión en la explosión
μ_r	=	Coefficiente real de variación molecular
F_e	=	Fuerza en la parte superior del pistón
E	=	Módulo de Elasticidad
S_y	=	Límite de fluencia
I	=	Inercia
b	=	base del rectángulo
a	=	altura del rectángulo
b'	=	base del rectángulo de menor tamaño
a'	=	altura del rectángulo de menor tamaño
c	=	Distancia del eje neutro hacia el centro de gravedad
r	=	radio de giro
A	=	Área de la sección transversal
L_e	=	Longitud efectiva de la Columna
C_c	=	Constante de la Columna
P_{cr}	=	Carga Crítica
A	=	área de la sección transversal
F	=	Fuerza Máxima Experimental
σ_{CF}	=	Esfuerzo de compresión en base a la fuerza máxima
σ_{CF_e}	=	Esfuerzo de compresión en base a la fuerza de explosión
HR_B	=	Dureza Rockwell escala B

RESUMEN

Desde tiempo atrás se vienen desarrollando análisis mecánicos y metalúrgicos de los componentes del motor. En este sentido, últimamente se ha sistematizado este trabajo y se han ido incorporando nuevas técnicas de evaluación a las ya existentes. En cuanto al estudio de los componentes como en este caso, se ha encontrado como crítica la calidad superficial que se obtiene del proceso de fabricación del mismo, siendo que defectos superficiales como pliegues o fisuras podrían producir la falla del mismo.

En cuanto al aspecto mecánico, dado que las mayores sollicitaciones son de compresión, durante el ciclo de expansión, se procederá a la realización de un ensayo 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 resistencia de la biela en cuanto a la carga que está sometida, 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 que las conforman.

El software a 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 cálculos a realizar.

PRESENTACIÓN

El proyecto tiene por objeto determinar la resistencia a la compresión que presenten las bielas de los vehículos Kía Río, Volkswagen Gol y Chevrolet Corsa. En este proyecto hay que diferenciar las diferentes etapas para su desarrollo, desde la parte inicial refiriéndose a un análisis metalográfico de cada una de ellas, siguiendo con un modelado y simulación de cada una con ayuda de un paquete informático, y por último realizando la prueba en la máquina de ensayos universales.

Al diferenciar sus etapas es necesario conocer desde sus generalidades, componentes y función, lo cual nos llevará a la realización de un análisis metalográfico donde se detallará su microestructura, composición química, dureza y la observación de imperfecciones que puedan estar presentes en las bielas mediante ensayos no destructivos.

El modelado y simulación computacional es uno de los pasos más importantes del proyecto, ya que se realiza estudios en cuanto al ensayo a compresión siendo este el esfuerzo que se sometió a las bielas, además de la obtención de datos al realizar estudios en condiciones de columnas a cada una de ellas.

La obtención de datos del ensayo experimental, además de los datos que ocurren dentro del motor y cálculos realizados en condiciones de columna nos servirán de verificación con los obtenidos mediante el programa computacional y así poder determinar si están o no sobredimensionadas las bielas con respecto a la fuerza con que trabajan éstas.

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

1.1 FUNCIÓN DE LAS BIELAS

1.1.1 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 producida por la combustión de los gases.

Actualmente las bielas son un elemento básico en los motores de combustión interna y en los compresores alternativos.



Figura 1.1 Esquema de una biela

Por lo general, las bielas de los motores de combustión interna son realizadas en acero templado mediante forja, aunque en motores de competición muy utilizadas las bielas de titanio o aluminio, como se muestra en la figura 1.2



Figura 1.2 Esquema de una biela forjada

En función de la forma de la cabeza de biela, se pueden distinguir:

- **Biela enteriza:** Es aquella cuya cabeza de biela no es desmontable, no existe la tapa de biela. En esos casos el conjunto cigüeñal-bielas es indesmontable, o bien son extraíbles porque el cigüeñal se desmonta.
- **Biela Desmontable:** Es aquella cuya cabeza de biela es desmontable, es decir consta de dos partes la tapa y el cuerpo de biela. En estos casos el conjunto cigüeñal-bielas son extraíbles independientemente.



Figura 1.3 Funcionamiento de la biela en el tren alternativo

Las bielas de los motores de cuatro tiempos son diseñadas principalmente para resistir las fuerzas de compresión provenientes de la combustión, además deben estar balanceadas es decir pesar lo mismo al existir más de una biela en el motor.

1.2 PARTES DE LA BIELA

La biela se encuentra constituida por:

1.2.1 CABEZA DE LA BIELA

Es la parte inferior de la biela que conecta a ésta al cigüeñal, ésta constituida de una parte desmontable denominado tapa de biela.

En su interior lleva la forma adecuada para alojar un cojinete antifricción que se interpone entre la biela y el cigüeñal. Además, presenta un conducto encargado de llevar el aceite a presión que se inyecta desde el muñón del cigüeñal con el fin de lubricar la pared del cilindro con el pistón.

1.2.2 CUERPO DE LA BIELA

Es la parte media de la biela, soporta la carga generada por la combustión de los gases y transmitirla al cigüeñal. El cuerpo de la biela contiene un conducto interior el cual se encarga de transportar el aceite a presión con el fin de lubricar el buje y pasador.

1.2.3 PIE DE LA BIELA

Es la parte superior de la biela, destinada a la unión con el pistón, en la cual se instala un buje convenientemente lubricado, como cojinete para el pasador, evitando el roce entre pasador y biela.

1.2.4 TAPA DE LA BIELA

Es una pieza forjada del mismo material de la biela, debe coincidir perfectamente con la cabeza de la biela y asentar completamente con ella ya que entre ambas piezas forman un círculo perfecto para conectar la biela al muñón del cigüeñal. La forma de su cara interior, tipo cilíndrica, es la adecuada para alojar un cojinete antifricción que se interpone entre la tapa de la biela y el cigüeñal. El torque de apriete o par de apriete para la tapa de biela será el indicado por el fabricante y se debe medir cuidadosamente por medio de una llave dinamométrica.

1.2.5 PASADOR DE BIELA

Corresponde al pasador del pistón se le denomina también como pasadores de biela.

1.2.6 COJINETES DE BIELA

Cada cojinete de biela es construido en dos piezas, una pieza se instala en la cabeza de biela y la otra se instala en la tapa de la biela. Para evitar que se giren debido al movimiento rotatorio del cigüeñal, llevan pestañas que se anclan en espacios preformados para ello tanto en la cabeza, como en la tapa de la biela.



Figura 1.4 Partes de la Biela

1.3 MATERIAL DE LAS BIELAS

El material que conforman las bielas debe tener una estabilidad mecánica para resistir la fuerte solicitación a que es sometida, y su masa, debe ser lo suficientemente pequeña para reducir al máximo la inercia que pueda crear. Generalmente es acero al carbono aleado con níquel-cromo-manganeso o con níquel-cromo-molibdeno.

1.4 PERFIL ESTRUCTURAL DE LAS BIELAS

1.4.1 SECCIONES TRANSVERSALES:

Las bielas se diseñan con un perfil estructural tipo I, H y +.



Figura 1.5 Perfiles I,+ y H respectivamente.

1.4.2 CARACTERÍSTICAS

- La sección del cuerpo de la biela en H tiene más resistencia.
- La sección del cuerpo de la biela en I es el perfil más utilizado.
- Para obtener un mejor desempeño y alto rendimiento, se han desarrollado bielas con sección en cruz (+) o en H, usadas en aviación.

1.5 ENSAYOS METALOGRÁFICOS

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

Con estos ensayos podemos determinar tamaño de granos, forma segregaciones o irregularidades. La manera más sencilla de hacerlo es inspeccionando las superficies metálicas a simple vista denominándose a esto como examen macrográfico obteniendo datos sobre los tratamientos mecánicos sufridos por el material entre ellos trefilado, laminado, forjado.

El microscopio será el instrumento con el cual será posible revelar la microestructura, tratamientos mecánicos y térmicos del metal.

1.5.1 EXAMEN MACROGRÁFICO

Generalmente este tipo de examen se realiza sin preparación especial sin embargo a veces es necesaria la preparación de la superficie para observar de una mejor manera sus características macroscópicas.

Además en este examen se utilizan dos criterios de tipo de corte a ser realizados los cuales son longitudinales y transversales pudiendo obtenerse lo siguiente:

Corte transversal:

En el cual se observa que la pieza sea homogénea tomando en cuenta que no presente fisuras, porosidades, segregaciones o separaciones del material siendo éstas susceptibles al ojo humano producidas por algún defecto en el proceso de fabricación.

- **Corte longitudinal:**

En el cual podemos observar el proceso de fabricación que se ha utilizado en la pieza siendo esta por fundición o por los diferentes tipos de soldadura entre ellos oxiacetilénica, eléctrica, etc.

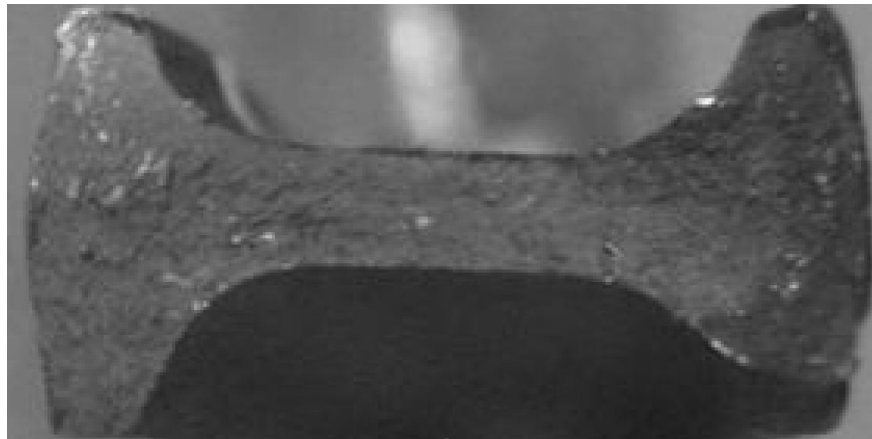


Figura 1.6 Ejemplo. Examen macrográfico mediante corte Transversal

1.5.2 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:

- Corte transversal
- Desbaste y pulido
- Ataque químico

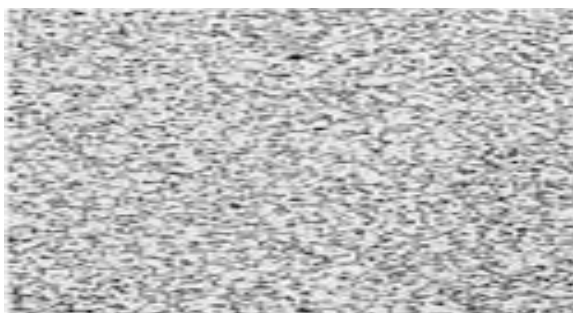


Figura 1.7 Ejemplo de Microestructura AISI 680 mediante corte transversal¹

1.6 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los métodos de ensayos no destructivos se han realizado con la finalidad de asegurarnos que en el material no existan discontinuidades, fisuras, porosidades o grietas que afecten en los resultados al someterlas a los ensayos.

Además estos ensayos permiten la inspección de la producción al completo, manteniéndose una calidad uniforme. Pueden aplicarse en diferentes áreas, entre las que destacan:

- La defectología: detección de heterogeneidades, discontinuidades e impurezas, evaluación de los deterioros producidos por agentes ambientales y determinación de los efectos que producen los distintos tipos de tratamiento.
- La caracterización de los materiales.
- La metrología: control de las dimensiones, recubrimientos, etc.

¹ PDF.ASM.METALSHANDBOOK.MICROESTRUCTURA.AISI680.P615

1.6.1 ENSAYO DE 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. Una vez que se elimina el exceso de líquido de la superficie de la muestra, el líquido contenido en las discontinuidades sale al exterior con la ayuda del revelador, pudiendo observarse en su superficie. La aplicación de este ensayo es menos compleja y no requiere el empleo de equipos sofisticados.

Este tipo de ensayo se aplica fundamentalmente a los materiales metálicos no ferromagnéticos, tales como el aluminio y sus aleaciones, los aceros inoxidable, cobres, bronce, latones, etc., y a los materiales no metálicos.

a. 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.

Existen dos tipos de removedores los de lenta evaporación y los de rápida evaporación. Un removedor de lenta evaporación puede interferir en la penetración del líquido y quitarle efectividad a la inspección. Los removedores de rápida evaporación tienen mejor efecto de solvencia para quitar grasa y aceites de la superficie. En lo que respecta al medioambiente, todos los removedores son inflamables y no deben ser usados en espacios confinados sin una apropiada ventilación.

- **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. Lógicamente, es imposible reunir todas estas propiedades en una sola especie química, por lo que se utilizan combinaciones de líquidos con diferentes composiciones.

Los líquidos penetrantes se agrupan en función de la fuente de luz que se precisa para la observación de las indicaciones que proporciona el ensayo.

Así, pueden ser coloreados que se observan con luz visible blanca, o fluorescentes, que se observan con luz negra o ultravioleta.

- **Reveladores:** los reveladores actúan extrayendo el líquido de la discontinuidad. Estos deben reunir características como gran capacidad de absorción del penetrante, buena definición del contorno de las indicaciones, fácil aplicabilidad y espesor uniforme de la capa resultante, fácil eliminabilidad y no corrosividad.

Existen diversos tipos de reveladores. Los de polvo seco, acuosos, húmedos no acuosos y los de película líquida.

b. TÉCNICAS DE INSPECCIÓN

La norma ASTM E165-95² describe los procedimientos a seguir en este tipo de ensayo.

² NORMA ASTM.E165-95.

c. RESULTADOS

Las formas más comunes de resultados en este tipo de ensayos son:

- Indicaciones lineales continuas, abiertas o cerradas. Son producto de la existencia de grietas, dando lugar a líneas endentadas, rugosas o con ramificaciones
- Indicaciones lineales intermitentes. Son consecuencia del cierre de algunas zonas de las discontinuidades cuando las piezas se someten a procesos de rectificado, forjado o mecanizado.
- Indicaciones redondeadas. Se deben a porosidades, consecuencia de oclusiones gaseosas.
- Indicaciones puntiformes, agrupadas o dispersas. Proceden de discontinuidades originadas por la presencia de burbujas.

En este ensayo hay que tomar en cuenta la generación de indicaciones falsas que pueden ser producto del lavado defectuoso de las piezas, de la manipulación poco cuidadosa.

d. VENTAJAS DEL ENSAYO POR TINTAS PENETRANTES

Entre las ventajas se tiene:

- Permite actuar en toda la superficie de la pieza.
- No requiere emplear equipos complejos ni caros, que abarquen gran cantidad de materiales.
- Es un ensayo económico.

e. DESVENTAJAS DEL ENSAYO POR TINTAS PENETRANTES

Entre sus desventajas se tiene:

- No detecta discontinuidades que se encuentren bajo la superficie.

- No se puede aplicar a materiales porosos ni a piezas con recubrimientos protectores o pintadas.
- Los penetrantes son líquidos derivados del petróleo, lo que dificulta su empleo en algunos materiales plásticos.

1.6.2 ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

El ensayo de partículas magnéticas es una técnica basada en la propiedad de ciertos materiales de convertirse en un imán.

a. DESCRIPCIÓN DE LAS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

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

Propiedad física en la que se basa.

- Propiedad de algunos materiales de poder ser magnetizados.
- La característica que tienen las líneas de flujo de alterar su trayectoria cuando son interceptadas por un cambio de permeabilidad.

b. LOS MATERIALES SE CLASIFICAN EN:

- **Diamagnéticos:** Son levemente repelidos por un campo magnético, se magnetizan pobremente.
- **Paramagnéticos:** Son levemente atraídos por un campo magnético, No se magnetizan.
- **Ferromagnéticos:** Son fácilmente atraídos por un campo magnético, se magnetizan fácilmente.

c. TIPOS DE DISCONTINUIDADES:

- Superficiales
- Subsuperficiales (muy cercanas a la superficie)

d. APLICACIONES:

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

e. VENTAJAS:

- Portabilidad y adaptabilidad a muestras pequeñas o grandes.
- Detecta tanto discontinuidades superficiales y subsuperficiales.
- Las indicaciones son producidas directamente en la superficie de la pieza, indicando la longitud, localización, tamaño y forma de las discontinuidades.
- Mejor examinación de las discontinuidades que se encuentran llenas de carbón, escorias u otros contaminantes y que no pueden ser detectadas con una inspección por Líquidos Penetrantes.

f. DESVENTAJAS:

- Es aplicable solamente a materiales ferromagnéticos; en soldadura, el metal depositado debe ser también ferromagnético.
- Requiere de una fuente de poder.
- No detectará discontinuidades que se encuentren en profundidades mayores de 1/4".

CAPÍTULO 2

2. ANÁLISIS METALOGRAFICO DE LAS BIELAS

2.1 ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS BIELAS A SER PROBADAS.

Éste análisis químico se lo realizó por personas especialistas de la Escuela Politécnica Nacional cuya cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN. Los materiales obtenidos se detallan a continuación:

Tabla 2.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO.

METALES	VOLKSWAGEN GOL (%)	KÍA RÍO (%)	CHEVROLET CORSA (%)
Carbono (C)	0.393	0.616	2.992
Silicio (Si)	0.217	0.168	2.087
Manganeso (Mn)	0.737	0.858	0.183
Cromo (Cr)	0.105	0.094	0.036
Níquel (Ni)	0.043	0.038	0.019
Fósforo (P)	<0.005	<0.005	0.004
Azufre (S)	<0.150	<0.150	<0.001
Cobre (Cu)	0.129	0.206	0.415
Aluminio (Al)	0.035	<0.005	<0.001
Molibdeno (Mo)	0.012	0.015	0.002
Titanio (Ti)	0.003	<0.001	0.020

Vanadio (V)	<0.005	<0.005	0.004
Boro (B)	<0,001	<0.001	<0.0002
Hierro (Fe)	98.04	97.72	94.15

Fuente: Anexo A

2.2 ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA DE LAS BIELAS A SER PROBADAS

2.2.1 MICROGRAFÍAS

Para la determinación del material se realizó unas probetas extraídas desde el cuerpo de la biela cuya preparación se ha realizado con el siguiente procedimiento:

- **Corte transversal**
 - a. El proceso de corte transversal se lo ha realizado en la cortadora del laboratorio de Metalurgia, La biela deberá estar correctamente sujetado con las palancas que trae consigo la máquina.



Figura 2.1 Corte Transversal de la Probeta

- b. Preparación de la muestra: Consiste en un pulido casi perfecto de la superficie de la muestra que se obtiene lijando la superficie con lijas de diferente numeración (150, 280, 360, 500, 600, 1200, 1500). Para posteriormente realizar un pulido y dar un acabado tipo espejo con alúmina (polvo de aluminio y agua destilada)



Figura 2.2 Proceso de lijado con lijas de diferente numeración (150-1500)



Figura 2.3 Pulido con alúmina y agua destilada

- c. Ataque Químico: Una vez que la muestra ha sido pulida se ataca químicamente la superficie a ser observada microscópicamente con Nital³ al 3% (Acido nítrico + alcohol al 98% de pureza) ya que son aceros con aleación de carbono, sumergiendo la superficie por

³ NORMA.ASTM.E407-70.P542

un tiempo de 5 segundos y posteriormente lavando para que el nital no siga atacando.



Figura 2.4 Ataque químico con Nital al 3%

- d. Fotografiado Micrográfico: Se realizo el fotografiado seleccionando un zoom apropiado para el tipo de acero



Figura 2.5 Fotografiado Micrográfico

2.2.2 RESULTADOS DE LA MICROGRAFÍA

Observando las micrografías se pudo determinar que los dos tipos de acero en análisis tienen una estructura del tipo ferrita + borde de grano.

a. CHEVROLET CORSA

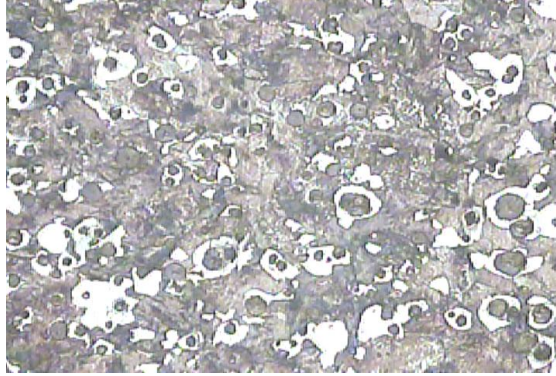


Figura 2.6 Micrografía a 100x Chevrolet Corsa

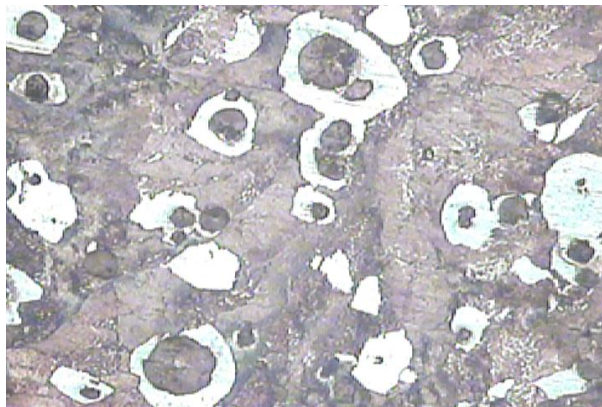


Figura 2.7 Micrografía a 200x Chevrolet Corsa

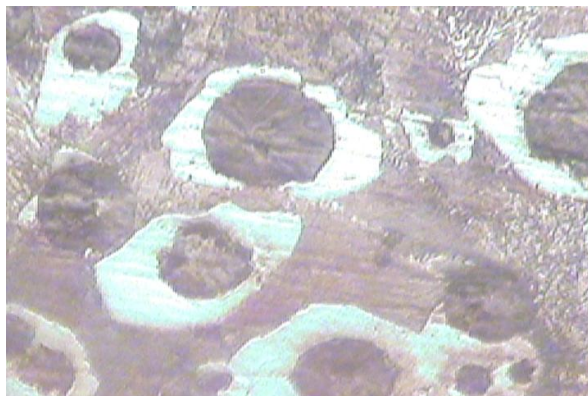


Figura 2.8 Micrografía a 400x Chevrolet Corsa

Según la micrografía y en comparación con el libro Metals Handbook 9th edition volumen 9 correspondiente a METALLOGRAPHY and MICROSTRUCTURES ASM podemos determinar que el material de la biela del Chevrolet Corsa corresponde a una Fundición Nodular matriz Perlítica.

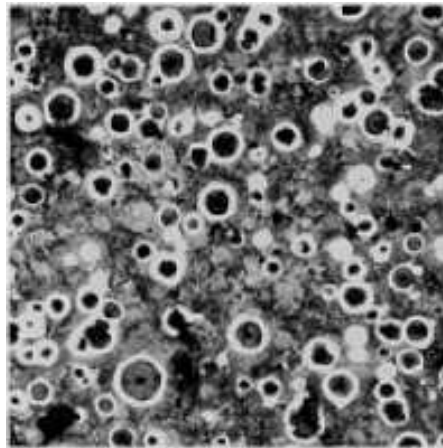


Figura 2.9 Grade 80-55-06 pearlitic ductile iron, as-cast. Typical bull's-eye structure of graphite nodules surrounded by ferrite in a matrix of pearlite.
3% nital. 100x

FUENTE: PDF, ASM Metals Handbook, vol9 – Metallography and Microstruct

b. VOLKSWAGEN GOL



Figura 2.10 Micrografía a 100x Volkswagen Gol

Según la micrografía y en comparación con el libro Metals Handbook ninth edition volumen 9 correspondiente a METALLOGRAPHY and

MICROSTRUCTURES ASM podemos determinar que el material de la biela del Volkswagen Gol corresponde a un acero AISI 4140. Matriz Martensítica.



Figura 2.11 4140 steel, quenched and tempered to 30 HRC, then ion nitrided 24 h at 510 °C (950 °F). Monophase surface layer of Fe_4N , plus a diffusion zone of nitride containing tempered martensite. Nital. 750x

FUENTE: PDF, ASM Metals Handbook, vol9 – Metallography and Microstruct

c. **KÍA RÍO**

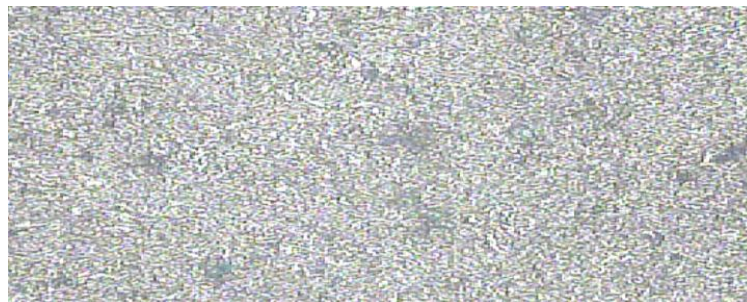


Figura 2.12 Micrografía a 100x Kía Río

Según la micrografía y en comparación con el libro Metals Handbook ninth edition volumen 9 correspondiente a METALLOGRAPHY and MICROSTRUCTURES ASM podemos determinar que el material de la biela del Kía Río corresponde a un acero AISI 1060. Matriz perlítica y ferrítica.

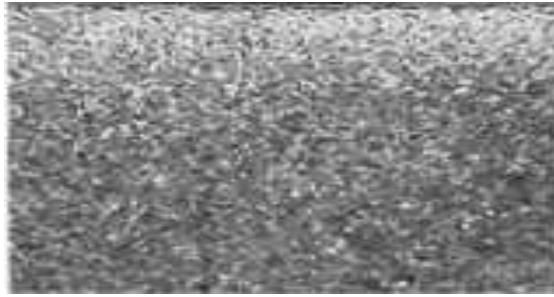


Figura 2.13 Decarburized 1060 steel, heated 1 h at 1205 °C (2000 °F) before rolling to size. Note the thin layer of scale at the surface (top) and the decarburized layer (white, near top). Below that is unresolved pearlite and ferrite. Picral. 100x

FUENTE: PDF, ASM Metals Handbook, vol9 – Metallography and Microstruct

2.3 ENSAYO DE DUREZA

El procedimiento que se efectuó para la medición de dureza es el siguiente:

2.3.1 PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACION DE LA PRUEBA

- a. La base de la probeta deberá estar completamente plana para un correcto asentamiento.



Figura 2.14 Ubicación de la Probeta

- b. Seleccionamos las pesas y el tamaño del acople o penetrador adecuados según lo indica las especificaciones de la máquina.

Para nuestro caso la dureza se medirá en la escala Rockwell B, su pesa será de 100 kg y un acople o penetrador de 1/16”.



Figura 2.15 Normativa de la máquina

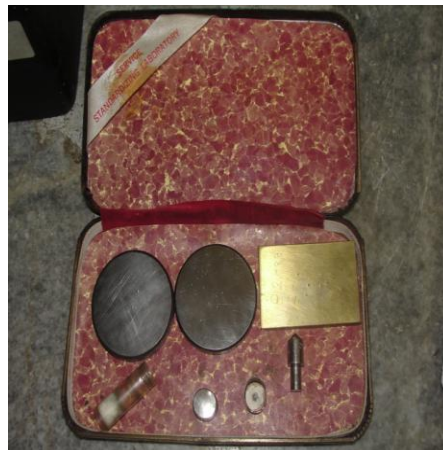


Figura 2. 16 Penetradores



Figura 2.17 Pesas

- c. Giramos la manilla giratoria para elevar el soporte rígido de manera que la probeta haga contacto con el penetrador y la aguja pequeña en el indicador este alineada al triángulo.



Figura 2.18 Probeta en contacto con penetrador



Figura 2.19 Aguja pequeña alineada al triángulo

- d. Seguidamente enceramos es decir la aguja grande deberá estar alineada a 0 o set en el indicador.



Figura 2.20 Sistema encerado o setiado

- e. Movemos la palanca lateral a la posición de carga para aplicar la carga principal equivalente a 10kp

La aplicación de esta carga tiene por finalidad:

- Eliminar la influencia de rugosidad de la superficie de la pieza.
- Determinar el punto de partida de la medición de la penetración.

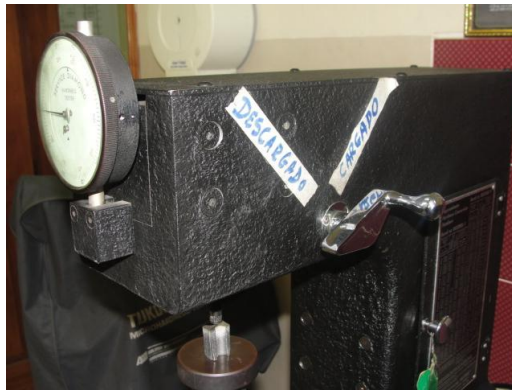


Figura 2.21 Palanca lateral en posición de carga

- f. La carga total ejercida se mantendrá durante 15 seg ó hasta que la aguja del dial indicador de dureza se estabilice.
- g. Movemos la palanca lateral a la posición de descarga y procedemos a la toma de lectura en la escala correspondiente en el indicador.

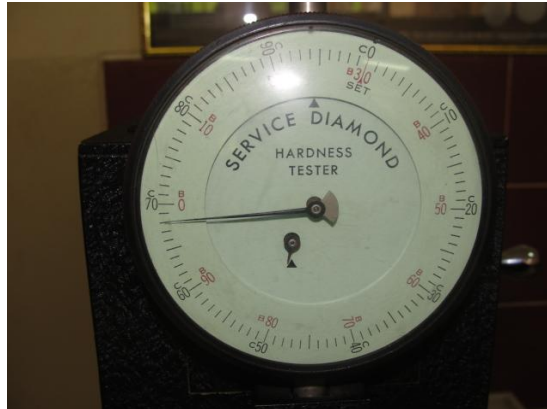


Figura 2.22 Toma de Lectura en el Indicador.

2.3.2 RESULTADOS OBTENIDOS

Se ha realizado las mediciones en tres puntos diferentes de cada probeta de los vehículos cuyos valores de dureza se han determinado en escala Rockwell B (HR_B). Los valores son:

a. KÍA RÍO

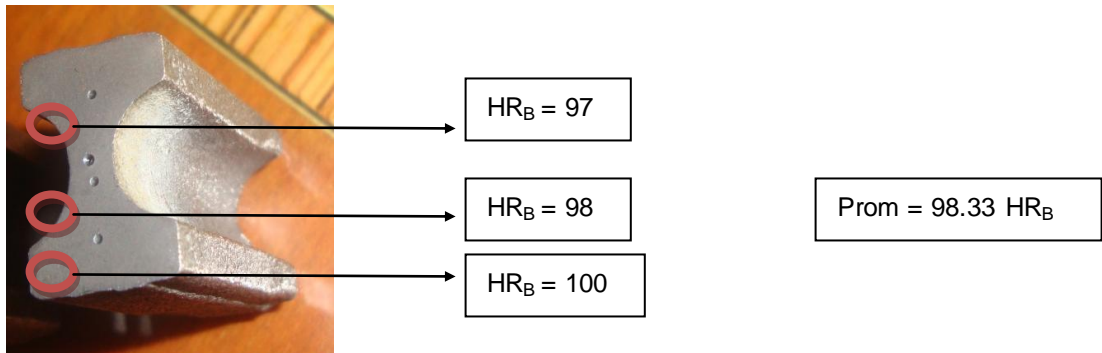


Figura 2.23 Puntos de Medición Kía Río

b. VOLKSWAGEN GOL

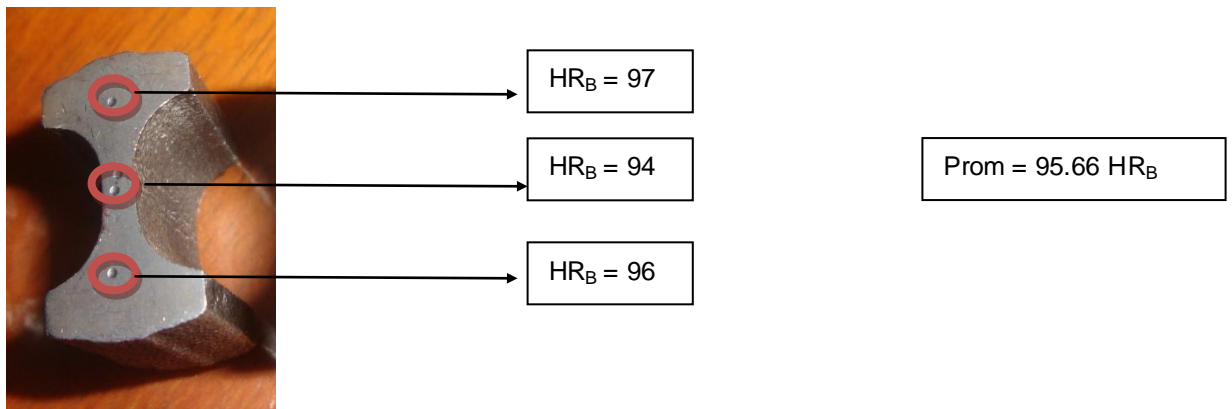


Figura 2.24 Puntos de Medición Volkswagen Gol

b. CHEVROLET CORSA

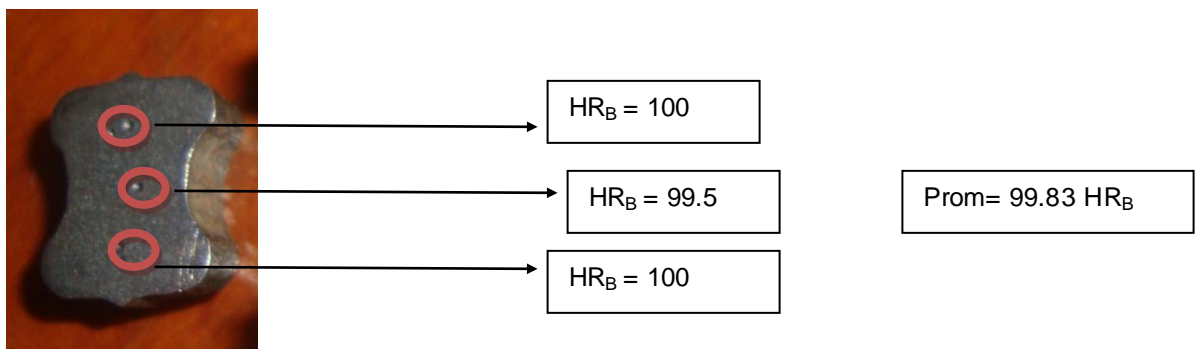


Figura 2.25 Puntos de Medición Chevrolet Corsa

2.4 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

2.4.1 ENSAYO NO DESTRUCTIVO UTILIZANDO EL PROCEDIMIENTO DE TINTAS PENETRANTES

Antes de realizar el ensayo a compresión se procedió con las bielas a ser ensayadas a un ensayo no destructivo con tintas penetrantes para ratificar que los elementos no tengan irregularidades, fisuras o porosidades.

a. PROCEDIMIENTO EL ENSAYO CON LÍQUIDOS PENETRANTES.

- Limpieza previa de la pieza.
- Secado de la pieza.
- Inspección ocular previa de la pieza.
- Aplicación del tinte penetrante.
- Esperar el tiempo determinado por el envase. (Ej.: 30 minutos)
- Remoción del exceso del penetrante.
- Aplicación del líquido revelador. Esperar el tiempo determinado por el envase.
- Inspección y Limpieza final de la pieza.



Figura 2.26 Tintas Penetrantes

b. RESULTADOS OBTENIDOS

- Se realizó el ensayo de tintas penetrantes en los cuerpos de las bielas de los vehículos en estudio, sobre los cuales se realizará el ensayo a compresión, como resultado de este ensayo no se detectaron fisuras superficiales ni porosidades. Estos resultados nos indican que los cuerpos de biela no presentan defectos superficiales apreciables de origen, que puedan haber actuado como concentradores de tensión que hayan disminuido la

capacidad de carga del mismo por debajo de las condiciones de diseño.

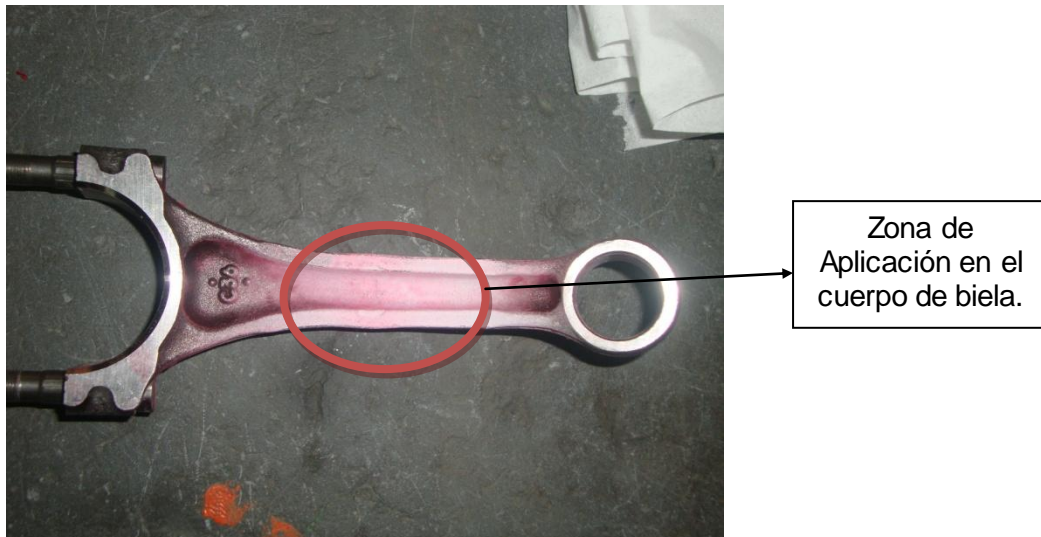


Figura 2.27 Inspección Visual

2.4.2 ENSAYO NO DESTRUCTIVO UTILIZANDO EL PROCEDIMIENTO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

a. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO CON PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

- Se genera el campo magnético mediante una bobina que produce la circulación de intensidad eléctrica sobre la pieza.
- Utilizamos la opción de corriente directa la cual es más sensible que la alterna para detectar discontinuidades no abiertas proporcionando un campo magnético más penetrante.
- Procedemos a esparcir las partículas magnéticas sobre la pieza ya sometida al campo magnético.

- Una vez esparcidas las partículas magnéticas sobre la pieza éstas se presentarían en forma lineal o circular ya sea una fisura o porosidad.



Figura 2.28 Partículas Magnéticas

c. RESULTADOS OBTENIDOS:

- Realizado el ensayo con el proceso de partículas magnéticas se pudo ratificar que no existen fisuras, porosidades o discontinuidades. Estos resultados nos indican que los cuerpos de biela no presentan defectos superficiales apreciables de origen, que puedan haber actuado como concentradores de tensión que hayan disminuido la capacidad de carga del mismo por debajo de las condiciones de diseño.



Zona Aplicada
con Partículas
Magnéticas en
el cuerpo de
biela.

Figura 2.29 Inspección Visual

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE ESFUERZOS POR ELEMENTOS FINITOS

3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

El método de los elementos finitos (MEF) ha adquirido una gran importancia en la solución de problemas de ingeniería, físicos, etc., ya que permite resolver casos bastante extensos y de gran dificultad por métodos matemáticos tradicionales.

Esta circunstancia obligaba a realizar prototipos, ensayarlos e ir realizando mejoras de forma iterativa, lo que traía consigo un elevado coste tanto económico como en tiempo de desarrollo.

Gracias a los avances informáticos hoy en día existe una gran cantidad de programas que permiten realizar cálculos con elementos finitos.

Uno de estos programas es SolidWorks que es una herramienta versátil y precisa el cual tiene capacidades de ser asociativo, variacional y paramétrico. Además utiliza un Gestor de diseño que facilita enormemente la modificación rápida de operaciones tridimensionales y de croquis de operación sin tener que rehacer los diseños ya plasmados.

Considerando dichas características hemos procedido a realizar tanto el modelado y simulación de las bielas en dicho programa.

3.2 MODELIZACIÓN EN SOLID WORKS DE LAS BIELAS.

Partiendo de las características geométricas de cada biela, procedemos al modelado de cada una, mediante la ayuda del software de diseño mecánico SolidWorks.

A diferencia de otros programas SolidWorks es una herramienta de fácil aprendizaje ya que permite croquizar rápidamente las ideas, experimentando con operaciones y dibujos detallados, centrándose en el diseño y análisis, más no simplemente en el dibujo 3D.

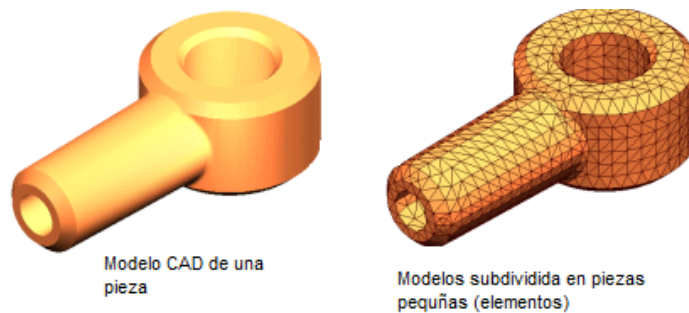


Figura 3.1 Método de elementos finitos utilizado por SolidWorks.

3.2.1. CROQUIS DE UNA BIELA.

Para comenzar a crear un croquis hacemos clic en **Croquis** de la barra de herramientas como se muestra en la siguiente gráfica.

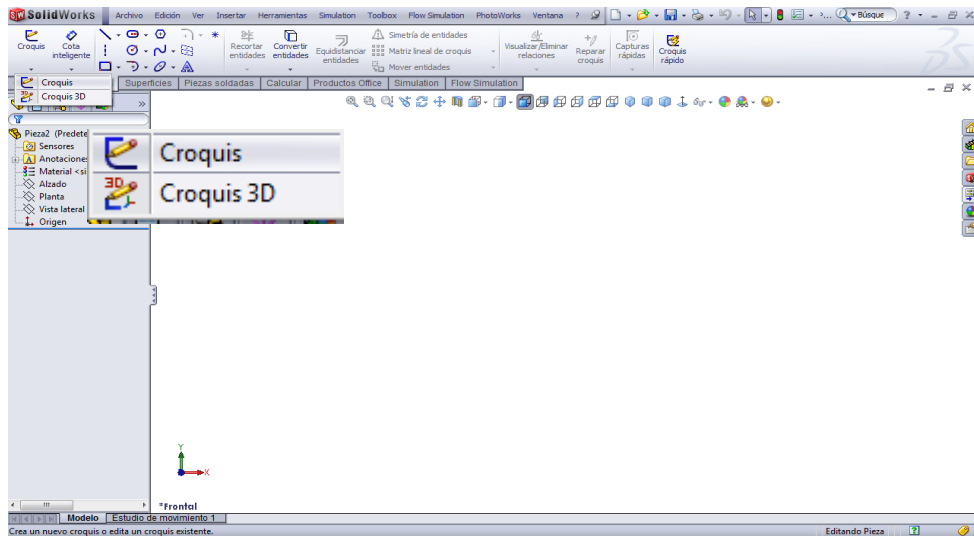


Figura 3.2 Croquis

A continuación procedemos a dibujar con el comando línea teniendo presente que solo tenemos que dibujar con una distancia aproximada, ya que luego podemos modificar dicho valor con la herramienta cota.

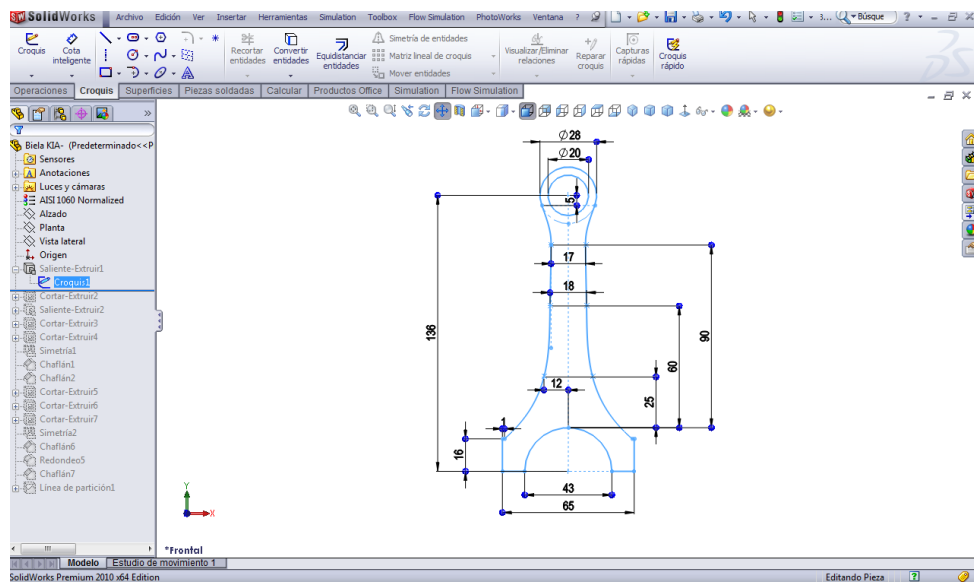


Figura 3.3 Croquis en construcción del brazo de biela

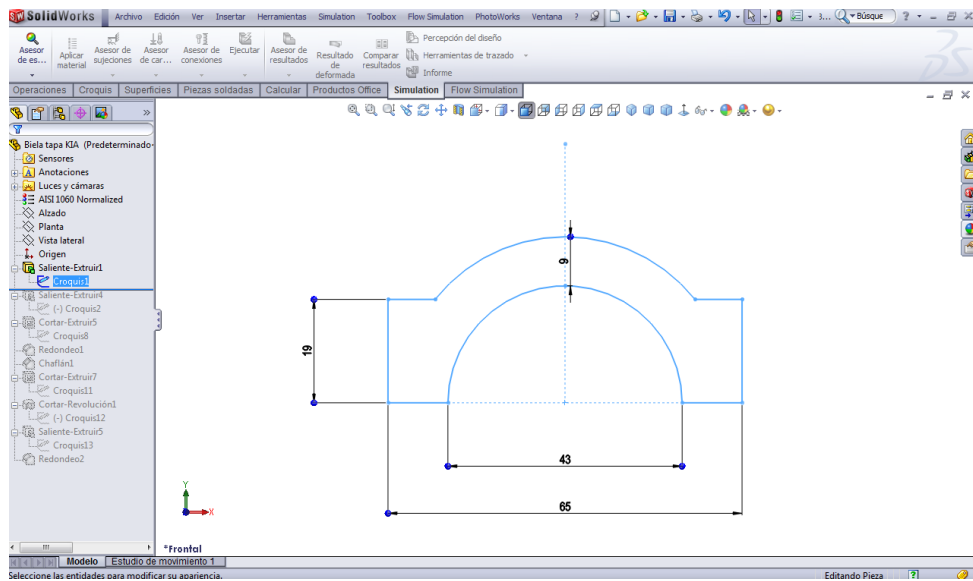


Figura 3.4 Croquis en construcción de la tapa de biela

Nótese en las figuras anteriores el avance del croquis habiéndose utilizado todas las herramientas y llegando a obtenerse un diseño geométrico con medidas de longitud reales.

Después de realizar operaciones como extrucciones, chaflanes, redondeos, etc. Obtenemos el modelado de la biela.

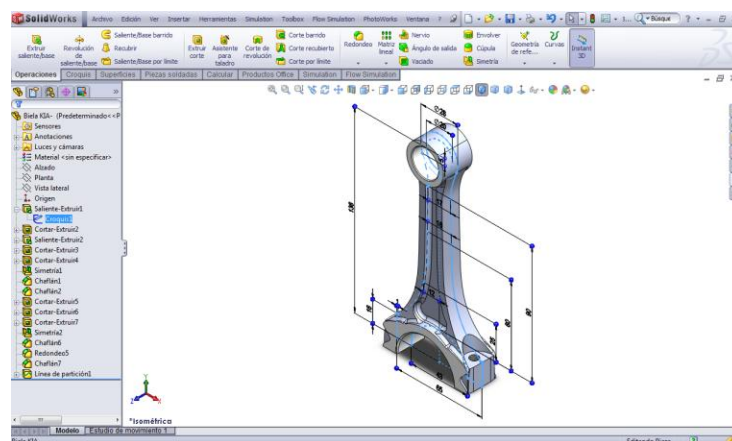


Figura 3.5 Biela terminada con sus cotas principales

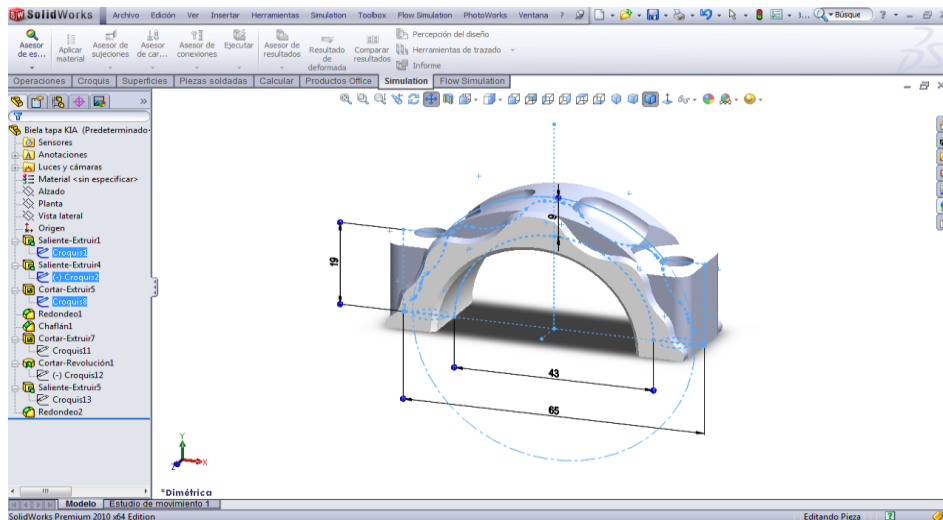


Figura 3.6 Tapa de biela terminada con sus cotas principales

Se ha procedido a realizar un estudio a cada biela tomando en cuenta un análisis por compresión y por fallo por condiciones de columna o también denominado Pandeo.

3.3 ANÁLISIS EN CADA BIELA

3.3.1 KÍA RÍO

a. Análisis a Compresión con incremento de carga

Al tener completamente modelada la biela y con ayuda del análisis metalográfico y químico se selecciona el material en este caso un acero AISI 1060, su respectivo ensamble y sus respectivos aditamentos que simulan al bulón y al muñón del cigüeñal como se realizó en el ensayo experimental.



Figura 3.7 Ensamblaje total de la biela Kía Río

Detallamos el análisis tomando en cuenta los siguientes datos:

- ESFUERZO:

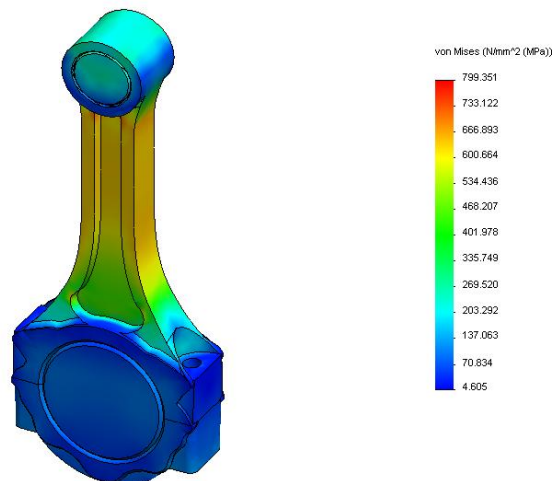


Figura 3.8 Esfuerzo de la biela sometida a su máxima carga

Se ha procedido a realizar el análisis a compresión con incrementos de carga a intervalos de 10000N y como resultado tenemos lo siguiente:

Tabla 3.1 Valores de Fuerza y Esfuerzo Kía Río

Fuerza (KN)	Esfuerzo (MPa)
10	68,77
20	137,55
30	206,33
40	275,11
50	343,89
60	412,67
70	481,45
80	550,22
90	619,01
100	687,8
116,22	799,35

▪ DESPLAZAMIENTOS:

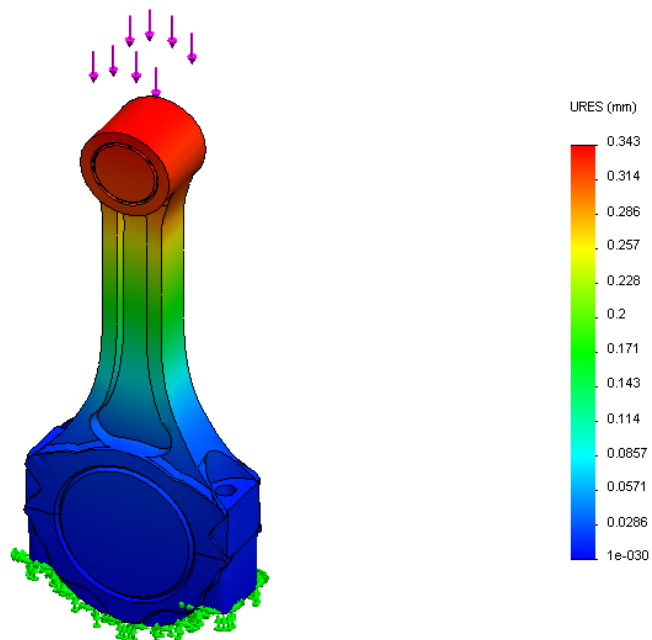


Figura 3.9 Desplazamiento de la biela sometida a su máxima carga

Tabla 3.2 Valores de Fuerza y Desplazamiento Kía Río

Fuerza (KN)	Desplazamiento (mm)
10	0,029
20	0,05
30	0,08
40	0,11
50	0,14
60	0,17
70	0,20
80	0,23
90	0,26
100	0,29
116,22	0,34

▪ FACTOR DE SEGURIDAD:

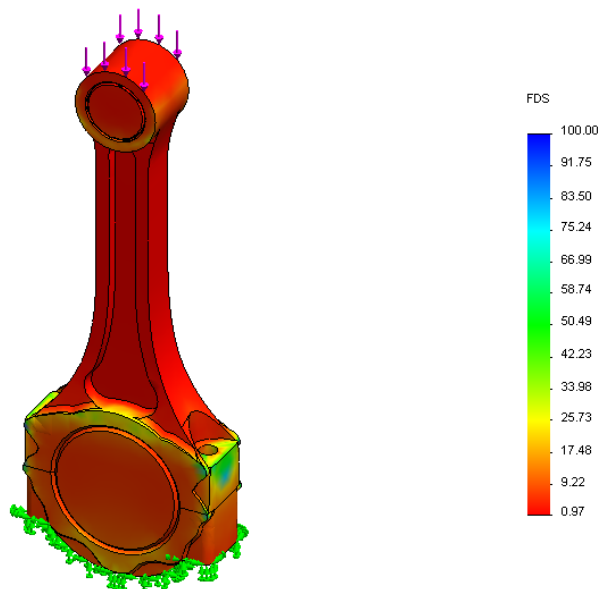


Figura 3.10 Factor de seguridad de la biela sometida a su máxima carga

Tabla 3.3 Valores de Fuerza y Factor de Seguridad Kía Río

Fuerza (KN)	Factor de Seguridad
10	11,28
20	5,64
30	3,76
40	2,82
50	2,26
60	1,88
70	1,61
80	1,41
90	1,25
100	1,13
116,22	0,97

b. Análisis como columna con incremento de carga

En este análisis cabe recalcar que no es necesario el usar los aditamentos que simulan el bulón y el muñón del cigüeñal.

Se ha procedido a realizar el análisis en condiciones de columna con incrementos de carga a intervalos de 10000N y como resultado tenemos lo siguiente:

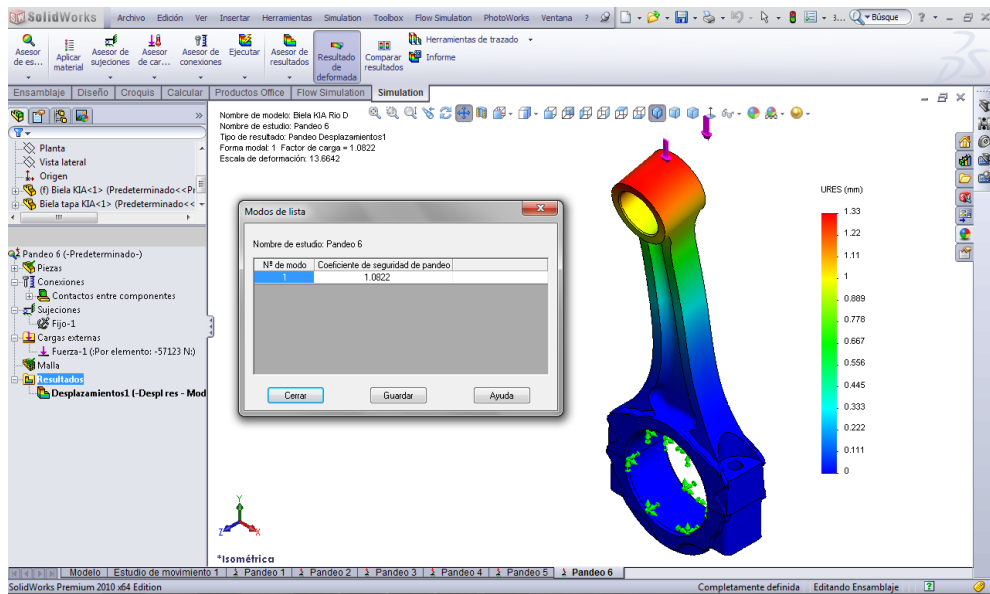


Figura 3.11 Biela en condición de columna aplicando su carga Crítica

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3.4 Valores de Fuerza y Factor de Seguridad Kía Río

Fuerza (KN)	Factor de Seguridad
10	5,56
20	3,09
30	2,06
40	1,54
50	1,23
57,268	1,07

3.3.2 VOLKSWAGEN GOL

a. Análisis a Compresión con incremento de carga

Al tener completamente modelada la biela procedemos a la selección del material en este caso un acero AISI 4140, su respectivo ensamble y sus respectivos aditamentos que simulan al bulón y al muñón del cigüeñal como se realizo en el ensayo experimental.



Figura 3.12 Ensamblaje total de la biela Volkswagen Gol

Detallamos el análisis tomando en cuenta los siguientes datos:

- ESFUERZO:

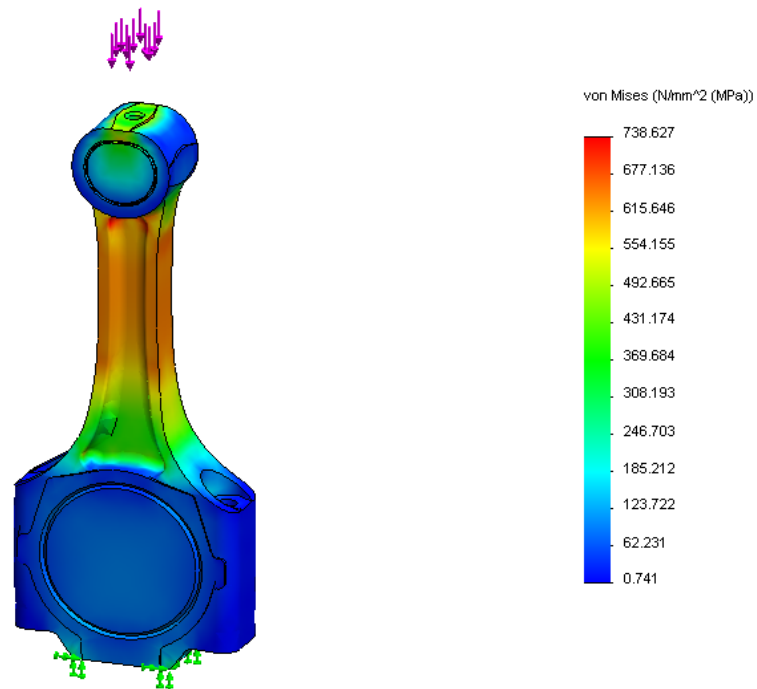


Figura 3.13 Esfuerzo de la biela sometida a su máxima carga

Se ha procedido a realizar el análisis a compresión con incrementos de carga a intervalos de 10000N y como resultado tenemos lo siguiente:

Tabla 3.5 Valores de Fuerza y Esfuerzo Volkswagen Gol

Fuerza (KN)	Esfuerzo (MPa)
10	66,52
20	133,05
30	199,58
40	266,11
50	332,64
60	399,17
70	465,7
80	532,22

90	598,75
100	665,28
111,024	738,62

▪ DESPLAZAMIENTOS:

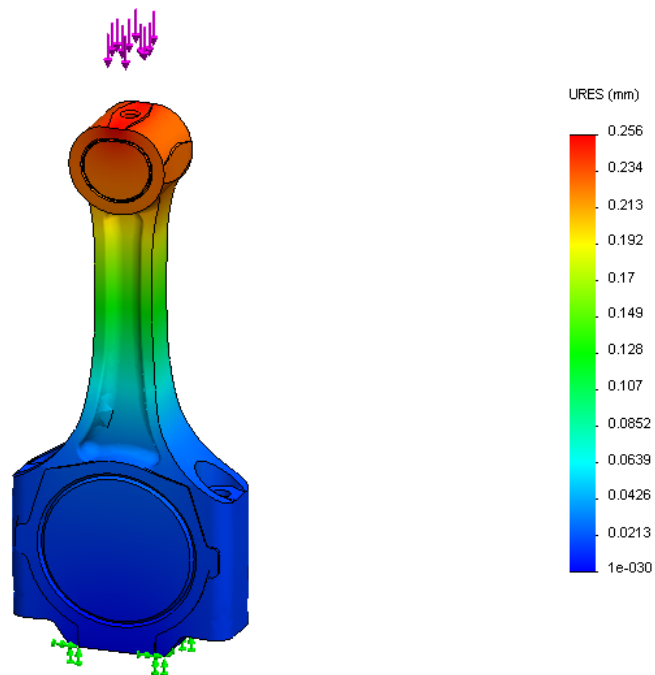


Figura 3.14 Desplazamiento de la biela sometida a su máxima carga

Tabla 3.6 Valores de Fuerza y Desplazamiento Volkswagen Gol

Fuerza (KN)	Desplazamiento (mm)
10	0,023
20	0,04
30	0,069
40	0,09
50	0,11

60	0,13
70	0,16
80	0,18
90	0,20
100	0,23
111,024	0,25

- FACTOR DE SEGURIDAD:

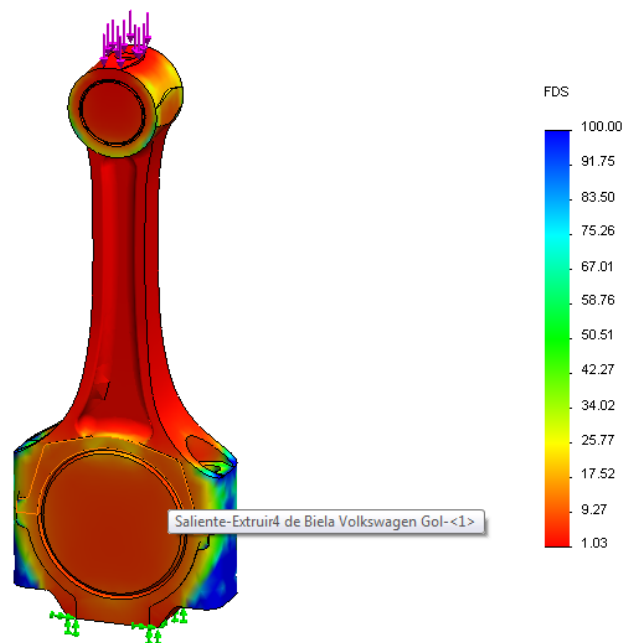


Figura 3.15 Factor de seguridad de la biela sometida a su máxima carga

Tabla 3.7 Valores de Fuerza y Factor de Seguridad Volkswagen Gol

Fuerza (KN)	Factor de Seguridad
10	11,39
20	5,70
30	3,80
40	2,85

50	2,28
60	1,90
70	1,63
80	1,42
90	1,27
100	1,14
111,024	1,03

b. Análisis como columna con incremento de carga

En este análisis cabe recalcar que no es necesario el usar los aditamentos que simulan el bulón y el muñón del cigüeñal.

Se ha procedido a realizar el análisis en condiciones de columna con incrementos de carga a intervalos de 10000N y como resultado tenemos lo siguiente:

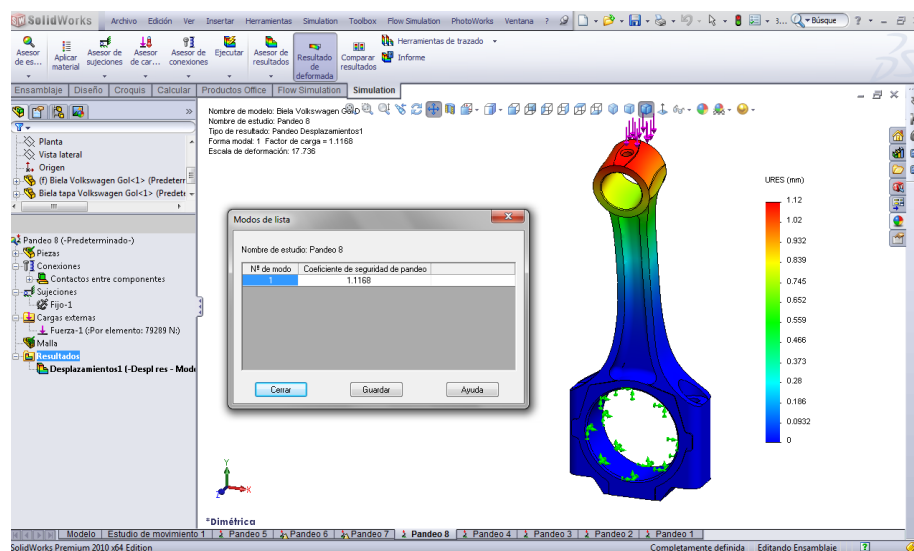


Figura 3.16 Biela en condición de columna aplicando su carga Crítica

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3.8 Valores de Fuerza y Factor de Seguridad Volkswagen Gol

Fuerza (KN)	Factor de Seguridad
10	8,85
20	4,42
30	2,95
40	2,21
50	1,77
60	1,47
70	1,26
79,289	1,1

3.3.3 CHEVROLET CORSA

a. Análisis a Compresión con incremento de carga

Al tener completamente modelada la biela procedemos a la selección del material en este caso una fundición nodular G 80-55-06, su respectivo ensamble y sus respectivos aditamentos que simulan al bulón y al muñón del cigüeñal como se realizó en el ensayo experimental.



Figura 3.17 Ensamblaje total de la biela Chevrolet Corsa

Detallamos el análisis tomando en cuenta los siguientes datos:

- ESFUERZO:

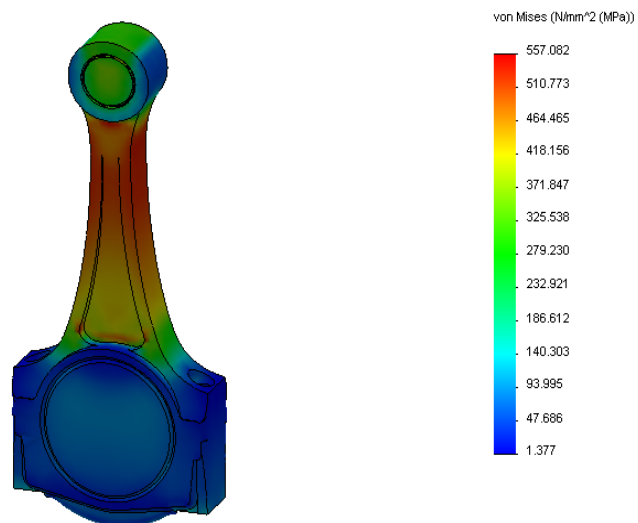


Figura 3.18 Esfuerzo de la biela sometida a su máxima carga

Se ha procedido a realizar el análisis a compresión con incrementos de

carga a intervalos de 20000N y como resultado tenemos lo siguiente:

Tabla 3.9 Valores de Fuerza y Esfuerzo Chevrolet Corsa

Fuerza (KN)	Esfuerzo (MPa)
10	56,55
20	113,11
30	169,67
40	226,22
50	282,78
60	339,33
70	395,89
80	452,45
90	509,00
98,5	557,08

▪ DESPLAZAMIENTOS:

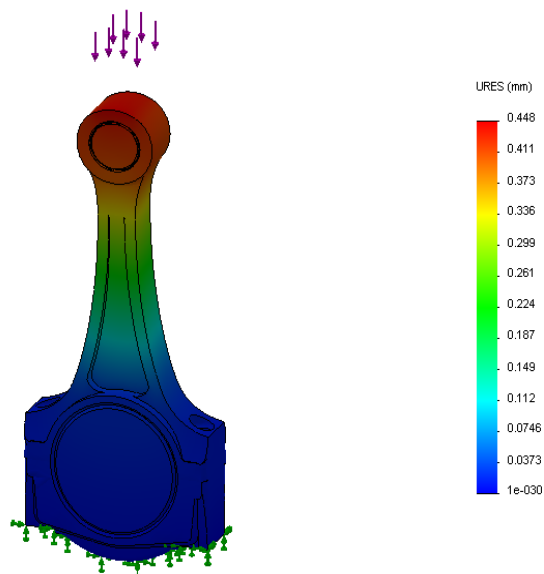


Figura 3.19 Desplazamiento de la biela sometida a su máxima carga

Tabla 3.10 Valores de Fuerza y Desplazamiento Chevrolet Corsa

Fuerza (KN)	Desplazamiento (mm)
10	0,04
20	0,09
30	0,13
40	0,18
50	0,22
60	0,27
70	0,31
80	0,36
90	0,40
98,5	0,44

▪ FACTOR DE SEGURIDAD

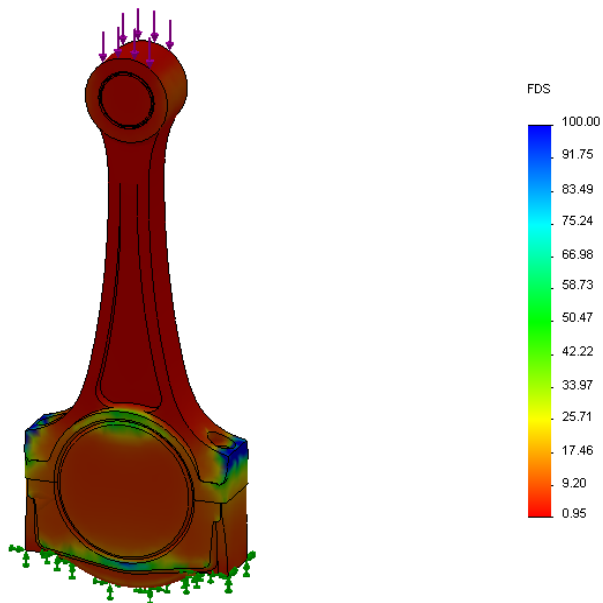


Figura 3.20 Factor de seguridad de la biela sometida a su máxima carga

Tabla 3.11 Valores de Fuerza y Factor de Seguridad Chevrolet Corsa

Fuerza (KN)	Factor de Seguridad
10	9,36
20	4,68
30	3,12
40	2,34
50	1,87
60	1,56
70	1,34
80	1,17
90	1,04
98,5	0,95

b. Análisis como columna con incremento de carga

En este análisis cabe recalcar que no es necesario el usar los aditamentos que simulan el bulón y el muñón del cigüeñal.

Se ha procedido a realizar el análisis en condiciones de columna con incrementos de carga a intervalos de 10000N y como resultado tenemos lo siguiente:

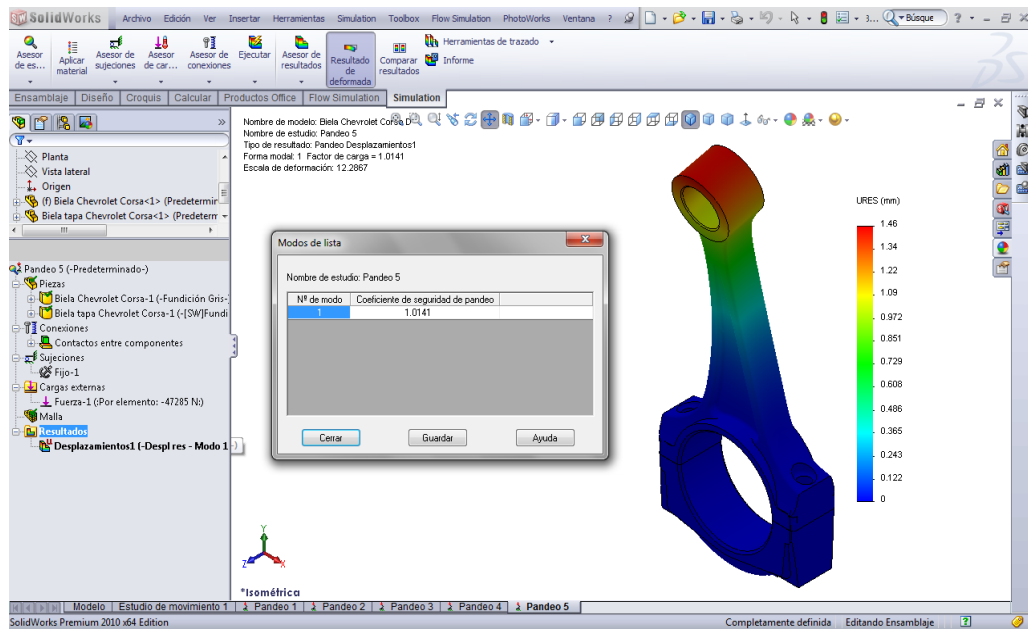


Figura 3.21 Biela en condición de columna aplicando su carga Crítica

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3.12 Valores de Fuerza y Factor de Seguridad Chevrolet Corsa

Fuerza (KN)	Factor de Seguridad
10	4,79
20	2,39
30	1,59
40	1,19
47,285	1,01

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE ESFUERZOS

4.1 FUERZA EN EL CICLO DE EXPLOSIÓN

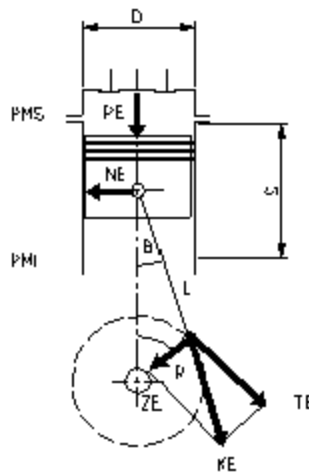


Figura 4.1 Fuerzas que actúan en el Tren Alternativo

4.1.1 KÍA RÍO

a. Datos del Automóvil

Diámetro del Pistón = 7,55 cm

Carrera = 8,34 cm

Cilindrada = 1500 cm³

Relación de compresión = 10:1(adimensional)

b. Cilindrada unitaria

$$V_h = \frac{\pi \phi^2 S}{4} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde:

V_h = Cilindrada unitaria (cm³)

ϕ = Diámetro del pistón (cm)

S = Carrera del pistón (cm)

Reemplazando los datos tenemos:

$$V_h = \frac{\pi(7.55\text{cm})^2(8.34\text{cm})}{4} = 373,378\text{cm}^3$$

c. Cilindrada total

$$V_H = 4V_h \quad \text{Ec. 4.2}$$

Donde:

V_H = Cilindrada total del vehículo (cm³)

Reemplazando los datos tenemos:

$$V_H = 4(373,378\text{cm}^3)$$

$$V_H = 1493,516\text{cm}^3$$

d. Volumen de la cámara

$$V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1} \quad \text{Ec. 4.3}$$

Donde:

V_c = Volumen de la cámara (cm^3)

ε = Relación de compresión (adimensional)

Reemplazando los datos tenemos:

$$V_c = \frac{373,378\text{cm}^3}{10-1}$$

$$V_c = 41,48\text{cm}^3$$

e. Volumen total De Los Cilindros

$$V_a = V_c + V_h$$

Ec. 4.4

Donde:

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

Reemplazando los datos tenemos:

$$V_a = 41,48\text{cm}^3 + 373,378\text{cm}^3$$

$$V_a = 414,86\text{cm}^3$$

f. ÁREA DEL PISTÓN

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

Ec. 4.5

$$A = \frac{\pi(7,55\text{cm})^2}{4}$$

$$A = 44,76\text{cm}^2$$

g. PRESIÓN DE ADMISIÓN

$$P_a = P_o - (\beta^2 + \xi) \frac{\omega_{ad}^2}{2} \rho_o \cdot 10^{-6} \quad 4 \quad \text{Ec. 4.6}$$

Donde:

P_a = Presión de admisión (MPa)

P_o = Presión inicial (Pa)

β = Coeficiente de amortiguación de la velocidad de la carga en la sección examinada del cilindro (adimensional)

ξ = El coeficiente de resistencia del sistema de admisión referida a su sección más estrecha (adimensional)

ω_{ad} = La velocidad del aire en la entrada del sistema de admisión (m/s)

ρ_o = Densidad de la carga de Admisión (kg/m³)

Siendo:

- P_o=103120 (Pa) correspondiendo el peso del aire sobre unidad de superficie a nivel del mar.
- La densidad de la carga en la admisión está determinada por

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

Donde:

To = es la temperatura inicial la cuál es 285°k. Asumida según condiciones de altura a 2785m sobre el nivel del mar.

⁴ M.S. Jójaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú.p.638

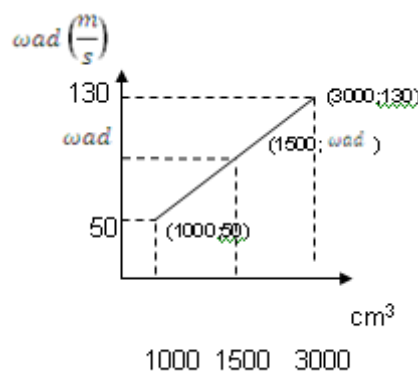
$$R = \text{constante universal de los gases} = 286,9 \frac{N.m}{Kg.^{\circ}k}$$

Reemplazando datos se tiene:

$$\rho_0 = \frac{103120 \left[\frac{N}{m^2} \right]}{286,9 \frac{N.m}{Kg.^{\circ}k} (285^{\circ}k)}$$

$$\rho_0 = 1,261 \frac{kg}{m^3}$$

- “Según datos experimentales obtenidos al investigar motores de automóviles, para la apertura completa de la válvula en el régimen nominal, la velocidad de movimiento de la carga en la sección de paso es $\omega_{ad} = 50 \dots 130 \text{ m/s}$ ⁵, determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm³ con lo cual procedemos a la realización de una Interpolación a 1500cm³ correspondiente a la cilindrada del vehículo.



Ecuación. Pendiente de una recta: $m = \frac{y-y_1}{x-x_1}$

Ec. 4.7

⁵ M.S. Jójvaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.89

Reemplazando los puntos en la Ec. 4.7 tenemos:

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

Ecuación de la Recta Punto-Pendiente: $(y - y_1) = m(x - x_1)$ **Ec. 4.8**

Reemplazando cualquiera de los puntos en la ecuación Ec. 4.8 tenemos:

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

Por tanto:

$$y = \frac{x+250}{25} \quad \text{Ec. 4.9}$$

Denominado a la cilindrada del vehículo con la variable x y al valor buscado de la velocidad del aire en la entrada del sistema de admisión ω_{ad} con la variable y .

Entonces para la cilindrada de 1500cm^3 correspondiente a la cilindrada del vehículo el valor de ω_{ad} es:

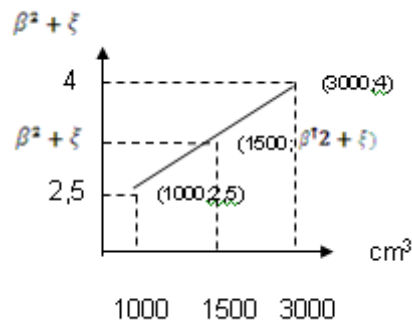
$$\omega_{ad} = \frac{1500 + 250}{25}$$

$$\omega_{ad} = 70\text{m/s}$$

- “Según datos experimentales obtenidos al investigar motores de automóviles, para la apertura completa de la válvula en el régimen nominal, la velocidad de movimiento de la carga en la sección de paso es $\beta^2 + \xi = 2,5 \dots 4$ ”⁶, determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm^3 con lo cual procedemos a la realización de una

⁶ M.S. Jójaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.89

Interpolación a 1500cm³ correspondiente a la cilindrada del vehículo.



Ecuación. Pendiente de una recta: $m = \frac{y-y_1}{x-x_1}$

Reemplazando los puntos en la Ec.4.7 tenemos:

$$m = \frac{2,5 - 4}{1000 - 3000} = \frac{3}{4000}$$

Ecuación de la Recta Punto-Pendiente: $(y - y_1) = m(x - x_1)$

Reemplazando cualquiera de los puntos en la Ec. 4.8 tenemos:

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

Por tanto:

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

Ec. 4.10

Denominado a la cilindrada del vehículo con la variable x y al valor buscado de la velocidad de movimiento de la carga en la sección de paso $\beta^2 + \xi$ con la variable y .

Por tanto para la cilindrada de 1500cm³ correspondiente a la cilindrada del vehículo el valor de $\beta^2 + \xi$ es:

$$\beta^2 + \xi = \frac{3(1500) + 7000}{4000}$$

$$\beta^2 + \xi = 2,875$$

Reemplazando todos los datos en la ecuación 4.6 se tiene:

$$P_a = 103120 \left[\frac{kg \frac{m}{s^2}}{m^2} \right] - (2,875) \frac{\left[70 \frac{m}{s} \right]^2}{2} 1,261 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot 10^{-6}$$

$$P_a = 0,103 MPa$$

h. TEMPERATURA EN ADMISIÓN

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + Y_r T_r}{1 + Y_r} \quad 7$$

Ec. 4.11

Donde:

T_a = Temperatura en el ciclo de admisión (°k)

T_o = Temperatura inicial (°k)

ΔT = Incremento de la temperatura en el proceso del calentamiento de la carga (°C)

Y_r = Coeficiente de gases residuales (adimensional)

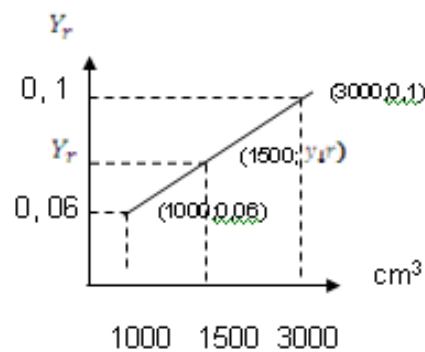
T_r = Temperatura de los gases residuales (°k)

Siendo:

- **T_o** = 285°k. Asumida según condiciones de altura 2785m sobre el nivel del mar
- **ΔT** = 15°C = 288°K

⁷ M.S. Jójvaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.638

- “En los motores a gasolina y a gas sin sobrealimentación, a plena carga $Y_r = 0,06 \dots 0,10$ ”⁸, determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm³ con lo cual procedemos a la realización de una Interpolación a 1500cm³ correspondiente a la cilindrada del vehículo.



Ecuación. Pendiente de una recta: $m = \frac{y-y_1}{x-x_1}$

Reemplazando los puntos en la Ec. 4.7 tenemos:

$$m = \frac{0,06 - 0,1}{1000 - 3000} = \frac{1}{50000}$$

Ecuación de la Recta Punto-Pendiente: $(y - y_1) = m(x - x_1)$

Reemplazando cualquiera de los puntos en la Ec. 4.8 tenemos:

$$(y - 0,1) = \frac{1}{50000}(x - 3000)$$

Por tanto:

$$y = \frac{x}{50000} + \frac{1}{25} \quad \text{Ec. 4.12}$$

Denominado a la cilindrada del vehículo con la variable x y al valor

⁸ M.S. Jójaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.91

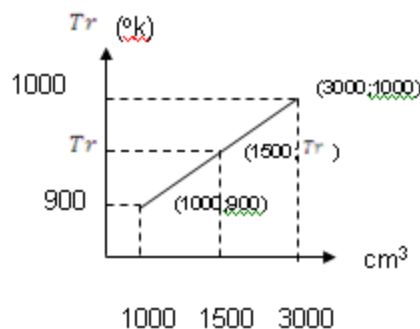
buscado del coeficiente de gases residuales Y_r con la variable y .

Por tanto para la cilindrada de 1500cm^3 correspondiente a la cilindrada del vehículo el valor de Y_r es:

$$Y_r = \frac{1500}{50000} + \frac{1}{25}$$

$$Y_r = 0,07$$

- “Al calcular el coeficiente Y_r se puede asumir que la temperatura de los gases residuales en los motores a gasolina es $Tr = 900\text{.....}1000^\circ\text{K}$ ⁹, determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm^3 con lo cual procedemos a la realización de una Interpolación a 1500cm^3 correspondiente a la cilindrada del vehículo.



Ecuación. Pendiente de una recta: $m = \frac{y-y_1}{x-x_1}$

Reemplazando los puntos en la Ec. 4.7 tenemos:

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

Ecuación de la Recta Punto-Pendiente: $(y - y_1) = m(x - x_1)$

⁹ M.S. Jójaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.91

Reemplazando cualquiera de los puntos en la Ec. 4.8 tenemos:

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

Por tanto:

$$y = \frac{x+17000}{20} \quad \text{Ec. 4.13}$$

Denominado a la cilindrada del vehículo con la variable x y al valor buscado de la temperatura de los gases residuales T_r con la variable y .

Por tanto para la cilindrada de 1500cm^3 correspondiente a la cilindrada del vehículo el valor de T_r es:

$$T_r = \frac{1500 + 17000}{20}$$

$$T_r = 925^\circ\text{K}$$

Reemplazando los datos en la Ec. 4.11 se tiene:

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + Y_r T_r}{1 + Y_r}$$

$$T_a = \frac{285 + 288 + 0.07(925)}{1 + 0.07}$$

$$T_a = 596,02^\circ\text{k}$$

i. PRESIÓN DE COMPRESIÓN

$$P_c = P_a \varepsilon^{n1} \quad 10 \quad \text{Ec. 4.14}$$

Donde:

P_c = Presión en el ciclo de compresión (MPa)

¹⁰ M.S. Jójaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.638

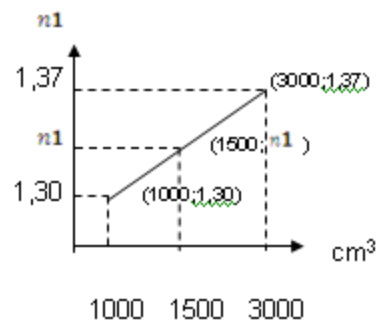
Pa = Presión en el ciclo de admisión (MPa)

n1 = Exponente politrópico medio de compresión (adimensional)

ε = Relación de compresión (adimensional)

Tenemos que:

- Exponente politrópico medio de compresión $n1 = 1,30 \dots 1,37$ ¹¹
- Interpolando del coeficiente politrópico se tiene:



Ecuación. Pendiente de una recta: $m = \frac{y-y_1}{x-x_1}$

Reemplazando los puntos en la Ec. 4.7 tenemos:

$$m = \frac{1,30 - 1,37}{1000 - 3000} = \frac{7}{200000}$$

Ecuación de la Recta Punto-Pendiente: $(y - y_1) = m(x - x_1)$

Reemplazando cualquiera de los puntos en la Ec. 4.8 tenemos:

$$(y - 1,30) = \frac{7}{200000}(x - 1000)$$

Por tanto:

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

Ec. 4.15

¹¹ M.S. Jójvaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. Tabla 11. p118

Denominado a la cilindrada del vehículo con la variable x y al valor buscado del exponente politrópico medio de compresión $n1$ con la variable y .

Por tanto para la cilindrada de 1500cm^3 correspondiente a la cilindrada del vehículo el valor de $n1$ es:

$$n1 = \frac{7(1500)}{200000} + \frac{253}{200}$$

$$n1 = 1,32$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.14 se tiene:

$$Pc = (0,103\text{MPa}) (10)^{1,32}$$

$$Pc = 2,15\text{MPa}$$

j. TEMPERATURA EN COMPRESIÓN

$$Tc = Ta\varepsilon^{n1-1} \quad 12$$

Ec. 4.16

Donde:

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

Así tenemos que:

$$Tc = (596,02^{\circ}\text{k}) (10)^{(0,32)}$$

$$Tc = 1245,26^{\circ}\text{K}$$

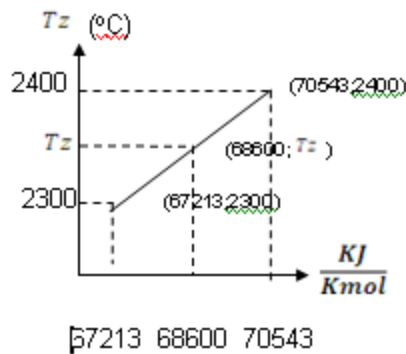
¹² M.S. Jójvaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.638

k. TEMPERATURA EN EXPLOSIÓN

T_z = Temperatura en el ciclo de la explosión (°K)

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

- “El valor buscado para la temperatura de combustión, correspondiente al valor de la energía interna se encuentra interpolando en la tabla 9 entre la gama de temperaturas $2300^\circ C < T_z < 2400^\circ C$ ”¹³



Ecuación. Pendiente de una recta: $m = \frac{y-y_1}{x-x_1}$

Reemplazando los puntos en la Ec. 4.7 tenemos:

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

Ecuación de la Recta Punto-Pendiente: $(y - y_1) = m(x - x_1)$

Reemplazando cualquiera de los puntos en la Ec. 4.8 tenemos:

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

¹³ M.S. Jójvaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.639

Por tanto:

$$y = \frac{10x+93770}{333} \quad \text{Ec. 4.17}$$

Denominado a la energía interna de los productos de combustión

($\mu_z'' = 68600 \frac{KJ}{Kmol}$) con la variable x y al valor buscado de la temperatura en el ciclo de la explosión T_z con la variable y .

Por tanto para $\mu_z'' = 68600 \frac{KJ}{Kmol}$ correspondiente tenemos una temperatura de explosión T_z de:

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

$$T_z = 2341,67^\circ C \quad (T_z = 2615^{\circ}k)$$

I. PRESIÓN EN LA EXPLOSIÓN

$$P_z = \mu_r \frac{T_z}{T_c} P_c \quad 14 \quad \text{Ec. 4.18}$$

Donde:

P_z = Presión en la explosión (MPa)

μ_r = Coeficiente real de variación molecular (adimensional)

El Coeficiente real de variación molecular esta dado por $\mu_r = \frac{\mu_o + Y_r}{1 + Y_r}$

Donde:

μ_o = es el coeficiente teórico de variación molecular.

$\mu_o = 1.08$ (Adimensional)

¹⁴ M.S. Jójvaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.640

Reemplazando valores tenemos:

$$\mu r = \frac{1,08 + 0,07}{1 + 0,07}$$

$$\mu r = 1,07 \text{ (Adimensional)}$$

Por tanto la Presión en el ciclo de explosión es:

$$P_z = 1,07 \left(\frac{2615}{1245,26} \right) (2,15)$$

$$P_z = 4,83 \text{ MPa}$$

m. FUERZA PRODUCIDA EN LA PARTE SUPERIOR DEL PISTÓN (Fe)

$$Fe = P_z \text{Área}_{\text{pistón}}$$

Ec. 4.19

En donde:

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

Reemplazando todos los datos tenemos:

$$Fe = 4830965,01 \frac{N}{m^2} (0,004476m^2)$$

$$Fe = 21623,4N$$

4.3.2 VOLKSWAGEN GOL

a. DATOS DEL AUTOMÓVIL

Diámetro del Pistón = 8,14 cm

Carrera = 8,64 cm

Cilindrada = 1800 cm³

Relación de compresión = 8,5:1 (adimensional)

b. CILINDRADA UNITARIA

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

Donde:

Vh = Cilindrada unitaria (cm³)

ϕ = Diámetro del pistón (cm)

S = Carrera del pistón (cm)

Reemplazando los datos tenemos:

$$Vh = \frac{\pi(8,14^2)(8,64)}{4} = 449,627 \text{ cm}^3$$

c. CILINDRADA TOTAL

$$VH = 4Vh$$

Donde:

VH = Cilindrada total del vehículo (cm³)

Reemplazando los datos tenemos:

$$VH = 4(449,627 \text{ cm}^3)$$

$$VH = 1798,50 \text{ cm}^3$$

d. VOLUMEN DE LA CÁMARA

$$V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1}$$

Donde:

V_c = Volumen de la cámara (cm³)

ε = *Relación de compresión* (adimensional)

Reemplazando los datos tenemos:

$$V_c = \frac{449,627}{8,5-1}$$

$$V_c = 59,950\text{cm}^3$$

e. VOLUMEN TOTAL DE LOS CILINDROS

$$V_a = V_c + V_h$$

Donde:

V_a = Volumen total de los cilindros (cm³)

Reemplazando los datos tenemos:

$$V_a = 59,950\text{cm}^3 + 449,627\text{cm}^3$$

$$V_a = 509,577\text{cm}^3$$

f. ÁREA DEL PISTÓN

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

$$A = \frac{\pi (8,14\text{cm})^2}{4}$$

$$A = 52,04\text{cm}^2$$

g. PRESIÓN DE ADMISIÓN

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

Donde:

P_a = Presión de admisión (MPa)

P_o = Presión inicial (Pa)

β = Coeficiente de amortiguación de la velocidad de la carga en la sección examinada del cilindro (adimensional)

ξ = El coeficiente de resistencia del sistema de admisión referida a su sección más estrecha (adimensional)

$\omega a d$ = la velocidad del aire en la entrada del sistema de admisión (m/s)

ρ_o = Densidad de la carga de Admisión (kg/m³)

Siendo:

- $P_o=103120$ (Pa) correspondiendo el peso del aire sobre unidad de superficie a nivel del mar.
- La densidad de la carga en la admisión está determinada por

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

Donde:

T_o = es la temperatura inicial la cuál es 285°k. Asumida según condiciones de altura a 2785m sobre el nivel del mar.

R = constante universal de los gases = 286,9 $\frac{N.m}{Kg.^{\circ}k}$

Reemplazando datos se tiene:

$$\rho_o = \frac{103120 \left[\frac{N}{m^2} \right]}{286,9 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ k} (285^\circ k)}$$

$$\rho_o = 1,261 \frac{kg}{m^3}$$

- “Según datos experimentales obtenidos al investigar motores de automóviles, para la apertura completa de la válvula en el régimen nominal, la velocidad de movimiento de la carga en la sección de paso es $\omega_{ad} = 50 \dots 130 \text{ m/s}$ ”¹⁵, determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm³ con lo cual procedemos a la sustitución del valor de la cilindrada de 1800cm³ en la función ya determinada mediante la interpolación realizada cuya ecuación corresponde a la Ec.4.9

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

Denominado a la cilindrada del vehículo con la variable x y al valor buscado de la velocidad del aire en la entrada del sistema de admisión ω_{ad} con la variable y .

$$\omega_{ad} = \frac{1800 + 250}{25}$$

$$\omega_{ad} = 82 \text{ m/s}$$

- “Según datos experimentales obtenidos al investigar motores de automóviles, para la apertura completa de la válvula en el régimen nominal, la velocidad de movimiento de la carga en la sección de paso es $\beta^2 + \xi = 2,5 \dots 4$ ”¹⁶, determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm³ con lo cual procedemos a la sustitución del valor

¹⁵ M.S. Jójaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.89

¹⁶ M.S. Jójaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.89

de la cilindrada de 1800cm³ en la función ya determinada mediante la interpolación realizada cuya ecuación corresponde a la Ec.4.10

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

Denominado a la cilindrada del vehículo con la variable x y al valor buscado de la velocidad de movimiento de la carga en la sección de paso $\beta^2 + \xi$ con la variable y .

$$\beta^2 + \xi = \frac{3(1800) + 7000}{4000}$$

$$\beta^2 + \xi = 3,1$$

Reemplazando todos los datos en la ecuación 4,6 se tiene:

$$Pa = 103120 \left[\frac{kg \frac{m}{s^2}}{m^2} \right] - (3,1) \frac{\left[\frac{82 \frac{m}{s}}{s} \right]^2}{2} 1,261 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot 10^{-6}$$

$$Pa = 0,103 \text{MPa}$$

h. TEMPERATURA EN ADMISIÓN

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

Donde:

T_a = Temperatura en el ciclo de admisión (°k)

T_o = Temperatura Inicial (°k)

ΔT = Incremento de la temperatura en el proceso del calentamiento de la carga (°C)

Y_r = Coeficiente de gases residuales (adimensional)

T_r = Temperatura de los gases residuales (°k)

Siendo:

- $T_o = 285^{\circ}K$. Asumida según condiciones de altura 2785m sobre el nivel del mar
- $\Delta T = 15^{\circ}C = 288^{\circ}K$
- “En los motores a gasolina y a gas sin sobrealimentación, a plena carga $Y_r = 0,06\dots\dots 0,10$ ”¹⁷, determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm^3 con lo cual procedemos a la sustitución del valor de la cilindrada de 1800 cm^3 en la función ya determinada mediante la interpolación realizada cuya ecuación corresponde a la Ec.4.12

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

Denominado a la cilindrada del vehículo con la variable x y al valor buscado del coeficiente de gases residuales Y_r con la variable y .

$$Y_r = \frac{1800}{50000} + \frac{1}{25}$$

$$Y_r = 0,076$$

- “Al calcular el coeficiente Y_r se puede asumir que la temperatura de los gases residuales en los motores a gasolina es $T_r = 900\dots\dots 1000^{\circ}K$ ”¹⁸, determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm^3 con lo cual procedemos a la sustitución del valor de la cilindrada de 1800 cm^3 en la función ya determinada mediante la interpolación realizada cuya ecuación corresponde a la Ec.4.13

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

Denominado a la cilindrada del vehículo con la variable x y al valor buscado de la temperatura de los gases residuales T_r con la variable y

¹⁷ M.S. Jójvaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.91

¹⁸ M.S. Jójvaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.91

$$Tr = \frac{1800 + 17000}{20}$$

$$Tr = 940^{\circ}K$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.11 se tiene:

$$Ta = \frac{To + \Delta T + Y_r Tr}{1 + Y_r}$$

$$Ta = \frac{285 + 288 + 0,076(940)}{1 + 0,07}$$

$$Ta = 602,28 \text{ }^{\circ}K$$

i. PRESIÓN DE COMPRESIÓN

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

En donde:

Pc = Presión en el ciclo de compresión (MPa)

Pa = Presión en el ciclo de admisión (MPa)

$n1$ = Exponente politrópico medio de compresión (adimensional)

ϵ = relación de compresión (adimensional)

Tenemos que:

- Exponente politrópico medio de compresión $n1 = 1,30 \dots 1,37$ ¹⁹, sustituyendo el valor de la cilindrada de 1800 cm^3 en la función ya determinada mediante la interpolación realizada cuya ecuación corresponde a la Ec. 4.15

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

¹⁹ M.S. Jójaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. Tabla 11. p118

Denominado a la cilindrada del vehículo con la variable x y al valor buscado del exponente politrópico medio de compresión $n1$ con la variable y .

$$n1 = \frac{7(1800)}{200000} + \frac{253}{200}$$

$$n1 = 1,33$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.8 se tiene:

$$P_c = (0,103\text{MPa}) (8,5)^{1,33}$$

$$P_c = 1,77 \text{ MPa}$$

j. TEMPERATURA EN COMPRESIÓN

$$T_c = T_a \varepsilon^{n1-1}$$

En donde:

$$T_c = \text{Temperatura en el ciclo de la compresión (°K)}$$

Así tenemos que:

$$T_c = (602,28^\circ\text{K}) (8,5)^{(0,33)}$$

$$T_c = 1220,41^\circ\text{K}$$

k. TEMPERATURA EN EXPLOSIÓN

$T_z =$ Temperatura en el ciclo de la explosión (°K)

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

- “El valor buscado para la temperatura de combustión, correspondiente al valor de la energía interna entre la gama de

temperaturas $2300^{\circ}\text{C} < T_z < 2400^{\circ}\text{C}$ ²⁰. por tanto como la energía interna en los tres automóviles es la misma, la temperatura de explosión es:

$$T_z = 2341,67^{\circ}\text{C} \quad (T_z = 2615^{\circ}\text{k})$$

I. PRESIÓN EN LA EXPLOSIÓN

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

Donde:

P_z = Presión en la explosión (MPa)

μ_r = Coeficiente real de variación molecular (adimensional)

El Coeficiente real de variación molecular esta dado por $\mu_r = \frac{\mu_o + \gamma_r}{1 + \gamma_r}$

Donde:

μ_o = es el coeficiente teórico de variación molecular.

$\mu_o = 1,08$ (Adimensional)

Reemplazando valores tenemos:

$$\mu_r = \frac{1,08 + 0,076}{1 + 0,076}$$

$\mu_r = 1,074$ (adimensional)

Por tanto la Presión en el ciclo de explosión es:

$$P_z = 1,074 \left(\frac{2615}{1220,41} \right) (1,64)$$

$P_z = 3,77$ MPa

²⁰ M.S. Jójvaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.639

**m. FUERZA PRODUCIDA EN LA PARTE SUPERIOR DEL PISTÓN
(Fe)**

$$Fe = PzÁrea_{pistón}$$

Donde:

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

Reemplazando todos los datos tenemos:

$$Fe = 3774105,75 \frac{N}{m^2} (0,005204m^2)$$

$$Fe = 19640,45 \text{ N}$$

4.3.3 CHEVROLET CORSA

a. DATOS DEL AUTOMÓVIL

Diámetro del pistón = 8,05 cm

Carrera = 8,82 cm

Cilindrada = 1800 cm³

Relación de compresión = 9,5:1

b. CILINDRADA UNITARIA

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

Donde:

Vh = Cilindrada unitaria (cm³)

ϕ = Diámetro del pistón (cm)

S = Carrera del pistón (cm)

Reemplazando los datos tenemos:

$$Vh = \frac{\pi(8,05^2)(8,82)}{4} = 448,88\text{cm}^3$$

c. CILINDRADA TOTAL

$$VH = 4Vh$$

Donde:

VH = Cilindrada total del vehículo (cm³)

Reemplazando los datos tenemos:

$$VH = 4(448,88\text{cm}^3)$$

$$VH = 1795,52\text{cm}^3$$

d. VOLUMEN DE LA CÁMARA

$$V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1}$$

Donde:

$$V_c = \text{Volumen de la cámara (cm}^3\text{)}$$

$$\varepsilon = \text{Relación de compresión (adimensional)}$$

Reemplazando los datos tenemos:

$$V_c = \frac{448.88}{9,5-1}$$

$$V_c = 52,80\text{cm}^3$$

e. VOLUMEN TOTAL DE LOS CILINDROS

$$V_a = V_c + V_h$$

Donde:

$$V_a = 52,80\text{cm}^3 + 448,88\text{cm}^3$$

$$V_a = 501,68\text{cm}^3$$

f. ÁREA DEL PISTÓN

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

$$A = \frac{\pi(8,05\text{cm})^2}{4}$$

$$A = 50,9\text{cm}^2$$

g. PRESIÓN DE ADMISIÓN

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

Donde:

P_a = Presión de Admisión (MPa)

P_o = Presión Inicial (Pa)

β = Coeficiente de amortiguación de la velocidad de la carga en la sección examinada del cilindro (adimensional)

ξ = El coeficiente de resistencia del sistema de admisión referida a su sección más estrecha (adimensional)

ω_{ad} = la velocidad del aire en la entrada del sistema de admisión (m/s)

ρ_o = Densidad de la carga de Admisión (kg/m³)

Siendo:

- $P_o=103120$ (Pa) correspondiendo el peso del aire sobre unidad de superficie a nivel del mar.

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

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

Donde:

T_o = es la temperatura inicial la cuál es 285°k. Asumida según condiciones de altura a 2785m sobre el nivel del mar.

R = constante universal de los gases = 286,9 $\frac{N.m}{Kg.^{\circ}k}$

Reemplazando datos se tiene:

$$\rho_o = \frac{103120 \left[\frac{N}{m^2} \right]}{286,9 \frac{N.m}{Kg.^{\circ}k} (285^{\circ}k)}$$

$$\rho_o = 1,261 \frac{kg}{m^3}$$

- “Según datos experimentales obtenidos al investigar motores de automóviles, para la apertura completa de la válvula en el régimen

nominal, la velocidad de movimiento de la carga en la sección de paso es $\omega_{ad} = 50 \dots 130 \text{ m/s}$ ²¹, determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm³ con lo cual procedemos a la sustitución del valor de la cilindrada de 1800cm³ en la función ya determinada mediante la interpolación realizada cuya ecuación corresponde a la Ec.4.9

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

Denominado a la cilindrada del vehículo con la variable x y al valor buscado de la velocidad del aire en la entrada del sistema de admisión ω_{ad} con la variable y .

$$\omega_{ad} = \frac{1800 + 250}{25}$$

$$\omega_{ad} = 82 \text{ m/s}$$

- “Según datos experimentales obtenidos al investigar motores de automóviles, para la apertura completa de la válvula en el régimen nominal, la velocidad de movimiento de la carga en la sección de paso es $\beta^2 + \xi = 2,5 \dots 4$ ”²², determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm³ con lo cual procedemos a la sustitución del valor de la cilindrada de 1800cm³ en la función ya determinada mediante la interpolación realizada cuya ecuación corresponde a la Ec.4.10

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

Denominado a la cilindrada del vehículo con la variable x y al valor buscado de la velocidad de movimiento de la carga en la sección de paso $\beta^2 + \xi$ con la variable y .

$$\beta^2 + \xi = \frac{3(1800) + 7000}{4000}$$

²¹ M.S. Jójaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.89

²² M.S. Jójaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.89

$$\beta^2 + \xi = 3,1$$

Reemplazando todos los datos en la ecuación 4,6 se tiene:

$$P_a = 103120 \left[\frac{kg \frac{m}{s^2}}{m^2} \right] \cdot (3,1) \frac{\left[\frac{82 \frac{m}{s}}{s} \right]^2}{2} \cdot 1,261 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot 10^{-6}$$

$$P_a = 0,103 \text{MPa}$$

h. TEMPERATURA EN ADMISIÓN

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

Donde:

T_a = Temperatura en el ciclo de admisión (°k)

T_o = Temperatura Inicial (°k)

ΔT = Incremento de la temperatura en el proceso del calentamiento de la carga (°C)

Y_r = Coeficiente de gases residuales (adimensional)

T_r = Temperatura de los gases residuales (°k)

Reemplazando valores tenemos:

- $T_o = 285^\circ K$. Asumida según condiciones de altura 2785m sobre el nivel del mar
- $\Delta T = 15^\circ C = 288^\circ K$
- “En los motores a gasolina y a gas sin sobrealimentación, a plena carga $Y_r = 0,06 \dots 0,10$ ”²³, determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm³ con lo cual procedemos a la sustitución del valor de la cilindrada de 1800cm³ en la función ya determinada mediante la interpolación realizada cuya ecuación corresponde a la Ec.4.12

²³ M.S. Jójvaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.91

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

Denominado a la cilindrada del vehículo con la variable x y al valor buscado del coeficiente de gases residuales Y_r con la variable y .

$$Y_r = \frac{1800}{50000} + \frac{1}{25}$$

$$Y_r = 0,076$$

- “Al calcular el coeficiente Y_r se puede asumir que la temperatura de los gases residuales en los motores a gasolina es $T_r = 900.....1000^\circ K$ ”²⁴, determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm^3 con lo cual procedemos a la sustitución del valor de la cilindrada de 1800 cm^3 en la función ya determinada mediante la interpolación realizada cuya ecuación corresponde a la Ec.4.13

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

Denominado a la cilindrada del vehículo con la variable x y al valor buscado de la temperatura de los gases residuales T_r con la variable y

$$T_r = \frac{1800 + 17000}{20}$$

$$T_r = 940^\circ K$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.7 se tiene:

²⁴ M.S. Jójvaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.91

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

$$T_a = \frac{285 + 288 + 0,076(940)}{1 + 0,076}$$

$$T_a = 598,92^\circ\text{K}$$

i. PRESIÓN DE COMPRESIÓN

$$P_c = P_a \varepsilon^{n1}$$

Donde:

P_c = Presión en el ciclo de compresión (MPa)

P_a = Presión en el ciclo de admisión (MPa)

$n1$ = Exponente politrópico medio de compresión (adimensional)

ε = relación de compresión (adimensional)

Tenemos que:

- Exponente politrópico medio de compresión $n1 = 1,30 \dots 1,37^{25}$, sustituyendo el valor de la cilindrada de 1800cm^3 en la función ya determinada mediante la interpolación realizada cuya ecuación corresponde a la Ec.4.15

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

Denominado a la cilindrada del vehículo con la variable x y al valor buscado del exponente politrópico medio de compresión $n1$ con la variable y .

$$n1 = \frac{7(1800)}{200000} + \frac{253}{200}$$

²⁵ M.S. Jójvaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. Tabla 11. p118

$$n_1 = 1,33$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.8 se tiene:

$$P_c = (0,103 \text{MPa}) (9,5)^{1,33}$$

$$P_c = 2,06 \text{MPa}$$

j. TEMPERATURA EN COMPRESIÓN

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1 - 1}$$

Donde:

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

Así tenemos que:

$$T_c = (598,92^\circ\text{k}) (9,5)^{(0,33)}$$

$$T_c = 1258,97^\circ\text{K}$$

k. TEMPERATURA EN EXPLOSIÓN

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

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

- “El valor buscado para la temperatura de combustión, correspondiente al valor de la energía interna entre la gama de temperaturas $2300^\circ\text{C} < T_z < 2400^\circ\text{C}$ ”²⁶. por tanto como la energía interna en los tres automóviles es la misma, la temperatura de explosión es:

$$T_z = 2341,67^\circ\text{C} \quad (T_z = 2615^\circ\text{k})$$

l. PRESIÓN EN LA EXPLOSIÓN

$$P_z = \mu r \frac{T_z}{T_c} P_c$$

²⁶ M.S. Jójvaj. Motores de Automóvil. Editorial MIR. Moscú. p.639

Donde:

P_z = Presión en la explosión (MPa)

μ_r = Coeficiente real de variación molecular (adimensional)

El Coeficiente real de variación molecular esta dado por $\mu_r = \frac{\mu_o + \gamma_r}{1 + \gamma_r}$

Donde:

μ_o = es el coeficiente teórico de variación molecular.

$\mu_o = 1,08$ (Adimensional)

Reemplazando valores tenemos:

$$\mu_r = \frac{1,08 + 0,076}{1 + 0,076}$$

$\mu_r = 1,074$ (adimensional)

Por tanto la Presión en el ciclo de explosión es:

$$P_z = 1,074 \left(\frac{2615}{1258,97} \right) (2,06)$$

$P_z = 4,59$ MPa

m. FUERZA PRODUCIDA EN LA PARTE SUPERIOR DEL PISTÓN (Fe)

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

Donde:

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

Reemplazando todos los datos tenemos:

$$F_e = 4595447,55 \frac{N}{m^2} (0,00509 m^2)$$

$F_e = 23390,83$ N

4.2 ANÁLISIS EN CONDICIONES DE COLUMNA

4.2.1 KÍA RÍO

a. Datos:

- Acero AISI 1060, obtenido del análisis metalográfico.
- Modulo de Elasticidad $E = 207 \text{ GPa}^{27}$
- Resistencia ultima a la tensión $S_y = 421 \text{ MPa}^{28}$
- Área de la sección transversal = $1,51 \text{ cm}^2$
- $L = 13,6 \text{ cm}$ (Longitud Real de la Columna)
- Constante para el cálculo de la columna efectiva atornillada $K=1^{29}$

b. Sección Transversal:

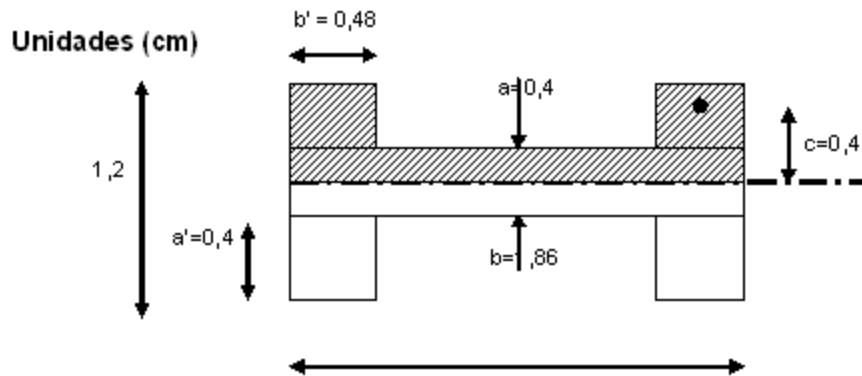


Figura 4.2 Sección Transversal Biela Kía Ríó

²⁷ Robert L Mott. Diseño de Elementos de Máquinas. Segunda Edición. Nota. Apéndice 3

²⁸ Joseph E Shigley. Diseño en Ingeniería Mecánica. Quinta Edición. Apéndice A. Tabla A-21. p. 1021

²⁹ Robert L Mott. Diseño de Elementos de Máquinas. Segunda Edición. Columnas. p. 178

c. Cálculo de la Inercia:

Teorema De Steiner

$$I = \left[\frac{1}{12} (b)(a)^3 \right] + 4 \left[\frac{1}{12} (b')(a')^3 + (b')(a')(c)^2 \right] \quad \text{Ec. 4.12}$$

En donde:

- I = Inercia (cm^4)
- b = base del rectángulo (cm)
- a = altura del rectángulo (cm)
- b' = base del rectángulo de menor tamaño (cm)
- a' = altura del rectángulo de menor tamaño (cm)
- c = Distancia del eje neutro hacia el centro de gravedad (cm)

Reemplazando los datos tenemos:

$$I = \left[\frac{1}{12} (1,86)(0,4)^3 \right] + 4 \left[\frac{1}{12} (0,48)(0,4)^3 + (0,48)(0,4)(0,4)^2 \right]$$

$$I = 0,143 \text{ cm}^4$$

d. Cálculo del Radio de Giro:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{Ec. 4.13}$$

En donde:

- r = radio de giro (cm)
- I = Inercia (cm^4)
- A = Área de la sección transversal (cm^2)

Reemplazando los datos tenemos:

$$r = \sqrt{\frac{0,143 \text{ cm}^4}{1,51 \text{ cm}^2}}$$

$$r = 0,31 \text{ cm}$$

e. Longitud Efectiva de Columna

$$Le = KL \quad \text{Ec. 4.14}$$

- Le = Longitud efectiva de la Columna

Reemplazando los datos tenemos:

$$Le = (1)(13,6\text{cm})$$

$$Le = 13,6 \text{ cm}$$

f. Constante de la Columna

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 \epsilon}{S_y}} \quad \text{Ec. 4.15}$$

- Cc = Constante de la Columna (adimensional)

Reemplazando los datos tenemos:

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2(207 \times 10^9)Pa}{421 \times 10^6 Pa}}$$

$$Cc = 98,51$$

g. Analizamos si es columna larga o corta

$$\text{Si } \frac{KL}{r} > Cc \text{ : Columna Larga : Utilizamos la Ecuación de Euler.} \quad \text{Ec. 4.16}$$

$$\text{Si } \frac{KL}{r} < Cc \text{ : Columna Corta : Utilizamos la Ecuación de J. B. Johnson.}$$

$$\frac{13,6}{0,31} < 98,51$$

$$43,87 < 98,51 \text{ : Columna Corta}$$

: Utilizamos la Ecuación de J. B. Johnson.

h. Ecuación de J. B. Johnson.

$$P_{cr} = AS_y \left[1 - \frac{S_y \left(\frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad \text{Ec. 4.17}$$

- P_{cr} = Carga Crítica (N)

Reemplazando los datos tenemos:

$$P_{cr} = (0,000151 \text{ m}^2) \left(421 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) \left[1 - \frac{\left(421 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) (43,87)^2}{4\pi^2 \left(207 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)} \right]$$

$$P_{cr} = 57268,01 \text{ N}$$

4.2.2 VOLKSWAGEN GOL

a. Datos:

- Acero AISI 4140, obtenido del análisis metalográfico.
- Modulo de Elasticidad $E = 200 \text{ GPa}$ ³⁰
- Resistencia última a la tensión $S_y = 655 \text{ MPa}$ ³¹
- Área de la sección transversal = $1,46 \text{ cm}^2$
- $L = 14,5 \text{ cm}$ (Longitud Real de la Columna)
- Constante para el cálculo de la columna efectiva atornillada $K=1$ ³²

b. Sección Transversal de la Columna:

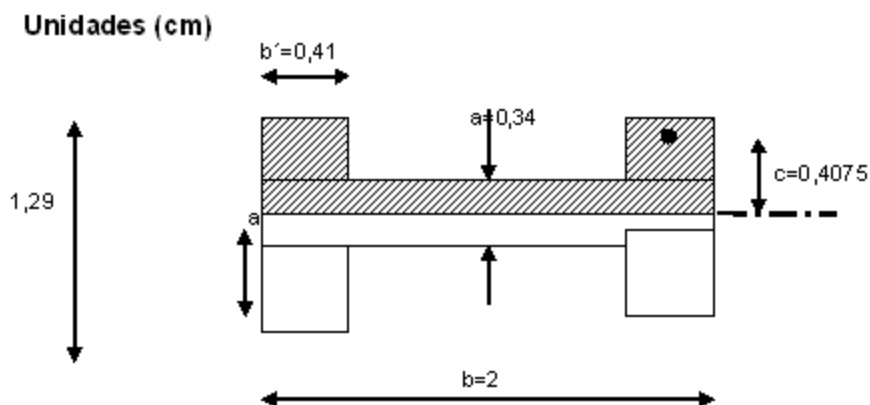


Figura 4.3 Sección Transversal Biela Volkswagen Gol

c. Cálculo de la Inercia:

Teorema de Steiner

$$I = \left[\frac{1}{12} (b)(a)^3 \right] + 4 \left[\frac{1}{12} (b')(a')^3 + (b')(a')(c)^2 \right]$$

En donde:

- $I =$ Inercia (cm^4)
- $b=$ base del rectángulo (cm)
- $a=$ altura del rectángulo (cm)

³⁰ Joseph E Shigley. Diseño en Ingeniería Mecánica. Quinta Edición. Apendice A. Tabla A-23

³¹ Joseph E Shigley. Diseño en Ingeniería Mecánica. Quinta Edición. Apendice A. Tabla A-21

³² Robert L Mott. Diseño de Elementos de Máquinas. Segunda Edición. Columnas. p.178

- b' =base del rectángulo de menor tamaño (cm)
- a' =altura del rectángulo de menor tamaño (cm)
- c = Distancia del eje neutro hacia el centro de gravedad (cm)

Reemplazando los datos tenemos:

$$I = \left[\frac{1}{12} (2)(0,34)^3 \right] + 4 \left[\frac{1}{12} (0,41)(0,475)^3 + (0,41)(0,475)(0,4075)^2 \right]$$

$$I = 0,15 \text{ cm}^4$$

d. Cálculo del Radio de Giro:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

En donde:

- r = radio de giro (cm)
- I = Inercia (cm^3)
- A = Área de la sección transversal (cm^2)

Reemplazando los datos tenemos:

$$r = \sqrt{\frac{0,15 \text{ cm}^4}{1,46 \text{ cm}^2}}$$

$$r = 0,32 \text{ cm}$$

e. Longitud efectiva de la columna

$$L_e = KL$$

- L_e = Longitud efectiva de la Columna

Reemplazando los datos tenemos:

$$L_e = (1)(14,5 \text{ cm})$$

$$L_e = 14,5 \text{ cm}$$

f. Constante de la Columna

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

- C_c = Constante de la Columna (adimensional)

Reemplazando los datos tenemos:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2(200 \times 10^9)Pa}{655 \times 10^6 Pa}}$$

$$C_c = 77,63$$

g. Analizamos si es columna larga o corta

Si $\frac{KL}{r} > C_c$ ∴ *Columna Larga* ∴ Utilizamos la Ecuación de Euler.

Si $\frac{KL}{r} < C_c$ ∴ *Columna Corta* ∴ Utilizamos la Ecuación de J. B. Johnson.

$$\frac{14,5}{0,32} < 77,63$$

$45,31 < 77,63$ ∴ *Columna Corta* ∴ Utilizamos la Ecuación de J. B. Johnson.

h. Ecuación de J.B. Johnson.

$$P_{cr} = AS_y \left[1 - \frac{S_y \left(\frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

- P_{cr} = Carga Crítica (N)

Reemplazando los datos tenemos:

$$P_{cr} = (0,0001459 m^2) \left(655 \times 10^6 \frac{N}{m^2} \right) \left[1 - \frac{(655 \times 10^6 \frac{N}{m^2})(45,31)^2}{4\pi^2 (200 \times 10^9 \frac{N}{m^2})} \right]$$

$$P_{cr} = 79288,92 N$$

4.2.3 CHEVROLET CORSA

a. Datos:

- Fundición Gris 80-55-06, obtenido del análisis metalográfico.

- Modulo de Elasticidad $E = 171,61 \text{ GPa}$ ³³
- Resistencia última a la tensión $S_y = 38000 \text{ PSI}$ ³⁴
- Área de la sección transversal = $1,92 \text{ cm}^2$
- $L = 13 \text{ cm}$ (Longitud Real de la Columna)
- Constante para el cálculo de la columna efectiva atornillada $K=1$ ³⁵

b. Sección Transversal:

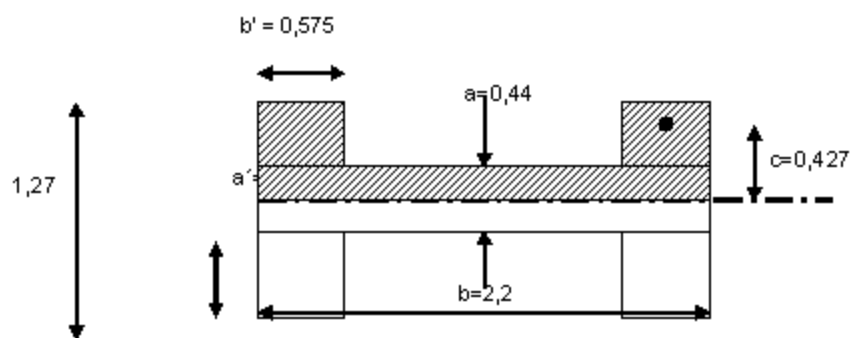


Figura 4.4 Sección Transversal Biela Chevrolet Corsa

c. Cálculo de la Inercia:

Teorema de Steiner

$$I = \left[\frac{1}{12} (b)(a)^3 \right] + 4 \left[\frac{1}{12} (b')(a')^3 + (b')(a')(c)^2 \right]$$

En donde:

- $I =$ Inercia (cm^4)
- $b=$ base del rectángulo (cm)
- $a=$ altura del rectángulo (cm)
- $b'=$ base del rectángulo de menor tamaño (cm)
- $a'=$ altura del rectángulo de menor tamaño (cm)
- $c=$ Distancia del eje neutro hacia el centro de gravedad (cm)

³³ Sonia.Gordillo.Facultad.Ingenieria.Mecánica.EPN."Estudiodelostratamientostérmicosdetemplado yre venidoenlafundicióndehierroductilconmatrízmetálica ferrítica".PDF.p.3

³⁴ Ing.Guillermo.Castro.Departamento.Ingenieria.Mecánica.F.I.U.B.A.Fundiciones.PDF.p.6

³⁵ Robert L Mott.Diseño de Elementos de Máquinas.SegundaEdición.Columnas.p.178

Reemplazando los datos tenemos:

$$I = \left[\frac{1}{12} (2,2)(0,44)^3 \right] + 4 \left[\frac{1}{12} (0,575)(0,415)^3 + (0,575)(0,415)(0,4275)^2 \right]$$

$$I = 0,203 \text{ cm}^4$$

d. Cálculo del Radio de Giro:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

En donde:

- r = radio de giro (cm)
- I = Inercia (cm^3)
- A = Área de la sección transversal (cm^2)

Reemplazando los datos tenemos:

$$r = \sqrt{\frac{0,203 \text{ cm}^4}{1,92 \text{ cm}^2}}$$

$$r = 0,33 \text{ cm}$$

e. Longitud efectiva de la columna

$$L_e = KL$$

- L_e = Longitud efectiva de la Columna

Reemplazando los datos tenemos:

$$L_e = (1) (13 \text{ cm})$$

$$L_e = 13 \text{ cm}$$

f. Constante de la Columna

- $E = 17500 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 171,61 \text{ GPa}$

- $S_y = 38000 \text{ Psi} = 262 \text{ MPa}$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 \epsilon}{S_y}}$$

- C_c = Constante de la Columna (adimensional)

Reemplazando los datos tenemos:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2(171,61 \times 10^9)Pa}{262 \times 10^6 Pa}}$$

$$C_c = 113,70$$

g. Analizamos si es columna larga o corta

Si $\frac{KL}{r} > C_c$ ∴ *Columna Larga* ∴ Utilizamos la Ecuación de Euler.

Si $\frac{KL}{r} < C_c$ ∴ *Columna Corta* ∴ Utilizamos la Ecuación de J.B. Johnson.

$$\frac{13}{0,33} < 113,70$$

$39,39 < 113,70$ ∴ *Columna Corta* ∴ Utilizamos la Ecuación de J.B. Johnson.

h. Ecuación de J.B. Johnson.

$$P_{cr} = AS_y \left[1 - \frac{S_y \left(\frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 \epsilon} \right]$$

- P_{cr} = Carga Crítica (N)

Reemplazando los datos tenemos:

$$P_{cr} = (0,000192 \text{ m}^2) \left(262 \times 10^6 \frac{N}{\text{m}^2} \right) \left[1 - \frac{\left(262 \times 10^6 \frac{N}{\text{m}^2} \right) (39,39)^2}{4\pi^2 \left(171,61 \times 10^9 \frac{N}{\text{m}^2} \right)} \right]$$

$$P_{cr} = 47285,62 \text{ N}$$

4.3 ENSAYO A COMPRESIÓN

El estudio se ha realizado en la máquina de ensayos universales TIME

cuyas lecturas de la gráfica y deformación se realizaron desde el respectivo programa de la máquina.

La carga aplicada está dada en kilonewtons, a una velocidad de 1 mm/min y un modo de visualización Desplazamiento vs Carga.

Para este ensayo se realizó la simulación del bulón y del muñón del cigüeñal con cilindros cuyo material fue acero de transmisión.



Figura 4.5 Máquina de ensayos Universales

4.3.1 KÍA RÍO

Procedimiento a seguir:

1. Ubicamos la biela en la máquina de ensayos universales entre los acoples y acercando el cilindro hidráulico para fijar a la biela, tomando en cuenta una correcta alineación con el eje vertical del cilindro.



Figura 4.6 Ubicación de la biela entre las placas para el ensayo a compresión

2. Antes de aplicar la carga tomar en cuenta que el desplazamiento y la carga se encuentren en cero.



Figura 4.7 Encerado de la máquina

3. A continuación procedemos al ensayo con incremento de carga y obtención de datos.



Figura 4.9 Biela Kía Río deformada

4.3.2 VOLKSWAGEN GOL

Procedimiento a seguir:

1. Este ensayo corresponde al mismo procedimiento hasta la obtención de los siguientes datos:

Tabla 4.2 Valores de fuerza y desplazamiento biela Volkswagen Gol

Fuerza (KN)	Desplazamiento (mm)
20	0,381
40	0,51
60	0,643
80	0,763
100	0,882
111,02	0,99

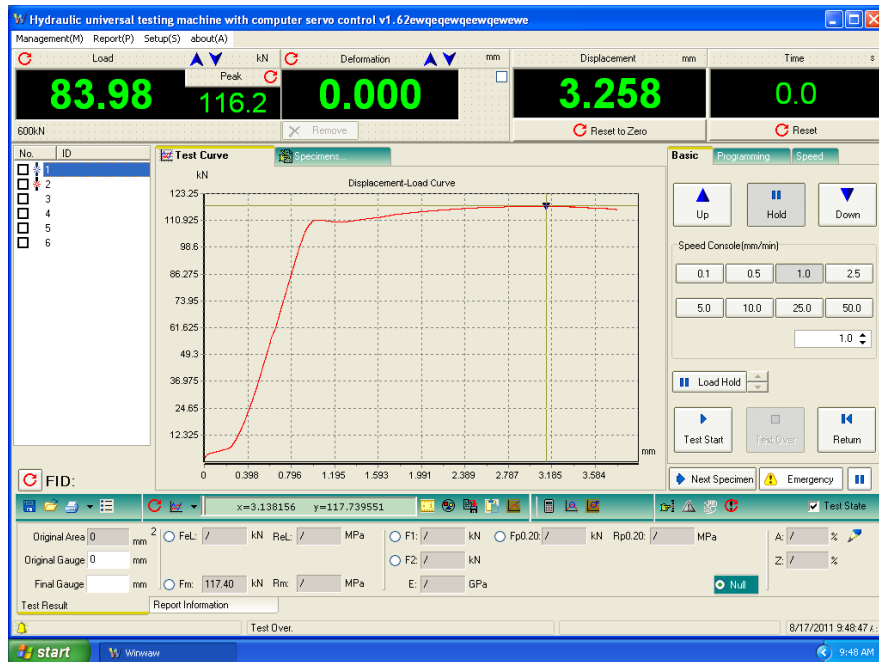


Figura 4.10 Datos de la Biela Volkswagen Gol obtenidos en el programa .

Del gráfico obtenido en el programa de la máquina pudimos observar que la biela fue sometida hasta una carga de 111,02KN produciéndose una deformación visible en la misma.



Figura 4.11 Biela Volkswagen Gol deformada

4.3.3 CHEVROLET CORSA

Procedimiento a seguir:

1. Este ensayo corresponde al mismo procedimiento hasta la obtención de los siguientes datos:

Tabla 4.3 Valores de fuerza y deformación biela Chevrolet Corsa

Fuerza (KN)	Desplazamiento (mm)
20	0,577
40	0,909
60	1,188
80	1,453
98,5	2,353

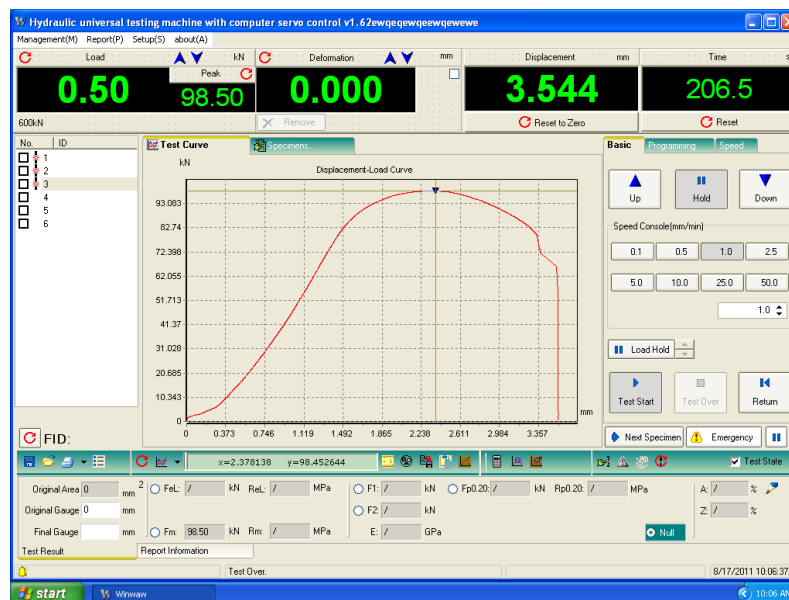


Figura 4.12 Datos de la Biela Chevrolet Corsa obtenidos en el programa.



Figura 4.13 Fractura de la Biela Chevrolet Corsa

Del gráfico obtenido en el programa de la máquina pudimos observar que la biela fue sometida hasta una carga de 98,5KN produciéndose una deformación visible en la misma.

4.4 COMPROBACIÓN DEL SOBREDIMENSIONAMIENTO DE LAS BIELAS.

4.4.1 KÍA RÍO

$$\sigma_{CF} = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 4.18}$$

Donde:

- A = área de la sección transversal = 1,51cm²
- F = Fuerza Máxima Experimental = 116220N, obtenida en la tabla 4.1

Reemplazando datos tenemos:

$$\sigma_{CF} = \frac{F}{A} = \frac{116220N}{1,51 \cdot 10^{-4}} = 769,66MPa$$

El esfuerzo generado en SolidWorks en base a la fuerza calculada en el ciclo de explosión es:

$$\sigma_{CFe} = 148,724 MPa$$

Comparando σ_{CF} y σ_{CFe}

$$\therefore 769,66 \text{ MPa} > 148,724 \text{ MPa}$$

⇒ La biela se encuentra sobredimensionada ya que el esfuerzo calculado en base a la fuerza del ensayo experimental, es mucho mayor que el generado dentro del ciclo de explosión.

4.4.2 VOLKSWAGEN GOL

$$\sigma_{CF} = \frac{F}{A}$$

Donde:

- A = área de la sección transversal = 1,46cm²
- F = Fuerza Máxima Experimental = 111024N, obtenida en la tabla 4.2

Reemplazando datos tenemos:

$$\sigma_{CF} = \frac{F}{A} = \frac{111024N}{1,46 \cdot 10^{-4}} = 760,4 \text{ MPa}$$

El esfuerzo generado en SolidWorks en base a la fuerza calculada en el ciclo de explosión es:

$$\sigma_{CFe} = 130,66 \text{ MPa}$$

Comparando σ_{CF} y σ_{CFe}

$$\therefore 760,4 \text{ MPa} > 130,66 \text{ MPa}$$

⇒ La biela se encuentra sobredimensionada ya que el esfuerzo calculado en base a la fuerza del ensayo experimental, es mucho mayor que el generado dentro del ciclo de explosión.

4.4.3 CHEVROLET CORSA

$$\sigma_{CF} = \frac{F}{A}$$

En donde:

- A = área de la sección transversal = 1,92cm²
- F = Fuerza Máxima Experimental = 98500N, obtenida en la tabla 4.3

Reemplazando datos tenemos:

$$\sigma_{CF} = \frac{F}{A} = \frac{98500N}{1,92 \cdot 10^{-4}} = 513,02MPa$$

El esfuerzo generado en SolidWorks en base a la fuerza calculada en el ciclo de explosión es:

$$\sigma_{CFe} = 132,29 MPa$$

Comparando σ_{CF} y σ_{CFe}

$$\therefore 513,02 MPa > 132,29 MPa$$

⇒ La biela se encuentra sobredimensionada ya que el esfuerzo calculado en base a la fuerza del ensayo experimental, es mucho mayor que el generado dentro del ciclo de explosión.

CAPÍTULO 5

5. TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 TABULACIÓN DE RESULTADOS

Tabla 5.1 Resultados en el Ciclo de Explosión

AUTOMÓVIL	Pz (MPA)	Fe (N)
Kía Río	4,83	21623,4
Volkswagen Gol	3,77	19640,45
Chevrolet Corsa	4,59	23390,83

Tabla 5.2 Resultados en el Carga Crítica

AUTOMÓVIL	Pcr (N)
Kía Río	57268,01
Volkswagen Gol	79288,92
Chevrolet Corsa	47285,62

Tabla 5.3 Resultados en SolidWorks (Estudio Columna)

AUTOMÓVIL	Pcr (N)	FACTOR DE SEGURIDAD
Kía Río	57268,01	1,07
Volkswagen Gol	79288,92	1,1
Chevrolet Corsa	47285,62	1,01

Tabla 5.4 Resultados en SolidWorks (Estudio compresión)

AUTOMÓVIL	FUERZA MÁXIMA (N)	ESFUERZO (MPa)	FACTOR DE SEGURIDAD
Kía Río	116220	799,35	0,97
Volkswagen Gol	111024	738,62	1,03
Chevrolet Corsa	98500	557,08	0,95

Tabla 5.5 Resultados del Ensayo experimental a compresión

AUTOMÓVIL	CARGA (Kg)	ÁREA (m²)	ESFUERZO CALCULADO (MPa)
Kía Río	116220	0,000151	769,67
Volkswagen Gol	111024	0,000146	760,43
Chevrolet Corsa	98500	0,000192	513,02

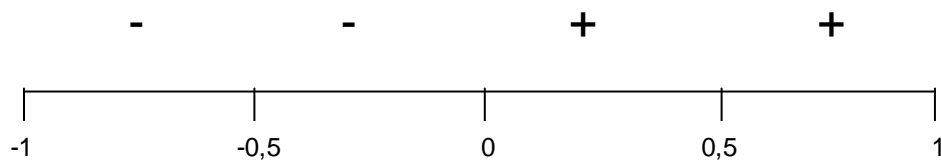
Tabla 5.6 Comparación de Resultados del Análisis a Compresión

AUTOMÓVIL	Fe (N)	Pcr (N)	CARGA MÁXIMA ENSAYO EXPERIMENTAL (N)	AREA (m²)	ESFUERZO CÁLCULADO EN ENSAYO (MPa)	ESFUERZO EN SOLIDWORKS CON Fe (MPa)
Kía Río	21623,4	57268,01	116220	0,000151	769,67	148,724
Volkswagen Gol	19640,45	79288,92	111024	0,000146	760,43	130,66
Chevrolet Corsa	23390,83	47285,62	98500	0,000192	513,02	132,29

5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Utilizando el método de regresión lineal se ha podido determinar un modelo matemático, con el cual obtendremos un resultado del esfuerzo dependiendo de la variable que se ingrese en este caso la fuerza. Seguidamente obtendremos un coeficiente de determinación el cual nos proporciona la información de la pendiente, si ésta es positiva o negativa así como del grado de perfección del modelo matemático.

Coeficiente de Determinación del modelo matemático ($-1 \leq R^2 \leq 1$)



- Pendiente Negativa
- + Pendiente Positiva

La elección del modelo matemático sea exponencial, logarítmico, lineal, polinómica, potencial o media móvil dependerá de su coeficiente de determinación (R^2) ya que el que más próximo este a 1 será el adecuado.

Se ha procedido a realizar el análisis en dos casos:

CASO 1: Relacionando la fuerza y el esfuerzo calculado obteniéndose cada modelo matemático.

CASO 2: Relacionando la fuerza y el esfuerzo generado en SolidWorks obteniéndose cada modelo matemático.

5.2.1 KÍA RÍO

Tabla 5.7 Resultados ensayo a compresión:

Fuerza (KN)	Área(m ²)	Esfuerzo Calculado (MPa)	Esfuerzo SolidWorks (MPa)
10	0,000151	66,23	68,77
20	0,000151	132,45	137,55
30	0,000151	198,67	206,33
40	0,000151	264,9	275,11
50	0,000151	331,12	343,89
60	0,000151	397,35	412,67
70	0,000151	463,57	481,45
80	0,000151	529,8	550,22
90	0,000151	596,02	619,01
100	0,000151	662,25	687,8
116,22	0,000151	769,67	799,35

a. CASO 1

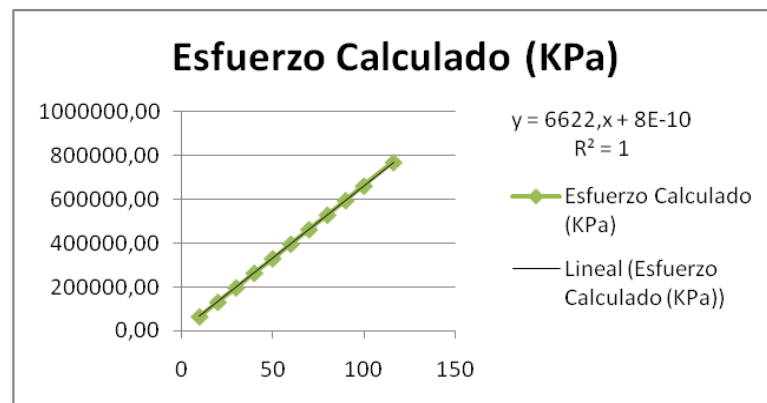


Figura 5.1 Gráfica Fuerza vs Esfuerzo calculado Kía Ríó

- Modelo Matemático: $y = 6622,5x + 7E-10$
- Coeficiente de determinación: $R^2 = 1$

b. CASO 2

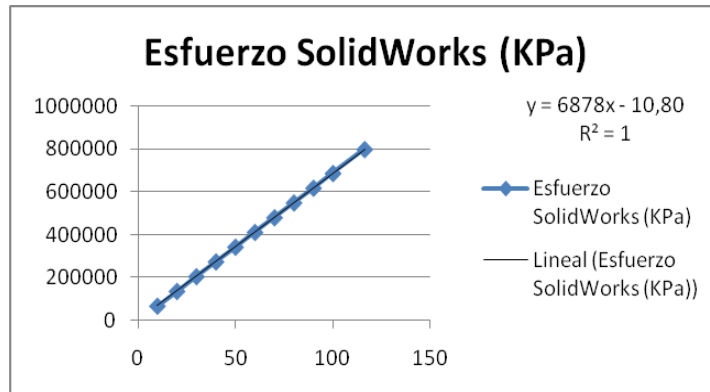


Figura 5.2 Gráfica Fuerza vs Esfuerzo SolidWorks Kía Río

- Modelo Matemático: $y = 6878x - 10,809$
- Coeficiente de determinación: $R^2 = 1$

5.2.2 VOLKSWAGEN GOL

Tabla 5.8 Resultados ensayo a compresión

Fuerza (KN)	Área(m ²)	Esfuerzo Calculado (MPa)	Esfuerzo SolidWorks (MPa)
10	0,000146	68,49	66,52
20	0,000146	136,99	133,05
30	0,000146	205,47	199,58
40	0,000146	273,97	266,11
50	0,000146	342,46	332,64
60	0,000146	410,96	399,17
70	0,000146	479,45	465,7
80	0,000146	547,95	532,22
90	0,000146	616,43	598,75
100	0,000146	684,93	665,28
111,024	0,000146	760,43	738,62

a. CASO 1

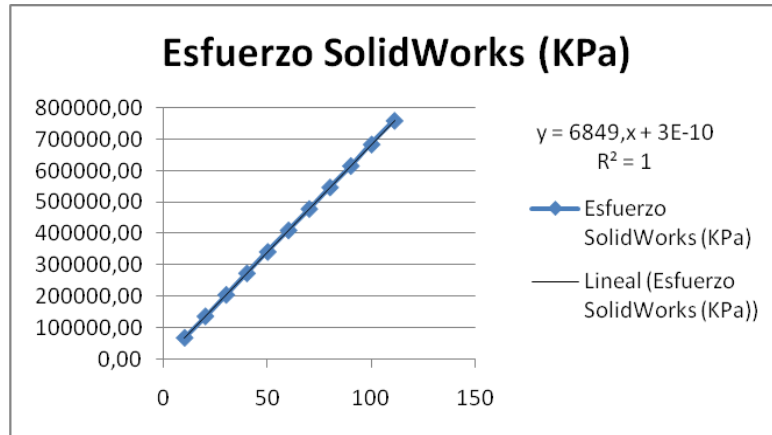


Figura 5.3 Gráfica Fuerza vs Esfuerzo calculado Volkswagen Gol

- Modelo Matemático: $y = 6849,3x$
- Coeficiente de determinación: $R^2 = 1$

b. CASO 2

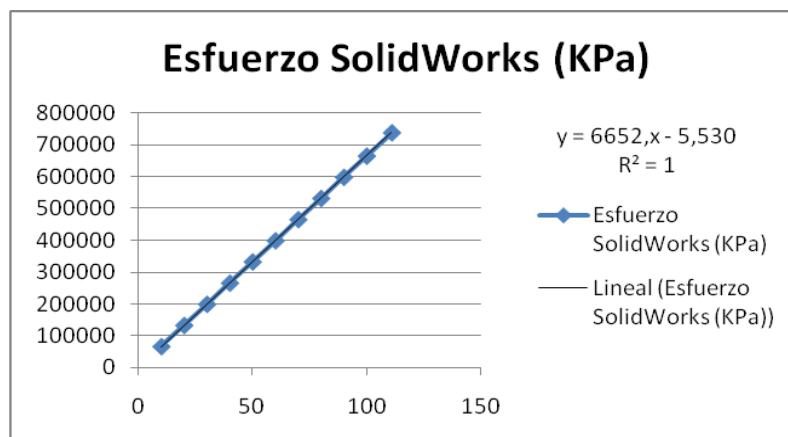


Figura 5.4 Gráfica Fuerza vs Esfuerzo SolidWorks Volkswagen Gol

- Modelo Matemático: $y = 6652,9x - 5,5305$
- Coeficiente de determinación: $R^2 = 1$

5.2.3 CHEVROLET CORSA

Tabla 5.9 Resultados ensayo a compresión

Fuerza (KN)	Área(m ²)	Esfuerzo Calculado (MPa)	Esfuerzo SolidWorks (MPa)
10	0,000192	52,08	56,55
20	0,000192	104,17	113,11
30	0,000192	156,25	169,67
40	0,000192	208,33	226,22
50	0,000192	260,41	282,78
60	0,000192	312,5	339,33
70	0,000192	364,58	395,89
80	0,000192	416,66	452,45
90	0,000192	468,75	509
98,5	0,000192	513,02	557,08

a. CASO 1

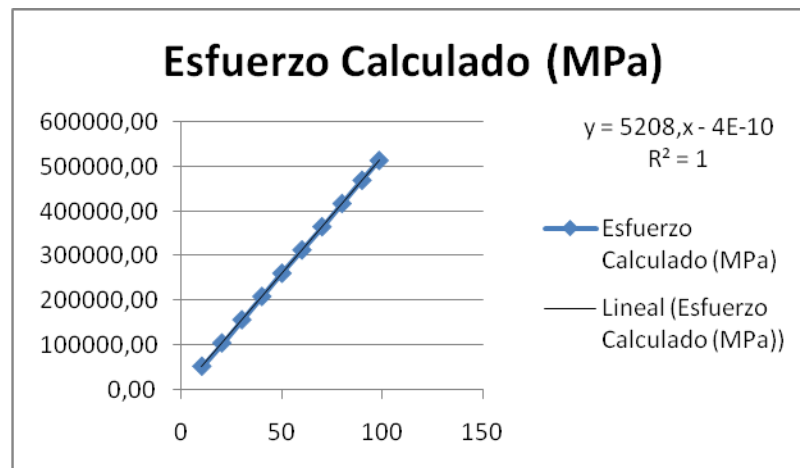


Figura 5.5 Gráfica Fuerza vs Esfuerzo calculado Chevrolet Corsa

- Modelo Matemático: $y = 5208,3x + 2E-10$
- Coeficiente de determinación: $R^2 = 1$

b. CASO 2

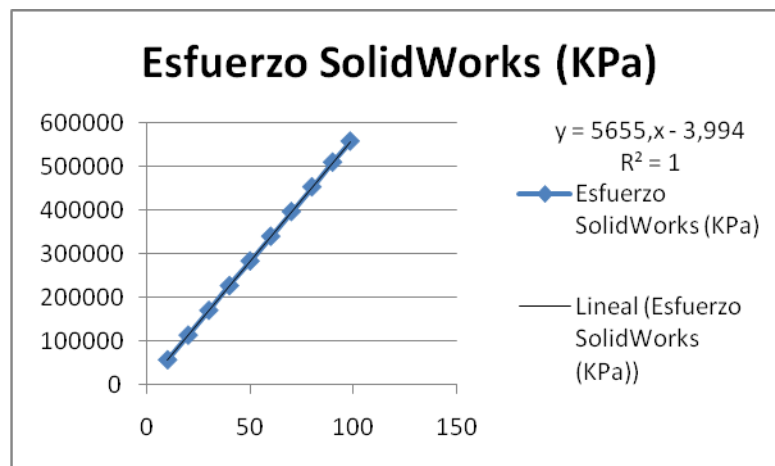


Figura 5.6 Gráfica Fuerza vs Esfuerzo SolidWorks Chevrolet Corsa

- Modelo Matemático: $y = 5655,6x - 3,9941$
- Coeficiente de determinación: $R^2 = 1$

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Con ayuda del análisis químico y de la microestructura se determinó que la biela del Chevrolet Corsa correspondía a una fundición nodular Gris 80-55-06, mientras que en Volkswagen Gol y Kía Río eran aceros con bajo contenido de carbono, AISI 1060 y AISI 4140 respectivamente.
- De los ensayos realizados se pudo determinar que la biela de Chevrolet Corsa por su alto contenido de carbono presentaba mayor dureza pero a la vez mayor fragilidad a la ruptura, lo que no sucedía con la biela del Volkswagen Gol y del Kía Río que por su bajo contenido de carbono no presentaban mucha fragilidad sino plasticidad.
- Las pruebas iniciales sirvieron para familiarizarnos con el manejo de la máquina de ensayos universales **TIME** y de ésta manera poder realizar con éxito nuestros respectivos ensayos.
- Se determinó la máxima carga que pueden soportar las bielas al ser sometidas al esfuerzo de compresión, mediante la ayuda de ensayos experimentales y SolidWorks.
- El software nos proporciona un modelado de la biela así como la facilidad para aplicarle el esfuerzo de compresión y un análisis por columna, obteniendo así diferentes valores de carga para

posteriormente ser comparados con los obtenidos experimentalmente.

- Determinamos que las bielas de cada vehículo se encuentran sobredimensionadas ya que la carga generada en el ciclo de explosión es menor que la carga crítica calculada como columna corta y menor que la fuerza máxima de compresión.
- El sobredimensionamiento y la confiabilidad hace que las bielas sean difíciles de ser remplazadas en modificaciones que se realice dentro del motor, implicando aumento de presiones o cargas.
- Al tener un coeficiente de determinación 1 en las regresiones lineales, se obtuvo modelos matemáticos perfectos, lo que nos indica que el valor del esfuerzo depende únicamente de la fuerza que apliquemos ya que el valor del área es muy bajo y constante.

6.2 RECOMENDACIONES

- En los cálculos realizados en el ciclo de expansión se debe tomar en cuenta las variables como lo son la presión atmosférica y la temperatura ambiente ya que involucran en la obtención de la carga que se produce dentro de este ciclo.
- Realizar una correcta determinación de cómo actúa la biela, si como columna corta o columna larga, ya que aquí se verá reflejado la capacidad en cuanto a su carga crítica.
- Antes de efectuar los ensayos realizar un previo reconocimiento tanto de las máquinas como de los materiales a utilizar tomando en cuenta normas de seguridad.

- Al realizar los ensayos se recomienda tener en cuenta el material con el que se va a trabajar ya que al someterlos a grandes cargas las zonas propensas a ruptura podrían ocasionar accidentes.
- Para el modelado y análisis de las bielas mediante el software, el graficador deberá poseer de buenas aptitudes para el manejo y utilización del mismo.
- Promover la continuación de estos estudios en los demás componentes del automóvil, por ser un tema muy amplio y de gran importancia en la actualidad dentro de la Ingeniería Automotriz.

6.3 BIBLIOGRAFÍA

- MOTT, Robert. Diseño de Elementos de Máquinas. Editorial Hispanoamericana. 1992
- SHIGLEY, J. & MISHCHKE, C. Diseño en Ingeniería Mecánica. 6ta ed. Editorial McGRAW-HILL. 2005
- NORTON, R. Diseño de Máquinas, 1ra ed. México. PEARSON. 1999
- JÓVAJ, M.S. & TRÚSOV, V.I. Motores del automóvil. Editorial MIR. Moscú. 1982
- ASM Metals Handbook. Vol 9. Metallography and Microstructures. ASM. 2004
- ASKELAND, Donald. Ciencia e ingeniería de los materiales. 3ra ed. Editorial Thomson. 2006
- WESTERMAN, Geoff. Metalotécnica Fundamental. Editorial Reverte, España. Barcelona, 1986.
- Walpole, Ronald E. Probabilidad y Estadística para ingenieros, 6ta Edición. Editorial PRENTICE – HALL HISPANAMERICANA, S. A. México, 1999. P 358 – 399.
- Sheldon M. Ross. Introducción a la estadística, 2da Edición. Editorial Reverte S. A. 2007 p. 525 – 586.

URL'S CONSULTADOS

- <http://www.mailxmail.com/curso-metalografia/examen-micrografico-macrografico>
- <http://espaciocoche.com/2010/11/biela-de-un-motor.html>
- <http://www.bmw2002club.com/fsm/index.php?topic=1232.0>
- http://www.cybertesis.edu.pe/sisbib/2003/cordova_vs/html/TH.4.html

ANEXOS

ANEXO A

COMPOSICIÓN QUÍMICA EMPLEANDO EL ESPECTRÓMETRO DE CHISPA MARCA BRUKER MODELO Q4TASMAN DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

ANEXO B
ARTÍCULO PARA REVISTA

**“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD MECÁNICA DE CARGA DE
DIFERENTES BIELAS UTILIZADAS EN LOS VEHÍCULOS KIA RÍO,
CORSA EVOLUTION Y VOLKSWAGEN GOL MEDIANTE ANÁLISIS DE
ESFUERZOS EXPERIMENTAL Y POR ELEMENTOS FINITOS CON UN
ANÁLISIS METALOGRÁFICO DE LAS MISMAS.”**

Autores:

Edgar Puente

Rommel Imbaquingo

Ing. Oswaldo Jácome

Dr. Marcelo Román

Dpto. de Energía y Mecánica. Escuela Politécnica del Ejército Extensión
Latacunga.

Quijano y Ordoñez y Márquez de Maenza S/N Latacunga – Ecuador

Email: fabianpuente88@hotmail.com

wmroman@espe.edu.ec

Resumen.-

Desde tiempo atrás se vienen desarrollando análisis mecánicos y metalúrgicos de los componentes del motor. En este sentido, últimamente se ha sistematizado este trabajo y se han ido incorporando nuevas técnicas de evaluación a las ya existentes. En cuanto al estudio de los componentes como en este caso, se ha encontrado como crítica la calidad superficial que se obtiene del proceso de fabricación del mismo, siendo que defectos superficiales como pliegues o fisuras podrían producir la falla del mismo.

En cuanto al aspecto mecánico, dado que las mayores solicitaciones son de compresión, durante el ciclo de expansión, se procederá a la realización

de un ensayo 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 resistencia de la biela en cuanto a la carga que está sometida, 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 que las conforman.

El software a 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 cálculos a realizar.

I. 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 producida por la combustión de los gases.

PARTES DE LA BIELA



ENSAYOS METALOGRAFICOS

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

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

1. EXAMEN MACROGRÁFICO

Generalmente este tipo de examen se realiza sin preparación especial sin embargo a veces es necesaria la preparación de la superficie para

observar de una mejor manera sus características macroscópicas.

2. 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:

- Corte transversal
- Desbaste y pulido
- Ataque químico

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los métodos de ensayos no destructivos se han realizado con la finalidad de asegurarnos que en el material no existan discontinuidades, fisuras, porosidades o grietas que afecten en los resultados al someterlas a los ensayos.

Además estos ensayos permiten la inspección de la producción al completo, manteniéndose una calidad uniforme.

1. ENSAYO DE 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.

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.

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.

2. ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

El ensayo de partículas magnéticas es una técnica basada en la propiedad de ciertos materiales de convertirse en un imán.

▪ DESCRIPCIÓN DE LAS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

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

▪ APLICACIONES

Son utilizadas para la detección de discontinuidades superficiales y

subsuperficiales hasta 1/4" de profundidad aproximadamente en materiales ferromagnéticos.

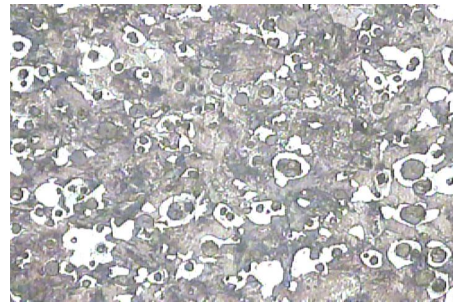
II. ANÁLISIS METALOGRÁFICO

MICROGRAFÍAS

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

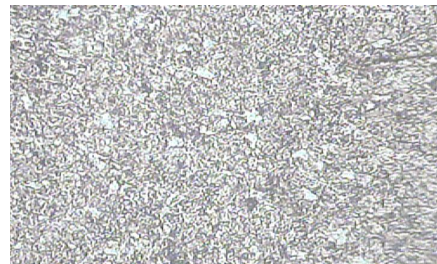
Resultados de la micrografía

CHEVROLET CORSA



Fundición Nodular GG 80-55-06

VOLKSWAGEN GOL



Acero AISI 4140

KÍA RÍO



Acero 1060

ENSAYO NO DESTRUCTIVO UTILIZANDO EL PROCEDIMIENTO DE TINTAS PENETRANTES Y PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

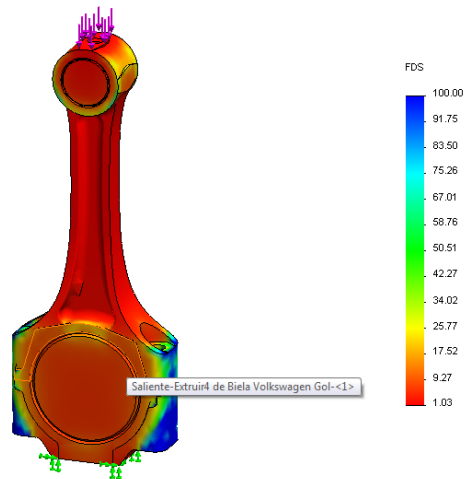
- Se realizó los ensayos de tintas penetrantes y partículas magnéticas en los cuerpos de las bielas de los vehículos en estudio, sobre los cuales se realizará el ensayo a compresión, como resultado de este ensayo no se detectaron fisuras superficiales ni porosidades que puedan actuar como concentradores de tensión que disminuyan la capacidad de carga del mismo por debajo de las condiciones de diseño.

Carga (N)	Esfuerzo (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad
116220	799,35	0,34	0,97
21623,4	148,724	0,06	5,22

CONDICIONES DE COLUMNA

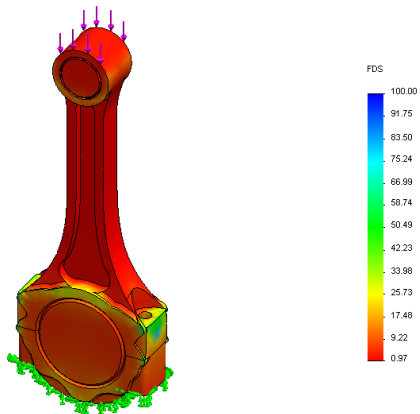
Carga Crítica (Pcr)	Factor de Seguridad
57268N	1,07

ANÁLISIS EN LA BIELA VOLKSWAGEN GOL



III. ANÁLISIS DE ESFUERZOS POR ELEMENTOS FINITOS

ANÁLISIS EN LA BIELA KÍA RÍO

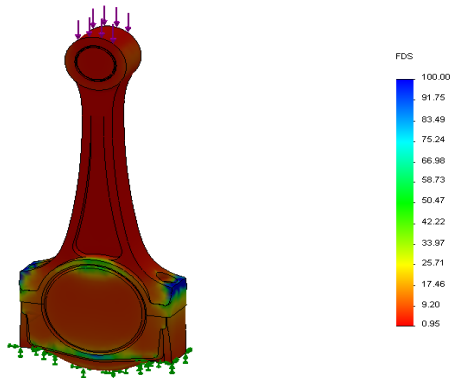


Carga (N)	Esfuerzo (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad
111024	738,62	0,25	1,03
19640,45	130,66	0,04	5,8

CONDICIONES DE COLUMNA

Carga Crítica (Pcr)	Factor de Seguridad
79289N	1,1

ANÁLISIS EN LA BIELA CHEVROLET CORSA



Carga (N)	Esfuerzo (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad
98500	557,08	0,44	0,95
23390,83	132,29	0,106	4

CONDICIONES DE COLUMNA

Carga Crítica (Pcr)	Factor de Seguridad
47285N	1,01

IV. ANÁLISIS DE ESFUERZOS FUERZA EN EL CICLO DE EXPLOSIÓN

Kía río	Volkswagen gol	Chevrolet corsa
Fe = 21623,4N	Fe = 19640,45N	Fe = 23390,83N

ANÁLISIS EN CONDICIONES DE COLUMNA

Kía río	Volkswagen gol	Chevrolet corsa
$P_{cr} = 57268$	$P_{cr} = 79288$	$P_{cr} = 47285$

ENSAYO A COMPRESIÓN

El estudio se ha realizado en la máquina de ensayos universales TIME cuyas lecturas de la gráfica y deformación se realizaron desde el respectivo programa de la máquina.

La carga aplicada está dada en kilonewtons, a una velocidad de 1 mm/min y un modo de visualización Desplazamiento vs Carga.

	Fuerza aplicada (N)	Desplazamiento (mm)
Kía río	116220	1,79
Volkswagen gol	111024	0,99
Chevrolet corsa	98500	2,35

COMPROBACIÓN DEL SOBREDIMENSIONAMIENTO MEDIANTE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE CADA MATERIAL.

$$\sigma_{CF} = \frac{F}{A}$$

Donde:

- σ_{CF} : Esfuerzo en base a la fuerza experimental.
- F: Fuerza máxima.

- A: Área de la sección transversal.

KÍA RÍO

$$\sigma_{CF} = \frac{F}{A} = \frac{116220N}{1,51 \cdot 10^{-4}} = 769,66MPa$$

El esfuerzo generado en SolidWorks en base a la fuerza calculada en el ciclo de explosión es:

$$\sigma_{CFe} = 148,724 MPa$$

Comparando σ_{CF} y σ_{CFe}
 $\therefore 769,66 MPa > 148,724 MPa$

VOLKSWAGEN GOL

$$\sigma_{CF} = \frac{F}{A} = \frac{111024N}{1,46 \cdot 10^{-4}} = 760,4MPa$$

El esfuerzo generado en SolidWorks en base a la fuerza calculada en el ciclo de explosión es:

$$\sigma_{CFe} = 130,66 MPa$$

Comparando σ_{CF} y σ_{CFe}
 $\therefore 760,4 MPa > 130,66 MPa$

CHEVROLET CORSA

$$\sigma_{CF} = \frac{F}{A} = \frac{98500N}{1,92 \cdot 10^{-4}} = 513,02MPa$$

El esfuerzo generado en SolidWorks en base a la fuerza calculada en el ciclo de explosión es:

$$\sigma_{CFe} = 132,29 MPa$$

Comparando σ_{CF} y σ_{CFe}
 $\therefore 513,02 MPa > 132,29 MPa$

Por tanto en los tres vehículos

$$\sigma_{CF} > \sigma_{CFe}$$

⇒ La biela se encuentra sobredimensionada ya que el esfuerzo calculado en base a la fuerza del ensayo experimental, es mucho mayor que el generado dentro del ciclo de explosión.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Utilizando el método de regresión lineal se ha podido determinar un modelo matemático, con el cual obtendremos un resultado del esfuerzo, representado por la variable y, dependiendo de la variable que se ingrese en este caso la fuerza representada con x.

KÍA RÍO

Esfuerzo Ensayo a Compresión

$$y = 6622,5x + 7E-10$$

Esfuerzo en SolidWorks

$$y = 6878x - 10,809$$

VOLKSWAGEN GOL

Esfuerzo Ensayo a Compresión

$$y = 6849,3x$$

Esfuerzo en SolidWorks

$$y = 6652,9x - 5,5305$$

CHEVROLET CORSA

Esfuerzo Ensayo a Compresión

$$y = 5208,3x + 2E-10$$

Esfuerzo en SolidWorks

$$y = 5655,6x - 3,9941$$

V. CONCLUSIONES

- De los ensayos realizados se pudo determinar que la biela de Chevrolet Corsa por su alto contenido de carbono presentaba mayor dureza pero a la vez mayor fragilidad a la ruptura, lo que no sucedía con la biela del Volkswagen Gol y del Kía Río que por su bajo contenido de carbono no presentaban mucha fragilidad sino plasticidad.
- Se determinó la máxima carga que pueden soportar las bielas al ser sometidas a los esfuerzos de compresión, mediante la ayuda de ensayos experimentales y SolidWorks.
- Determinamos que las bielas de cada vehículo se encuentran sobredimensionadas ya que la carga generada en el ciclo de explosión es menor que la carga crítica calculada como columna

corta y menor que la fuerza máxima de compresión.

VI. RECOMENDACIONES

- En los cálculos realizados en el ciclo de expansión se debe tomar en cuenta las variables como lo son la presión atmosférica y la temperatura ambiente ya que involucran en la obtención de la carga que se produce dentro de este ciclo.
- Para la modelización y análisis de las bielas mediante el software, el diseñador deberá poseer de buenas aptitudes para el manejo y utilización del mismo.
- Antes de efectuar los ensayos realizar un previo reconocimiento tanto de las máquinas como de los materiales a utilizar tomando en cuenta normas de seguridad.

VII. REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

- MOTT, Robert. Diseño de Elementos de Máquinas. Editorial Hispanoamericana. 1992
- SHIGLEY, J. & MISHCHKE, C. Diseño en Ingeniería Mecánica. 6ta ed. Editorial McGRAW-HILL. 2005

- JÓVAJ, M.S. & TRÚSOV, V.I.
Motores del automóvil. Editorial
MIR.Moscú.1982
- Walpole, Ronald E.
Probabilidad y Estadística
para ingenieros, 6ta
Editorial PRENTICE –
HALL
HISPANAMERICANA, S.
A. México, 1999. P 358 –
399.
- Sheldon M. Ross.
Introducción a la
estadística, 2da Edición.
Editorial Reverté S. A.
2007 p. 525 – 586.

Latacunga, Octubre 2011

Realizado por:

IMBAQUINGO NAVARRETE ROMMEL PAÙL

PUENTE CHILUISA EDGAR FABIÀN

ING. JUAN CASTRO C.
**DIRECTOR DE CARRERA
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

DR. EDUARDO VASQUEZ A.
**DIRECTOR DE LA UNIDAD DE
ADMISIÓN Y REGISTRO**