



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TEMA:

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

AUTOR: Morillo Tasiguano Víctor Aníbal.

DIRECTOR: Ing. Rommel Imbaquingo MSC.

IBARRA 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	172317179-7		
APELLIDOS NOMBRES	MORILLO TASIGUANO VICTOR ANIBAL		
DIRECCIÓN	AV. CARCHI Y LEOPOLDO CHÁVEZ		
EMAIL	vamorillot@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO	02316386	TELÉFONO MÓVIL	0988073236

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	“DETERMINACIÓN LA CARGA MECÁNICA MAXIMA QUE SOPORTAN LAS BIELAS DEL MOTOR DE UNA CAMIONETA MAZDA BT-50 DIÉSEL MEDIANTE ENSAYOS ESTÁTICOS DE ESFUERZO EXPERIMENTAL Y POR ELEMENTOS FINITOS”.
AUTOR	MORILLO TASIGUANO VICTOR ANIBAL
FECHA	26 de julio de 2017
PROGRAMA	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR DIRECTOR	ING. ROMMEL IMBAQUINGO MSC.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Víctor Aníbal Morillo Tasiguano con cédula de identidad Nro. 1723171797, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros. Ibarra, a los 26 días del mes de julio de 2017.

EL AUTOR:



.....
Víctor Aníbal Morillo Tasiguano
1723171797



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Víctor Aníbal Morillo Tasiguano, con Cédula de identidad Nro. 1723171797, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la ley de propiedad intelectual del Ecuador, artículos 4, 5,6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado: determinación la carga mecánica máxima que soportan las bielas del motor de una camioneta Mazda bt-50 diésel mediante ensayos estáticos de esfuerzo experimental y por elementos finitos, que ha sido desarrollada para optar por el título de: Ingeniero en Mantenimiento Automotriz en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 26 días del mes de julio de 2017

.....
Víctor Aníbal Morillo Tasiguano

1723171797

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente proyecto fue realizado en su totalidad por el señor: Morillo Tasiguano Víctor Aníbal, como requisito para la obtención del título de Ingeniería en mantenimiento Automotriz.

Atentamente,



Rommel Imbaquingo

Ing. Rommel Imbaquingo MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

v

v

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte, templo del saber quién nos acogió en sus aulas para formar parte de este proceso de nuestra formación ética y profesional, como también a su personal docente de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

Al Ing. Rommel Imbaquingo, por su constante labor en dirigir este proyecto desde el principio, su gran colaboración y empeño como tutor del presente trabajo fue de gran ayuda para culminar con éxito el trabajo de grado.

A mi familia por brindarme en todo momento su apoyo, lo que me ha permitido cumplir todas mis metas y anhelos.

A mi esposa e hija quienes son el motor fundamental de mi vida y me motivan día a día luchar para cumplir mis metas.

Víctor Morillo T.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico con todo el cariño a mi madre por apoyarme en todo este proceso de formación profesional, quien me enseñó siempre a luchar para cumplir mis metas, gracias a sus valores y dedicación ha sido de gran apoyo y guía durante mi carrera universitaria.

A mi esposa Fanny Cruz y a mi hija Isabella, ustedes son mi motivación y me han brindado su apoyo incondicional durante mis estudios.

A mi hermano Fernando con quien conjuntamente cursamos esta carrera universitaria y nos hemos ayudado en todo momento (GRACIAS).

Víctor Morillo T.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	ii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	iv
CERTIFICACIÓN	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
NOMENCLATURA	xix
RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO I.....	1
1. Problema de Investigación.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Formulación del problema.....	2
1.4 Delimitación	2
1.4.1 Temporal.....	2
1.4.2 Espacial.....	3
1.5 Objetivos.....	3
1.5.1 Objetivo General.....	3
1.5.2 Objetivos Específicos.	3
1.6 Justificación.....	3
1.7 MARCO METODOLÓGICO.....	4
1.7.1 Tipo y diseño de la Investigación	4
1.7.2 Exploratorio.....	4
1.7.3 Descriptivo	5
1.7.4 Explicativo.....	5
1.7.5 Investigación documental- bibliográfica.	5
1.7.6 Investigación Tecnológica.....	5
1.8 Métodos Teóricos.....	6
1.8.1 Método Histórico- Lógico.	6

1.8.2 Método inductivo deductivo.....	6
1.8.3 Método Matemático.....	6
1.9 Métodos Empíricos.....	7
1.9.1 Experimentación.....	7
1.9.2 Medición.....	7
1.9.3 Observación.....	7
1.9.4 Técnicas e instrumentos.....	7
CAPÍTULO II.....	8
2 Marco Teórico.....	8
2.1 Antecedentes históricos.....	8
2.1.1 Antecedentes.....	8
2.1.2 Máquinas Simples: Mecanismo biela-manivela.....	10
2.2 Definición de biela.....	11
2.3 Comprobaciones en la biela.....	11
2.3.1 Alineación de las bielas.....	11
2.3.2 Control del diámetro del casquillo del pie de la biela.....	11
2.3.3 Control del diámetro interior de la cabeza de biela.....	12
2.3.4 Control del peso de las bielas:.....	12
2.4 Elementos de las bielas.....	12
2.4.1 Cabeza de biela.....	12
2.4.2 Pie de biela.....	12
2.4.3 Cuerpo de biela.....	12
2.4.4 Equilibrio de bielas.....	13
2.4.5 Agujero de alivio.....	13
2.5 Tipos de bielas.....	13
2.5.1 Biela enteriza.....	13
2.5.2 Biela aligerada.....	14
2.5.3 Bielas para motores en V.....	14
A. Bielas ahorquilladas.....	14

B. Bielas articuladas.	15
C. Bielas conjugadas.....	15
2.6 Fallas y roturas de bielas.....	15
2.6.1 Rotura de bielas debido a fuerzas excesivas.....	15
2.6.2 Rotura de bielas debido a una lubricación inadecuada en sus metales.....	15
2.6.3 Análisis de fallas de una biela.	16
A. Fractura por fatiga.....	16
B. Fractura dúctil	16
C. Corte por impacto.....	17
D. Fallas anormales y por mano de obra	17
2.7 Síntomas de biela rota o dañada	20
2.7.1 Ruido bajo el capó	20
2.7.2 El motor comienza a fallar.....	20
2.7.3 Montaje incorrecto.....	20
2.8 Materiales de las bielas.....	20
2.8.1 Acero al carbono.....	21
2.8.2 Acero templado.....	21
2.8.3 Fundición Nodular G 80-55- 06	22
2.8.4 Aluminio.....	22
2.8.5 Titanio.....	22
2.8.6 Acero AISI 1060.....	22
2.8.7 Acero AISI 4140.....	22
2.9 Proceso de manufactura de las bielas.	22
2.9.1 Forjado.....	22
2.9.2 Mecanizado.....	24
Máquinas y herramienta.	24
A. Torno.....	24

B. Fresadora.....	24
C. Taladro.....	24
2.9.3 Fundición.....	25
2.10 Perfiles estructurales de las bielas.....	26
2.10.1 Bielas con perfil I.-	26
2.10.2 Bielas con perfil H.-	26
2.10.3 Bielas con perfil +. -	26
2.11 Ensayo no destructivo.	27
2.11.1 Descripción de los ensayos no destructivos.	27
2.11.2 Tipos de ensayos no destructivos	27
A. Ensayo por tintes penetrantes.....	27
B. Ensayo por partículas magnéticas.	31
2.12 Ensayos Metalográficos.....	33
2.12.1 Examen Macrográfico	33
2.12.2 Examen Micrográfico.	34
2.13 Tratamientos térmicos en las bielas.	35
2.13.1 Temple.....	36
2.13.2 Revenido.....	36
2.14 Máquina de ensayos universales.	37
2.14.1 Partes de la máquina de ensayos universal.....	37
2.14.2 Sistemas de la máquina de ensayos universales.	38
2.15 Software de modelado y simulación.....	39
2.15.1 SolidWorks	39
CAPÍTULO III	41
3 Desarrollo de la propuesta	41
3.1 Análisis de esfuerzos.....	41
3.1.1 Análisis de esfuerzos en el ciclo de explosión.	42
3.1.2 Datos del Vehículo Mazda BT-50 diésel.....	42
3.2 Análisis en condición de columna.....	55
3.2.1 Biela Original.	55

3.2.2 Biela Alterna.....	58
3.3 Análisis químico de las bielas	61
3.4 Análisis de la microestructura de las bielas.	61
3.4.1 Micrografías	61
A. Preparación de la muestra basada en la norma ASTM E 3.....	62
B. Ataque químico basado en norma ASTM 112.....	64
3.4.2 Fotografiado micrográfico.	64
A. Resultados de la micrografía en la biela Original.	65
B. Resultados de la micrografía en la biela Alterna.	66
3.5 Ensayo de dureza.	67
3.5.1 Procedimiento para la realización de la prueba.	67
3.5.2 Resultados obtenidos	67
A. Biela Original.....	68
B. Biela Alterna.	68
3.6 Ensayos no destructivos	68
3.6.1 Ensayo por tintas penetrantes	68
A. Procedimiento del ensayo por tintas penetrantes	69
B. Resultados obtenidos en la biela original.....	70
C. Resultados obtenidos en la biela alterna.	70
3.6.2 Ensayo por partículas magnéticas.....	71
A. Resultado obtenido en las bielas originales.	72
B. Resultado obtenido en las bielas alternas.....	73
3.7 Ensayo a compresión	73
3.7.1 Bielas originales.	74
A. Resultado experimental biela 1 original.	74
B. Resultado experimental biela 2 original.....	75
C. Resultado experimental biela 3 original.....	76
D. Conclusión del ensayo experimental biela original.	77
3.7.2 Biela alterna.	77

A. Resultado experimental biela 1 alterna.	77
B. Resultado experimental biela 2 alterna.	78
C. Resultado experimental biela 3 alterna.	79
D. Conclusión ensayo experimental biela alterna.....	80
3.8 Análisis de esfuerzos por elementos finitos	81
3.8.1 Análisis de sensibilidad de malla en base al radio Jacobiano.....	81
A. Radio Jacobiano.	81
B. Tipos de malla	81
C. Análisis de malla	81
3.8.2 Biela original.	82
A. Resultado del ensayo a compresión con incremento de carga	82
B. Resultado del esfuerzo con incremento de carga.	82
C. Resultados del desplazamiento de la biela original en la simulación.	83
D. Resultado del factor de seguridad	84
E. Resultado del análisis de columna con incremento de carga	85
3.8.3 Biela alterna.	86
A. Resultado del ensayo de Compresión con incremento de carga.	86
B. Resultados del desplazamiento de la biela alterna en la simulación.	88
C. Resultado del factor de seguridad de la biela alterna.....	88
D. Resultado del análisis en condiciones de columna.	89
3.9 Comprobación del sobredimensionamiento de las bielas.	90
3.9.1 Biela de procedencia original.	91
A. Cálculo del sobredimensionamiento biela original.....	91
B. Conclusión Sobredimensionamiento biela original.	92
3.9.2 Biela alterna.	92
A. Cálculo sobredimensionamiento biela original.....	93
B. Conclusión Sobredimensionamiento biela alterna.	93
CAPÍTULO IV	94

4. Tabulación y análisis de resultados.....	94
4.1 Tabulación de resultados.	94
4.2 Análisis de resultados.....	98
CAPÍTULO V	100
5 Conclusiones y Recomendaciones	100
5.1 CONCLUSIONES	100
5.2 RECOMENDACIONES	101
Bibliografía.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema biela- manivela.	10
Figura 2. Partes de una biela.....	11
Figura 3. Esquemático de la biela.	13
Figura 4. Biela enteriza.....	14
Figura 5. Biela aligerada.....	14
Figura 6. Fractura por fatiga.....	16
Figura 7. Fracturas dúctiles.....	16
Figura 8. Corte por impacto.....	17
Figura 9. Daños por fuerzas externas.....	18
Figura 10. Falla de bielas.....	18
Figura 11. Falla de cojinetes.....	19
Figura 12. Fallo por reutilización de piezas.....	19
Figura 13. Falla por pernos rotos o flojos.....	19
Figura 14. Esfuerzos en las bielas.....	21
Figura 15. Biela en bruto con rebaba.....	23
Figura 16. Separación de la semicabeza de biela mediante presión.....	23
Figura 17. Molde para la fabricación de bielas.....	26
Figura 18. Perfiles estructurales de las bielas.....	26
Figura 19. Ensayo tintas penetrantes.....	28
Figura 20. Tintas penetrantes.....	29
Figura 21. Uso del osciloscopio en ensayo no destructivo.....	32
Figura 22. Ejemplo. Examen Macro gráfico mediante corte Transversal.....	34
Figura 23. Ejemplo de Microestructura AISI 680 mediante corte.....	35
Figura 24. Máquina de ensayos universal.....	38
Figura 25. Panel de control de la máquina de ensayos universal.....	38
Figura 26. SolidWorks.....	40
Figura 27. Desarrollo de la propuesta.....	41
Figura 28. Mecanismo pistón, biela y cigüeñal.....	42
Figura 29. Cilindrada vs velocidad del aire.....	47
Figura 30. Cilindrada vs régimen de apertura de válvulas.....	48
Figura 31. Cilindrada vs temperatura de gases residuales.....	50
Figura 32. Cilindrada vs exponente politrópico.....	52
Figura 33. Cilindrada vs temperatura.....	53

Figura 34. Sección Transversal Biela original.	56
Figura 35. Sección Transversal Biela alterna.	59
Figura 36. Desbastado de las Probetas.	62
Figura 37. Colocación del material para la probeta.	62
Figura 38. Preparación de la resina.	63
Figura 39. Preparación de la máquina y lijas para el pulido de las probetas.	63
Figura 40. Ataque químico en las probetas.	64
Figura 41. Fotografiado Microscópico.	64
Figura 42. Micrografía a 100x biela original.	65
Figura 43. Micrografía a 500x biela original.	65
Figura 44. 25-mm (1-in.) diam 4140 steel bar, austenitized 1 h at 845 °C (1550 °F), cooled to 650 °C (1200 °F).....	65
Figura 45. Micrografía a 100x biela alterna.	66
Figura 46. Micrografía a 500x biela alterna.	66
Figura 47. 4130 hot-rolled steel bar, 25 mm (1 in.) in diameter, annealed by austenitizing at 845 °C (1550 °F)	66
Figura 48. Ubicación de la biela para la prueba de dureza.	67
Figura 49. Ensayo de dureza biela original.	68
Figura 50. Ensayo de dureza biela alterna.	68
Figura 51. Colocación de las bielas en una superficie óptima.	69
Figura 52. Limpieza de las bielas.	69
Figura 53. Bielas originales.	70
Figura 54. Yugo para crear el campo magnético.	71
Figura 55. Contraste blanco en bielas.	71
Figura 56. Ensayo por partículas magnéticas.	72
Figura 57. Biela con partículas magnéticas.	72
Figura 58. Utilización del gaussímetro.	72
Figura 59. Máquina de ensayos universales.	73
Figura 60. Ubicación de la biela en la máquina de ensayos universales.	74
Figura 61. Curva de fuerza vs desplazamiento de biela original 1.	74
Figura 62. Curva de fuerza vs desplazamiento de biela original 2.	75
Figura 63. Curva de fuerza vs desplazamiento de biela original 3.	76
Figura 64. Biela original después del ensayo destructivo.	77
Figura 65. Curva de fuerza vs desplazamiento de biela alterna 1.	78

Figura 66. Curva de fuerza vs desplazamiento de biela alterna 2.	79
Figura 67. Curva de fuerza vs desplazamiento de biela alterna 3.	80
Figura 68. Malla triangular con radio jacobiano de 0.99.	82
Figura 69. Esfuerzo de la biela sometida a su máxima carga 223.450 KN.....	83
Figura 70. Desplazamiento de la biela sometida a su máxima carga de 223.450 KN. ..	84
Figura 71. Factor de seguridad de la biela sometida a su máxima carga 223.450 KN. .	85
Figura 72. Biela en condición de columna aplicando su carga crítica de 200.852 KN. 86	
Figura 73. Esfuerzo de la biela alterna sometida a su máxima carga de 122.470 KN... 87	
Figura 74. Desplazamiento de la biela alterna sometida a su máxima carga de 122.470 KN.	88
Figura 75. Factor de seguridad de la biela sometida a su máxima carga de 122.470 KN.	89
Figura 76. Biela en condición de columna aplicando su carga crítica de 96.879 KN. ...	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas del acero AISI 4340	21
Tabla 2. Normas ASTM E 165-94.....	30
Tabla 3. Normas DIN 54 152.....	30
Tabla 4. Ventajas y desventajas del ensayo por tintas penetrantes.	31
Tabla 5. Ventajas y desventajas del ensayo por partículas magnéticas.	32
Tabla 6. Soluciones típicas para el tratamiento de aceros.	35
Tabla 7. Datos del Vehículo.	42
Tabla 8. Resultado del análisis químico.	61
Tabla 9. Valores de fuerza y desplazamiento biela original 1.....	75
Tabla 10. Valores de fuerza y desplazamiento biela original 2.....	76
Tabla 11. Valores de fuerza y desplazamiento biela original 3.	77
Tabla 12. Valores de fuerza y desplazamiento biela alterna 1.	78
Tabla 13. Valores de fuerza y desplazamiento biela alterna 2.	79
Tabla 14. Valores de fuerza y desplazamiento biela alterna 3.	80
Tabla 15. Valores de Fuerza y Esfuerzo biela original.	83
Tabla 16. Valores de Fuerza y Desplazamiento de biela original.....	84
Tabla 17. Valores de Fuerza y Factor de Seguridad biela original.	85
Tabla 18. Valores de Fuerza y Factor de Seguridad biela en condiciones de columna.....	86
Tabla 19. Valores de Fuerza y Esfuerzo biela alterna.....	87
Tabla 20. Valores de Fuerza y Desplazamiento de biela alterna.	88
Tabla 21. Valores de Fuerza y Factor de Seguridad biela alterna.....	89
Tabla 22. Valores de Fuerza y Factor de Seguridad biela alterna utilizando su carga critica.	90
Tabla 23. Resultado en el ciclo de explosión.	94
Tabla 24. Resultados con la carga crítica.....	94
Tabla 25. Resultados en SolidWorks (Estudio Columna pandeo).	94
Tabla 26. Resultados en SolidWorks (Estudio compresión).....	95
Tabla 27. Resultados del Ensayo experimental a compresión.....	95
Tabla 28. Comparación del esfuerzo real y esfuerzo SolidWorks.	96
Tabla 29. Resultado del sobredimensionamiento comparando Fe con carga máxima experimental.....	96
Tabla 30. Propiedades mecánicas acero AISI 4130.....	96
Tabla 31. Propiedades mecánicas acero AISI 4140.....	97
Tabla 32. Resultados generales del estudio.....	99

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

wad = La velocidad del aire en la entrada del sistema de admisión

ρo = 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

Yr = Coeficiente de gases residuales

Tr = 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

Tc = Temperatura en el ciclo de la compresión

Tz = Temperatura en el ciclo de la explosión

uz = la energía interna de los productos de combustión

Pz = Presión en la explosión

ur = Coeficiente real de variación molecular

Fe = 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

F = Fuerza Máxima Experimental

σ_{C_F} = Esfuerzo de compresión en base a la fuerza máxima

$\sigma_{C_{F_e}}$ = Esfuerzo de compresión en base a la fuerza de explosión

HWR = Dureza Brinell escala B

FEM = Método por elementos finitos

RESUMEN

Esta investigación se la realiza en las bielas de la camioneta Mazda BT-50 diésel 2500cc por ser una de las más comercializada en el país, las bielas son una parte fundamental para el funcionamiento del motor es por esta razón que se debe realizar el análisis mecánico y metalúrgico para garantizar que estas cumplan con un factor de seguridad acorde al esfuerzo al cual están sometidas.

En el capítulo 1. Se desarrolla la introducción del proyecto de tesis, en donde se formula el problema, se establecen los objetivos generales y específicos, así como la justificación de esta investigación para determinar la carga mecánica máxima que soportan las bielas del motor de una camioneta Mazda BT-50 diésel mediante ensayos estáticos de esfuerzo experimental y por elementos finitos.

En el capítulo 2. Se redacta el marco teórico en el cual se detalla los tipos de bielas, materiales de manufactura de las mismas, partes, el proceso de fabricación, perfiles, tratamientos térmicos, además se explica acerca del funcionamiento de la máquina de ensayos universales, ensayos destructivos y no destructivos.

En el capítulo 3. Denominado desarrollo de la propuesta, empezamos realizando un flujograma del proceso a seguir para la realización de los diferentes análisis en las bielas, luego se calcula la fuerza que se transmite al pistón en cada ciclo, se analiza el ciclo de explosión al ser el más crítico dentro del funcionamiento del motor después se realiza el estudio de las bielas en condiciones de columna, además se detalla cómo se realizó las micrografías, ensayos de dureza, ensayos no destructivos por tintas penetrantes y partículas magnéticas, finalmente se somete a las bielas a un ensayo experimental en la máquina de ensayos universales para determinar la carga mecánica máxima que estas soportan, estos resultados se comparan con los valores obtenidos en la simulación en SolidWorks, validando el estudio.

En el capítulo 4. Se realiza la recopilación de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos y se compara estos valores con los obtenidos en la simulación en SolidWorks, comparando la carga máxima que soportan las bielas original y alterna, así como el factor de seguridad respectivamente.

ABSTRACT

This research is carried out on the connecting rods of the Mazda BT-50 diesel 2500cc because it is one of the most commercialized in the country, the connecting rods are a fundamental part for the operation of the engine is for this reason that the analysis must be performed Mechanical and metallurgical to ensure that they comply with a safety factor according to the effort to which they are subjected.

In Chapter 1. The introduction of the thesis project is developed, where the problem is formulated, the general and specific objectives are established, as well as the justification of this investigation to determine the maximum mechanical load that supports the engine cranks of a Mazda BT-50 diesel truck by means of static tests of experimental effort and by finite elements.

In Chapter 2. The theoretical framework is written, which details the types of connecting rods, manufacturing materials, parts, the manufacturing process, profiles, heat treatments, and explains the operation of the test machine Universal, destructive and non-destructive tests.

In Chapter 3. Called the development of the proposal, we begin by making a flow chart of the process to be followed to perform the different analyzes on the connecting rods, then calculate the force transmitted to the piston in each cycle, analyze the cycle of explosion Being the most critical within the operation of the engine then study of the connecting rods under column conditions is carried out, as well as how micrographs, hardness tests, non-destructive tests by penetrating inks and magnetic particles were carried out, and finally the rods were subjected to an experimental test in the machine Universal tests to determine the maximum mechanical load they support, these results are compared with the values obtained in the simulation in SolidWorks, validating the study.

In Chapter 4. The results obtained in the different tests are compiled and these values are compared with those obtained in the simulation in SolidWorks, comparing the maximum load supported by the cranks of origin and alternates, as well as the factor of security respectively.

CAPÍTULO I

1. Problema de Investigación

1.1 Antecedentes

Las bielas son un elemento indispensable dentro del motor, cuyo objetivo es de transmitir la potencia al cigüeñal, y garantizar su funcionamiento, además tiene que poseer un factor de seguridad acorde al trabajo y los esfuerzos a los que están sometidas.

El factor de seguridad recomendado para las bielas de los motores diésel es igual al de los motores a gasolina y este debe ser de 18 % (Amé, 2011, pág. 29).

En la marca Renault se observó la falla del casquillo de biela en motores de inyección directa de combustible (dCi), lo que ocasiono una demanda de más de 600 casos similares lo preocupante es que esto se observa también en la marca Nissan que ocupa el mismo propulsor en sus motores dCI. La multinacional francesa solamente afrontó las averías durante los periodos de garantía y alegan que la rotura se produce en piezas que deben durar toda la vida del motor (Martin, 2015, pág. 2).

Estudios realizados en la Escuela Politécnica Nacional en un motor de un automóvil tipo sedán, determinaron la causa de la rotura de la tercera biela por un golpe hidráulico debido al ingreso de agua al motor, ocasionando una elevada carga en la cámara de combustión al encontrarse fluido incompresible (Burgos & Freire, 2008, pág. 97).

Además, existen factores de fabricación (fisuras) que podrían reducir la vida útil de las bielas, en el artículo publicado en la revista Scielo señala que los defectos de manufactura, poros y fisuras aumentan la concentración de esfuerzos, contribuyendo a la falla del elemento mecánico (Porrás & Rodríguez, 2010, pág. 5).

Estudios realizados en la Universidad de Buenos Aires en una biela del motor de un automóvil la cual presentó una fracturada en el tercio medio de su longitud sobre la que se realizaron análisis químico, metalográfico, de dureza y fractográfico se demuestra que el material de las bielas corresponde a un acero SAE 1141, el cual no concuerda con los requerimientos del fabricante concluyendo que la biela superó la tensión de fluencia del material y falló (Sarra, 2010, pág. 9).

Por lo tanto, es importante conocer cuál es el factor de seguridad y la carga máxima que soportan las bielas de diferentes procedencias de la camioneta Mazda BT-50 diésel.

1.2 Planteamiento del problema

En el mercado se encuentra una gran variedad de automotores los cuales se diferencian por su origen entre estos tenemos los vehículos de procedencia China los cuales debido a su fácil accesibilidad en su costo ganan espacio en el mercado. Martín (2015) en su artículo escrito en el diario el confidencial de Europa “Admitida a trámite una demanda contra Renault por fallo en sus motores dCi” señala que marcas conocidas como Renault que en el 2015 tuvo una demanda en Europa por parte de sus compradores debido a un problema en el casquillo de biela del propulsor ocasionando una falla a los 138.000 kilómetros, esto tuvo graves consecuencias para la marca Renault y para Nissan ya que estas marcas también usan este mismo tipo de casquillo en sus motores dCI, además Burgos & Freire (2008) en su trabajo de titulación “Análisis de fallas atípicas ocurridas en motores de combustión interna, tanto estacionarios como móviles en el Ecuador” concluye que por un golpe hidráulico se produjo la rotura de la tercera biela en un vehículo tipo sedán.

Por esa razón se ve la necesidad de realizar un análisis de la resistencia mecánica de las bielas de la camioneta Mazda BT 50 por ser una de las marcas más comercializadas en el país, para determinar si existe sobredimensionamiento y cuál es el factor de seguridad que tienen sus bielas.

1.3 Formulación del problema

¿Cuál es la carga mecánica máxima a compresión que soportan las bielas de diferente procedencia del motor de una camioneta Mazda BT-50 2500cc?

1.4 Delimitación

1.4.1 Temporal.

Este proyecto se llevará a cabo desde el mes de junio del 2016 hasta el mes de junio del 2017.

1.4.2 Espacial.

Este proyecto se llevará a cabo en los talleres de la Universidad Técnica Del Norte y en laboratorios de la Universidad Politécnica Nacional de la ciudad de Ibarra y Quito respectivamente.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Determinar la carga mecánica máxima a compresión que soportan las bielas del motor de una camioneta Mazda BT-50 diésel mediante ensayos estáticos de esfuerzos experimentales y por elementos finitos, en la máquina de ensayos universales y un programa de modelado y simulación computacional respectivamente.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Realizar ensayos no destructivos en las bielas de la Mazda BT-50 para verificar posibles fisuras o daños en el material que puedan influir en los resultados finales.
- Efectuar el análisis por elementos finitos en un software de modelado y simulación para determinar la carga máxima a compresión que soportan las bielas.
- Cotejar el análisis por elementos finitos con el ensayo experimental en la máquina de ensayos universales.
- Determinar el esfuerzo máximo a compresión que soportan las bielas y a su vez comparar con el esfuerzo real al que están sometidas dentro del motor

1.6 Justificación

El presente trabajo se lo realiza por la inseguridad en las personas al encontrar una gran variedad de bielas para el mismo tipo de vehículo y no tener la certeza de optar por una biela original de mayor precio o una genérica más económica, también de la incertidumbre que se crea al tener bielas de diferente procedencia y no saber cuál es la mejor opción.

Además, estudios realizados demuestran que existen fallas en las bielas de vehículos en marcas conocidos en el país.

Páez Andres (2012) En su artículo “El top 5 de los autos más vendidos en el Ecuador” escrito en el diario el Norte señala que las camionetas más comerciales en la provincia de Imbabura según las encuestas realizadas son la Chevrolet LUV D`max, Mazda BT-50, Ford F-150, Chevrolet Silverado y Toyota Hilux para el transporte de carga dentro de la provincia, según estos datos se debería enfocar este tipo de estudio en el análisis de los materiales del que están conformadas las bielas de estos automotores.

Este estudio se realizó en la camioneta Mazda BT 50 por ser una de las marcas más comerciales en el país pudiendo conocer la carga estática máxima que soportan las bielas de dicha camioneta en el ciclo de explosión debido a que en este ciclo las bielas soportan mayor esfuerzo, además se realizó un ensayo de elementos finitos en un software de modelado y simulación computacional que comparamos con los datos obtenidos en la máquina de ensayos universales logrando determinar el factor de seguridad de diseño y a su vez determinar si existe sobredimensionamiento.

1.7 MARCO METODOLÓGICO.

1.7.1 Tipo y diseño de la Investigación

Este trabajo se lo realiza con el fin de determinar la carga máxima que soportan las bielas de una de las camionetas más comerciales en el país, para ello se tendrá que realizar varios ensayos los cuales son de gran ayuda en la realización de este trabajo investigativo.

El análisis experimental que se realizó en las bielas con ayuda de la máquina de ensayos universales es el ensayo a compresión, para así obtener la carga mecánica máxima que estas soportan, además se realizará pruebas no destructivas para verificar que los elementos no presenten fisuras que puedan influenciar en los resultados.

Finalmente, se realizará las micrografías en las bielas para determinar el tipo de material que las conforman y sus propiedades mecánicas.

Para la correcta realización de los ensayos se toma en cuenta los siguientes métodos de investigación:

1.7.2 Exploratorio.

Se lo usa en la realización de un diagnóstico inicial de la máquina de ensayos universales y a su vez en la realización de pruebas bajo esfuerzos de compresión, además en la

ejecución de ensayos no destructivos en las bielas de una forma correcta para observar posibles fisuras o grietas que estas pudieran tener.

1.7.3 Descriptivo

Se tiene que seguir un proceso en el cual se debe describir paso a paso, lo que se observa en los dos tipos de ensayos que se realizó y se determinó la resistencia máxima en las bielas y si estas tienen fisuras las cuales pudieran influir en el resultado final.

1.7.4 Explicativo.

En este nivel se pretende explicar los resultados obtenidos y determinar el factor de seguridad que poseen las bielas de la camioneta Mazda BT 50 diésel.

1.7.5 Investigación documental- bibliográfica.

La investigación bibliográfica permitió establecer niveles de conocimiento y comprensión realizando una descripción clara y analítica, utilizando la recolección de información y análisis de documentos que proporcionen datos técnicos permitiendo profundizar criterios de documentos bibliográficos e internet, de esta manera sustentar teóricamente los objetivos planteados para determinar la carga estática máxima a compresión que soportan las bielas de la camioneta Mazda BT-50 diésel y concluir obteniendo un factor de seguridad de las mismas.

También los libros nos proporcionaron información fundamental para la elaboración de este trabajo de grado entre ellos se tiene:

- Jovaj
- MOTT Robert
- Shigley y Mishchke
- ASM Metals Handbook
- Hibbeler.
- Norton R.

1.7.6 Investigación Tecnológica.

Para este trabajo se cuenta con buscadores en línea que facilitaran esta investigación, entre los cuales tenemos:

- Science direct
- IEEE.
- EBSCO
- Aficionados a la mecánica.
- Google Académico.
- Scopus
- SAE
- Biblioteca virtual UTN.
- Researchgate

Además, se tiene gran ayuda de la tecnología para la realización de los ensayos a compresión en la máquina de ensayos universales, ensayo de elementos finitos en un software de modelado y simulación computacional y también se cuenta con microscopios para la elaboración de las micrografías.

1.8 Métodos Teóricos.

1.8.1 Método Histórico- Lógico.

Emplea en la justificación, estado del arte y planteamiento del problema hechos históricos que tienen gran relevancia para este trabajo.

1.8.2 Método inductivo deductivo.

Ayuda a comprender la información recolectada sobre los ensayos no destructivos y el ensayo a compresión en las bielas con la finalidad de un mejor aprendizaje y puesta en práctica para obtener resultados en cuanto a la carga máxima que soporta las bielas especificadas anteriormente.

1.8.3 Método Matemático.

Permite utilizar modelos matemáticos como: series de ecuaciones, métodos lineales, los cuales son importantes para el cálculo de la fuerza de explosión, este valor se compara con la fuerza del ensayo experimental para obtener el factor de seguridad de las bielas.

1.9 Métodos Empíricos.

1.9.1 Experimentación.

Este método nos permite realizar los ensayos basados en las normas y procedimientos vigentes, observar la reacción de las bielas en cada proceso del ensayo a compresión y se precisa la utilización de la máquina de ensayos universales.

1.9.2 Medición.

Ayuda a recolectar información numérica de cada uno de los diferentes ensayos que se realizó para posteriormente cotejar estos resultados, estos datos son necesarios para el diseño de las bielas en el software de modelado.

1.9.3 Observación.

La observación ayuda a visualizar el comportamiento de las bielas en los diferentes tipos de ensayos y sobre todo en los ensayos no destructivos que previamente se realizó.

1.9.4 Técnicas e instrumentos

En esta investigación se utilizará las siguientes técnicas como son:

- Ensayo no destructivo (Tintas penetrantes y partículas magnéticas)
- Ensayo a compresión en la máquina de ensayos universales.
- Diseño de las bielas en un programa de modelado (SolidWorks)
- Ensayo de materiales y cálculo de esfuerzos.
- Recolección de datos de los ensayos (fotos- videos -fichas técnicas)
- Micrografías (lijas, alúmina y microscopios)

CAPÍTULO II

2 Marco Teórico

2.1 Antecedentes históricos.

2.1.1 Antecedentes

La biela es el elemento que permiten la transmisión de esfuerzos del pistón al cigüeñal en motores de combustión interna, por esta razón debe ser sometida a estudios que garanticen un factor de seguridad acorde al trabajo para el que fueron diseñadas.

A continuación, se detallan algunos de los estudios realizados en las bielas:

M. Ilman y A. Barizy (2014) en su artículo “Failure analysis and fatigue performance evaluation of failed connecting rod of reciprocating air compressor”, indican haber realizado su estudio debido a la fractura de una biela de un compresor, realizaron diversos ensayos como: análisis microscópico, fractográfico y metalográfico.

Estos estudios determinaron que la pérdida de lubricación incremento el daño superficial de la biela observando un desgaste abrasivo originado por el aumento de fricción, además señalan que la fuerza tangencial se encuentra en un rango peligroso causando la ruptura de la microsoldadura, como efecto de esto se observa un aumento considerable de desgaste y aumento de temperatura, estos factores provocaron esfuerzos de flexión en la biela produciendo la fractura de forma dúctil.

Moon Kyu Lee, Hyungyil Lee, Tae Soo Lee y Hoon Jang (2010) en su artículo “Buckling sensitivity of a connecting rod to the shank sectional area reduction”, realizan su investigación sobre el pandeo de la biela de un vehículo marca Suzuki Sprint 1.0 y para encontrar cual fue el motivo de la falla realizaron simulaciones en CATIA ANSYS 15 y el método de elementos finitos (FEM).

Al realizar estos análisis obtuvieron como resultado que la tensión inducida en el extremo más grande de la biela es mayor que en el extremo más pequeño.

Por lo tanto, la biela no tiene una distribución adecuada de las cargas provocando el pandeo en el cuerpo de la misma, este estudio ayudo a mejorar gradualmente el diseño en el área de la sección transversal de la biela para así poder realizar análisis de pandeo en condiciones de carga y estrés variables.

C. Cravino, G. Cardús, H. Svoboda y H. De Rosa (s.f) en su estudio denominado “Evaluación de la Falla de una Biela de Automotor” indican que su investigación se basa en la fractura de la biela de un automotor, para este estudio se realizó una inspección visual del elemento, análisis químico, análisis de dureza, análisis fractográfico, ensayo de tintas penetrantes, estereomicroscopía óptica y microscopía electrónica de barrido.

Estos ensayos permitieron obtener los siguientes resultados preliminares: no se encontraron defectos microestructurales o superficiales en la materia asociados a la falla, la superficie de fractura presenta un comienzo frágil que finaliza con las características fibrosas de un proceso dúctil, se pudo observar que la biela se encuentra deformada plásticamente en el cuerpo de la misma perpendicular al eje de giro, la deformación sigue un patrón de distorsión con tres nodos de flexión; en el centro zona de fractura y en las adyacencias de los extremos donde la pieza se articula con el pistón y el muñón del cigüeñal.

Al realizar el análisis químico, análisis de dureza y fractográfico se observa que el material no cumple con el especificado por el fabricante, debido a que presenta un exceso en el contenido de azufre y cobre, con estos resultados se puede afirmar que el exceso de S y Cu podría generar defectos en el proceso de fabricación que conducirían a la reducción de la ductilidad y resistencia al impacto.

Esta es la probable causa de la falla del componente y puede atribuirse a una sobrecarga que produjo que se supere el límite elástico del material y que posteriormente se diera el pandeo en el cuerpo de la biela.

Todo lo anterior varía bruscamente su geometría fracturándose debido a los esfuerzos sometidos.

Bai-yan He, Guang-da Shi, Ji-bing Sun, Si-zhuan Chen y Rui Nie (2013) en su artículo titulado “Crack analysis on the toothed mating surfaces of a diesel engine connecting rod” señalan que su estudio se basó en el análisis de fallas de una biela utilizada en un grupo electrógeno diésel (motor utilizado para mover una turbina), donde se realizó diversos ensayos experimentales como: examen metalográfico, de fractura, de composición química, microscopía de la fractura, pruebas de dureza, ensayos de tracción y análisis por elementos finitos (FEM).

El examen metalográfico y el análisis de fractura indican que la fatiga es el principal mecanismo de grietas, un ajuste inadecuado en un perno junto con la tensión del ciclo durante las operaciones del motor podría causar la generación y extensión de las grietas. El material de la biela tiene un alto rendimiento de tenacidad, la optimización de enfriamiento y templeado redujeron la dureza llevándola a una mayor elasticidad.

La conclusión de este estudio determina que la falla de la biela se produjo por un apriete inadecuado de los pernos de bancada del cigüeñal produciendo altas tensiones en esta zona lo que conlleva a la rotura de la biela.

2.1.2 Máquinas Simples: Mecanismo biela-manivela.

Desde la antigüedad la humanidad ha utilizado sistemas que le permitan facilitar el trabajo o conservar su energía, estos elementos son conocidos como maquinas simples.

Leonardo Da Vinci en 1452 se basó en estudios realizados por Herón y Arquímedes, para determinar 5 máquinas simples las cuales son: palanca, rueda, rodillo, cuña y plano inclinado. Estas máquinas fueron usadas y combinadas por Da Vinci para obtener nuevos logros que le ayuden a alcanzar nuevos horizontes con sus creaciones.

En 1736 Charles De Coulomb publicó el tratado de las máquinas simples la cual dice: “Una máquina simple es un mecanismo que transforma en trabajo ventajoso la fuerza usada”, es decir, “una máquina simple transforma una fuerza aplicada en una fuerza saliente, según el principio de conservación de la energía” (Tippens, 2011).

Para nuestro estudio se toma en cuenta el sistema biela manivela, el cual se utiliza en los motores de combustión interna, este mecanismo transforma el movimiento lineal en el pistón a movimiento circular en el cigüeñal, para poderlo aprovechar en el movimiento del vehículo.

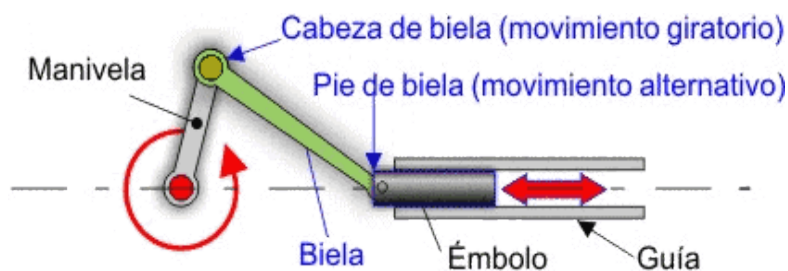


Figura 1. Sistema biela- manivela.

Fuente: (Secundino & Rivas, 2009)

2.2 Definición de biela.

Se conoce como biela al mecanismo que, sometido a esfuerzos de compresión o tracción, transmite el movimiento provocado por la fuerza del ciclo de explosión al cigüeñal.

Las bielas son un elemento indispensable en los motores de combustión interna y en compresores alternativos. Son diseñados específicamente para conectarse con un pistón y el cigüeñal. Este mecanismo es conocido como mecanismo biela-manivela (Conesa Ferrer, 2011, pág. 25).

Su perfil según el diseño tiene la forma de H, I o +, los materiales más utilizados en la fabricación de las bielas son acero, titanio y aluminio.

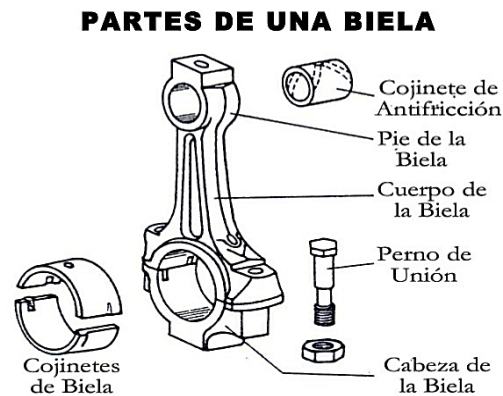


Figura 2. Partes de una biela.

Fuente: (Nerio, 2015).

En la industria automotriz las bielas son fabricadas mediante forja, pero algunos fabricantes las hacen por medio del maquinado.

2.3 Comprobaciones en la biela

Munive & Reyes (2013) En su tesis “Manufactura de una biela de un motor alternativo de uso aeronáutico” indican que se debe tener en cuenta las siguientes comprobaciones en las bielas.

2.3.1 Alineación de las bielas: Se debe alinear los 2 casquillos de las bielas para conseguir un correcto acoplado entre el pistón y el cigüeñal (pág.24).

2.3.2 Control del diámetro del casquillo del pie de la biela: Se debe medir el casquillo para que esté dentro de la tolerancia adecuada, caso contrario se debe sustituir

considerando que deben tener un acoplado perfecto para que funcionen sin novedad (pág.26).

2.3.3 Control del diámetro interior de la cabeza de biela: Se debe revisar este casquillo para que en el momento del apriete este sea igual en todos, de lo contrario existirá sobre esfuerzos en diferentes puntos por aprietes inadecuados, provocando un mal funcionamiento y daños de los elementos (pág.30).

2.3.4 Control del peso de las bielas: Es necesario controlar el peso de las bielas con el fin de mantener un equilibrio en todos los elementos móviles (pág.32).

2.4 Elementos de las bielas.

Munive & Reyes (2013) en su artículo comentan que las bielas son una parte mecánica que principalmente consta de 3 partes.

2.4.1 Cabeza de biela.

Es la parte que está en contacto con el muñón del cigüeñal, la cabeza de biela está dividida en 2 partes, una que es parte de la biela y la otra llamada sombrerete las cuales están unidas por tornillos de acero que se inmoviliza en el montaje para evitar que se afloje en su funcionamiento. Las 2 superficies cilíndricas están revestidas por un cojinete dividido en 2 mitades ubicadas, una en el cuerpo de biela y la otra en el sombrerete (pág.9).

2.4.2 Pie de biela.

Es la parte con el orificio de menor diámetro, el cual une la biela con el pistón por medio del bulón, consta con una perforación la cual tiene como misión la lubricación de la unión, este agujero va montado de manera forzada en el cojinete de fricción, además no existe movimiento rotativo sobre la superficie interior del agujero por lo que la biela puede estar construida con acero bonificado (pág.9).

2.4.3 Cuerpo de biela

Es la parte central de la biela, algunas veces presenta un orificio que utiliza para llevar el aceite y lubricar ciertas zonas y evitar un desgaste mayor al esperado, el diseño del cuerpo de la biela es fundamental debido a que esta parte es la que soporta los esfuerzos de trabajo y es la parte donde se producen fallos fisuras o ruptura de la misma (pág.9).

2.4.4 Equilibrio de bielas

Las bielas se fabrican con protuberancias para mantener el equilibrio, dependiendo del motor y marca, unas tienen estas protuberancias para equilibrar la tapa de la biela y otras para equilibrar arriba del pistón (Mecánica.org, 2010, pág. 5).

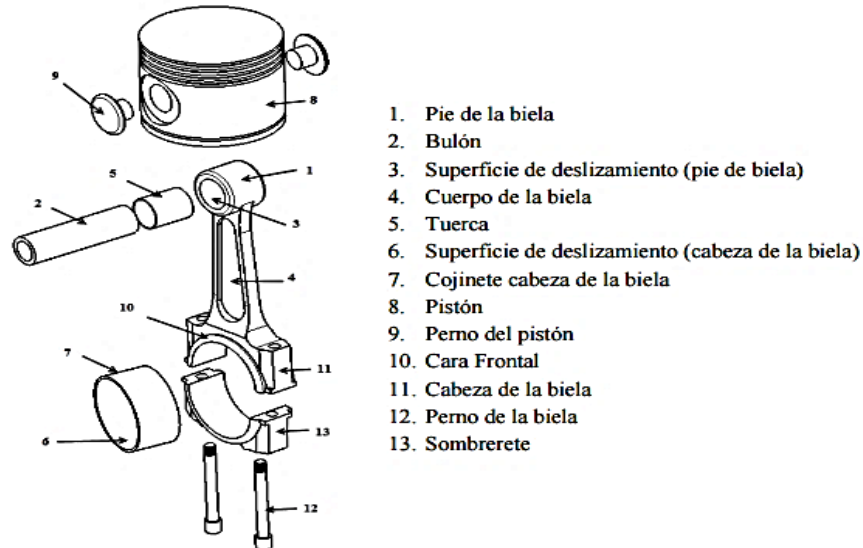


Figura 3. Esquemático de la biela.

Fuente: (Mecánica.org, 2010)

2.4.5 Agujero de alivio

Casi todas las bielas constan de un agujero de alivio que conduce parte del aceite del muñón a la biela en los motores en línea, el aceite es lanzado a lo alto desde el agujero de alivio dentro del cilindro en el que está la biela (Mecánica.org, 2010, pág. 6).

En los motores en V es lanzado dentro de un cilindro en el banco opuesto el aceite lanzado desde la biela se apunta de modo que salpique el interior del pistón, esto ayuda a lubricar el pasador del pistón.

2.5 Tipos de bielas

En función de cómo se une el sombrerete se clasifican en 2 tipos:

2.5.1 Biela enteriza: Es aquella cuya cabeza de biela no es desmontable. En esos casos el conjunto cigüeñal-bielas no se puede desmontar, el cigüeñal se desmonta en las muñequillas del cigüeñal (Munive & Reyes, 2013, pág. 10).



Figura 4. Biela entera.

Fuente (Chávez& Gavilanes, 2016. pág. 13)

2.5.2 Biela aligerada: El ángulo formado el plano que divide las dos mitades de la cabeza de biela no forma un ángulo recto con el plano medio de la biela que pasa por los ejes de pie y cabeza, cuando esto sucede se dice que la biela es aligerada (Munive & Reyes, 2013, pág. 10).



Figura 5. Biela aligerada.

Fuente: (Secundino & Rivas, 2009)

2.5.3 Bielas para motores en V

Se tiene 3 tipos de bielas para los motores en V.

- Bielas ahorquilladas.
- Bielas articuladas.
- Bielas conjugadas.

A. Bielas ahorquilladas

Este tipo de biela tienen un casquillo que las une para que trabajen en el mismo codo del cigüeñal, la ventaja es que las bielas se unen a perfección y no existen esfuerzos adicionales en la carrera (Sanchez, 2012, pág. 30).

Sus principales ventajas son el acoplamiento perfecto del casquillo disminuyendo los esfuerzos adicionales en la carrera además de mejorar su vida útil, pero el alto costo de fabricación y los esfuerzos provocados en el cojinete del cigüeñal son sus desventajas (Sanchez, 2012, pág. 30).

B. Bielas articuladas.

La articulación de la biela secundaria se la realiza en la cara lateral de la principal, emplea un cojinete para la unión, el costo es más barato y son fáciles de construir.

Este tipo de bielas tiene un bajo costo de fabricación y una construcción sencilla, pero el inconveniente son los esfuerzos laterales en el émbolo y los esfuerzos de flexión en la biela (Sanchez, 2012, pág. 34).

C. Bielas conjugadas.

Estas son las más utilizadas para los motores en V por ser iguales e independientes al momento de realizar el trabajo, se articula en el mismo codo del cigüeñal (Sanchez, 2012, pág. 34).

Estas bielas tienen un funcionamiento independiente a pesar de encontrarse acopladas en el mismo codo, su desventaja es el rozamiento en la cabeza de biela por esta razón requieren un tratamiento térmico en esta zona (Sanchez, 2012, pág. 40).

2.6 Fallas y roturas de bielas

La falla de las bielas se produce por diferentes factores, entre los más principales tenemos:

2.6.1 Rotura de bielas debido a fuerzas excesivas

Estas fuerzas están presentes en todo momento del ciclo de funcionamiento del motor, la fuerza de presión que se genera dentro del cilindro se transmite por el pistón y las fuerzas propias se generan por la imposición de inercia (Caterpillar, 2012).

2.6.2 Rotura de bielas debido a una lubricación inadecuada en sus metales.

La falta o deficiencia de lubricación ocasiona cavitaciones que dañan los elementos que están en contacto.

2.6.3 Análisis de fallas de una biela.

Antes de analizar las fallas se debe tener claro porque sucede esto, los daños y los indicios más frecuentes.

- Fractura por fatiga
- Fractura dúctil/quebradiza
- Corte por impacto

A. Fractura por fatiga

Se da por las cargas cíclicas a las que están sometidas las bielas y la localización de esfuerzos en determinados sectores. En algunos casos en la zona de la fractura no se observa deformación plástica (Caterpillar, 2012).

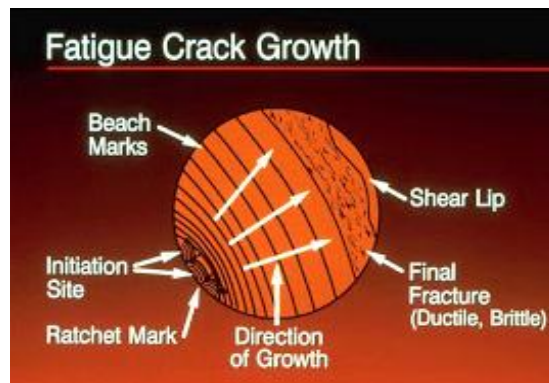


Figura 6. Fractura por fatiga

Fuente: (Caterpillar, 2012)

B. Fractura dúctil

Se debe por una conducción severa. Suceden en minutos y presenta en la fractura cortes de tamaño considerables, también presenta deformación plástica (Caterpillar, 2012).



Figura 7. Fracturas dúctiles.

Fuente: (Caterpillar, 2012)

C. Corte por impacto

Se produce cuando un elemento golpea con fuerza a otro, se observa una superficie lisa y sedosa, además se puede observar golpes o abolladuras en las zonas próximas (Caterpillar, 2012).



Figura 8. Corte por impacto.

Fuente: (Caterpillar, 2012)

Para observar las fracturas se debe disponer de un sitio con una adecuada iluminación y para su limpieza se debe utilizar disolventes de evaporación rápida.

D. Fallas anormales y por mano de obra

En las bielas se presentan fallas en el mecanizado, por condiciones de operación anormales o por mano de obra, sin importar la causa es importante seguir este proceso para la resolución de estas fallas.

Las condiciones de trabajo anormales más comunes son:

- Fuerzas externas
- Fallas de cojinetes
- Errores de reacondicionamiento (reutilización de piezas dañadas)
- Pernos rotos o flojos.

a) *Fuerzas externas*

Las bielas tienden a doblarse por fuerzas no comunes aplicada sobre las mismas, por otro elemento en movimiento o por el movimiento restringido del pistón para ello se debe revisar si no existen indicios de golpes en la biela o daños en el pistón (Caterpillar, 2012).



Figura 9. Daños por fuerzas externas.

Fuente: (Caterpillar, 2012)

b) Falla de cojinetes

Los cojinetes ayudan al buen funcionamiento del sistema, pero si no funcionan correctamente contribuyen a que existan fallos.



Figura 10. Falla de bielas.

Fuente: (Caterpillar, 2012)

En el informe menciona que la biela se fracturó en el vástago y averió el conjunto. Pero al examinar detenidamente las fracturas en la parte inferior del pistón son ásperas y opacas, lo que indica que la rotura es dúctil/quebradiza. El pistón se dañó porque otras piezas que fallaron primero (Caterpillar, 2012).

En este caso fallaron los cojinetes provocando una carga de esfuerzos los cuales averiaron el resto del conjunto biela- manivela.



Figura 11. Falla de cojinetes.

Fuente: (Caterpillar, 2012)

c) Errores de reacondicionamiento

Al reparar un motor es aconsejable cambiar todo el kit no reutilizar elementos que aparentemente estén en buen estado porque pueden causar averías o disminuir la vida útil del resto de elementos.

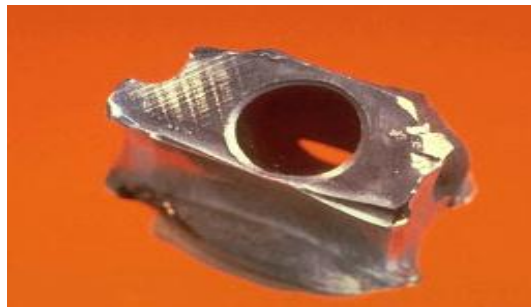


Figura 12. Fallo por reutilización de piezas.

Fuente: (Caterpillar, 2012)

d) Pernos flojos o rotos

Los pernos flojos o rotos dañan las bielas, un apriete adecuado según el catálogo del fabricante evita este tipo de problemas.



Figura 13. Falla por pernos rotos o flojos.

Fuente: (Caterpillar, 2012)

2.7 Síntomas de biela rota o dañada

Los síntomas que se puede evidenciar en el automóvil cuando se rompe o dobla una biela son:

2.7.1 Ruido bajo el capó

Cuando se maneja y de pronto comienza un ruido de golpe y comienza a temblar el vehículo, seguramente se ha roto una biela. Lo que implica cambiar esta biela es horas de trabajo y un costo elevado, por lo que se tiene que desarmar el motor en su totalidad (Caterpillar, 2012).

2.7.2 El motor comienza a fallar

La rotura de la biela también implica una mala o deficiente lubricación en el sistema, ya que el esfuerzo excesivo llega a fatigar el material y posteriormente causa la fractura (Caterpillar, 2012).

2.7.3 Montaje incorrecto

Para armar un motor se debe tener las herramientas adecuadas y estar con los 5 sentidos para no cometer errores que implican pérdida de dinero y tiempo, en este caso la fractura de una biela (Caterpillar, 2012).

2.8 Materiales de las bielas

La biela es un elemento indispensable capaz de transmitir potencia y transformar el movimiento, en su funcionamiento está sometida a fuerzas de flexión, tracción y compresión, por esta razón el material del que se le construye debe soportar estas fuerzas, ser ligero además tiene que garantizar su buen funcionamiento, el acero AISI 4340 es el más común en la fabricación de bielas (Gonzales Leon, 2008).

Para la fabricación de las bielas se tiene que tomar en cuenta, las cargas que soportan y además en sus extremos deben soportar las fuerzas de corte debido a los elementos que sujeta.

La biela presenta grandes esfuerzos en el cuerpo de la misma, por ser la parte donde tiene menor cantidad de material, también otros puntos críticos es la zona del bulón.

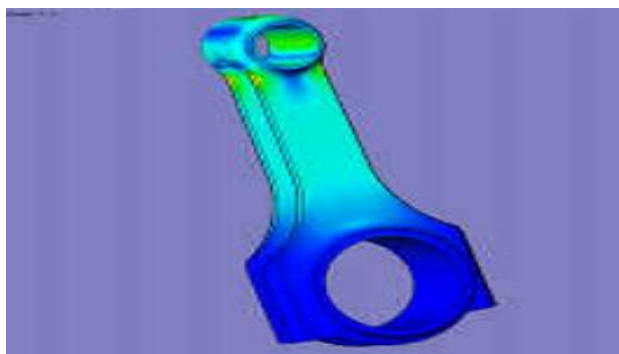


Figura 14. Esfuerzos en las bielas.

Fuente: (Gonzales Leon, 2008)

Los materiales más utilizados en la fabricación de las bielas son:

2.8.1 Acero al carbono. (AISI 4340) aleado con cromo (Cr) y níquel (Ni), para una mayor resistencia (A. Strozzi, 2016, pág. 17). A continuación, se detallan en la tabla 1 las especificaciones de este material.

Tabla 1. Propiedades mecánicas del acero AISI 4340

Dureza	95 Rockwell B
Esfuerzo de tensión máximo	745 MPa
Esfuerzo de tensión admisible	470 MPa
Porcentaje de alargamiento	22%
Reducción de área	50%
Módulo de elasticidad	205000 MPa
Módulo de volumen	140 MPa
Relación de Poisson	0.29
Módulo de corte	80000 MPa

Fuente: (Caterpillar, 2012)

2.8.2 Acero templado. - Es un acero sometido a un proceso térmico de templado para mejorar las propiedades del material, este proceso se consigue elevando la pieza a una determinada temperatura por el lapso de una hora, después de este tiempo se lo enfría rápidamente obteniendo mayor dureza y resistencia, con este proceso el acero logra conseguir límites elásticos de $260 - 1300 \frac{MN}{m^2}$ y límites de rotura de $500 - 1880 \frac{MN}{m^2}$, como el acero es fácil de conseguir su costo es barato (C. Cravino, 2003).

2.8.3 Fundición Nodular G 80-55- 06. – Este tipo de fundición se obtiene con aleaciones a base de hierro con diversos contenidos de carbono y silicio, con la fundición se produce propiedades deseables como alta ductilidad, resistencia, buen maquinado, buena fluidez para la colada, buena endurecibilidad y tenacidad, soporta una carga de 98.5 KN y son utilizadas en vehículos Chevrolet Corsa (Imbaquingo & Puente, 2011, pág. 20).

2.8.4 Aluminio. - Este es uno de los materiales más utilizados por su bajo costo y peso ligero, en la actualidad se utiliza el aluminio con aleaciones de cromo, cobalto y níquel para aumentar sus propiedades físicas, para la elaboración de piezas se tiene 2 procesos que son por fundición y mecanizado y sus características son: límite de elasticidad $100 - 627 \frac{MN}{m^2}$ y el límite de rotura $300 - 700 \frac{MN}{m^2}$ (C. Cravino, 2003).

2.8.5 Titanio. Este material es extremadamente resistente por lo que se requiere de maquinaria especial para su manipulación y a su vez es muy caro, además tiene un peso ligero, en la actualidad se utiliza en los carros de competición debido a sus propiedades mecánicas que posee este material, su resistencia elástica es de $180 - 1320 \frac{MN}{m^2}$ y su límite de rotura es de $300 - 1400 \frac{MN}{m^2}$ (C. Cravino, 2003)

2.8.6 Acero AISI 1060. Este material es utilizado para la fabricación de las bielas de los vehículos Kia Rio, la fuerza que soporta este tipo de material es de 116,22 KN (Imbaquingo & Puente, 2011, pág. 21).

2.8.7 Acero AISI 4140. Bielas que por su material son muy resistentes presentan una resistencia a la carga de 111,02 KN, debido a sus grandes propiedades mecánicas se utiliza en la fabricación para bielas de vehículos Volkswagen Gol (Imbaquingo & Puente, 2011, pág. 21).

2.9 Proceso de manufactura de las bielas.

Las bielas se fabrican mediante forja, mecanizado, templado, fundición entre otros.

2.9.1 Forjado. - Este proceso consiste en calentar una barra de acero y moldearle para luego mecanizar las zonas que permiten el movimiento con esto se busca mejorar las propiedades mecánicas del material, estudios realizados demuestran que las propiedades mejoran en un 20 % (CJ & Luri, 2015)

El proceso inicia con una barra de acero en bruto, esta barra se corta en pedazos más pequeños las dimensiones de esta barra se asemejan a la de la biela terminada, en este proceso el 20 % del material es la biela el resto será viruta.

Las barras de acero se someten a temperaturas en un horno hasta alcanzar los 1200°C, una vez alcanzado esta temperatura el material se encuentra en condiciones plásticas y se utiliza un juego de matrices de estampación para moldear la barra hasta obtener la pieza en bruto (Logan, 2014, pág. 44).



Figura 15. Biela en bruto con rebaba

Fuente: (Logan, 2014)

La biela en bruto es removida del molde y se observan las rebabas características del proceso de forja, el proceso de forjado otorga al material la estructura orientada longitudinalmente.

Esta característica de distribución en la estructura da a la biela la resistencia necesaria a esfuerzos de tracción y compresión. Así mismo, la estructura orientada protege de posibles roturas, dado que una grieta tiende siempre a expandirse en la dirección de las líneas de textura y no en dirección transversal, donde hay una sección mucho menor (Logan, 2014, pág. 40).

Luego de la obtención de la biela en bruto se procede a retirar el exceso y realizar las perforaciones en la cabeza y pie de la biela.



Figura 16. Separación de la semicabeza de biela mediante presión.

Fuente: (Scantech Laser, 2014)

Finalmente, con la geometría y las propiedades mecánicas finales alcanzadas, queda únicamente el proceso de separación de la semicabeza de la biela. En este punto de la fabricación ambas semicabezas se encuentran unidas, ya que es la mejor manera de asegurar el calibrado del orificio mayor. Los fabricantes tienen en este punto dos opciones, se puede realizar la separación mediante un corte o mediante fractura.

2.9.2 Mecanizado. - Proceso de arranque de material por el cual una pieza de acero se le da la forma deseada.

El proceso inicia con una barra de acero 4340, el cual se corta en pedazos pequeños con las medidas semejantes a la pieza que se desea realizar.

Este proceso es conocido por el arranque de viruta que se realiza en diferentes máquinas para obtener la pieza deseada en este caso la biela y en este proceso es preciso que no existe imperfecciones (Pazos, 2008, pág. 66).

Máquinas y herramienta.

Por medio de herramientas como el torno, fresadora, taladro y rectificadora se consigue obtener diversos acabados.

A. Torno.

Se aplica en piezas geométricas de revolución es decir que se da forma a una pieza de acero cuando esta gira a grandes revoluciones esto se obtiene mediante unas cuchillas las cuales arrancan el material de la barra de acero hasta obtener la pieza deseada (Pazos, 2008, pág. 66).

B. Fresadora.

Es el complemento del torno, debido a que realiza operaciones en superficies planas, aunque no es extraño encontrar trabajos de fresado en piezas cilíndricas (Pazos, 2008, pág. 70).

C. Taladro.

Esta máquina se utiliza para realizar agujeros y roscados en superficies planas y cilíndricas.

Las maquinas descritas anteriormente son utilizadas en el proceso de mecanizado, con estas se puede fabricar una amplia gana de piezas automotrices como son las bielas entre

otras, en la actualidad con la mecanización estas máquinas están operadas mediante software, obteniendo una precisión en las piezas elaboradas mediante este proceso (Pazos, 2008, pág. 70).

2.9.3 Fundición. – Proceso de vertido de material en un molde hueco con la forma de la pieza que se desea obtener.

Para este proceso se emplea moldes de un material de construcción capaz de resistir las altas temperaturas del material que se verterá y darle la forma deseada según el molde o machos.

Los moldes deben tener las siguientes propiedades: permeabilidad, resistencia en verde, resistencia en seco, plasticidad y otros, por lo tanto, la selección de los materiales de moldeo responderá por tanto a determinadas normas, que depende fundamentalmente de la complejidad de la pieza y el peso de esta. De esto depende la obtención del producto sano (Guangming Caoa, 2017, pág. 64).

A. Vertido de la fundición.

Para ello se toma en cuenta el tipo de cuchara, temperatura del vertido, tiempo de solidificación del material y fundición de las aleaciones (Guangming Caoa, 2017, pág. 66).

Para el vertido es importante elevar la temperatura por encima de la temperatura de fundición para que la mezcla tenga buena fluidez y mejora la capacidad de llenado en los moldes, según el material se debe consultar la temperatura óptima de vertido para no alterar las propiedades del material (Guangming Caoa, 2017).

Después de que la mezcla se solidifica se procede a extraer del molde, en la mayoría de los casos los moldes solo se ocupan una vez lo que se podría decir que las piezas fabricadas son únicas (Guangming Caoa, 2017, pág. 67).

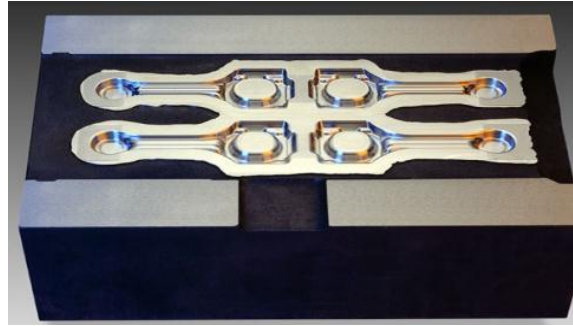


Figura 17. Molde para la fabricación de bielas.

Fuente: (Cano, 2012)

Unas veces que se extrae la pieza del molde se proceden a los acabados mediante el proceso de mecanizado, mediante este proceso las aleaciones se realizan de una manera uniforme dando mejores propiedades al material y por ende a las piezas fabricadas de este.

2.10 Perfiles estructurales de las bielas.

Según el paso de los años y con el avance de la tecnología se busca crear bielas más resistentes y ligeras para ello se han modificado en el diseño de la sección transversal, entre estas tenemos bielas con perfil estructural en cruz (+), H y en I (Imbaquingo & Puente, 2011, pág. 6).

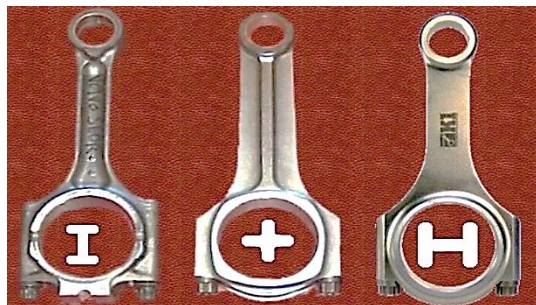


Figura 18. Perfiles estructurales de las bielas.

Fuente: (Foro BMW, 2007)

2.10.1 Bielas con perfil I.- Este tipo de bielas son las más utilizadas por su bajo costo y la accesibilidad en el mercado (Imbaquingo & Puente, 2011, pág. 6).

2.10.2 Bielas con perfil H.- Presentan mayor resistencia y menor peso, pero su precio es elevado por lo que no está al alcance de todos los potenciales compradores (Foro BMW, 2007).

2.10.3 Bielas con perfil +. - Estas bielas presentan un mejor balanceo, son muy utilizadas en vehículos de competición y en la aviación.

2.11 Ensayo no destructivo.

2.11.1 Descripción de los ensayos no destructivos.

Los ensayos no destructivos son una manera de detectar fisuras o discontinuidades en elementos metálicos y no metálicos. Las discontinuidades son un defecto que disminuyen el rendimiento de los elementos y la vida útil del mismo.

La norma ASTM E 433 (2008) dice que los ensayos no destructivos como su nombre lo dicen no afectan al material ensayado, por lo que estos pueden ser utilizados.

Este ensayo se usa para detectar defectos en los materiales antes de que estos sean puestos en servicio, además se usa periódicamente en elementos en uso, las fallas muchas veces pueden evitarse con este tipo de ensayos (pág. 1).

2.11.2 Tipos de ensayos no destructivos

Existen varios tipos de ensayos no destructivos, los más utilizados son:

- Inspección por tintas penetrantes.
- Inspección por partículas magnéticas.
- Inspección por ultrasonido.
- Inspección por partículas parásitas.
- Inspección por rayos x.
- Inspección por rayos gama.

Para el estudio de las bielas se utilizará la inspección por tintas penetrantes e inspección por partículas magnéticas (ASTM E433, 2008).

A. Ensayo por tintes penetrantes

Este tipo de ensayos se utiliza para detectar discontinuidades en elementos como son fisuras, grietas, porosidades, entre otras que pueden disminuir el desempeño del elemento al momento de realizar su trabajo ya que en estas zonas existirá más concentración de tensiones lo que puede conllevar a la falla del material en las discontinuidades mas no en la zona que tenga más esfuerzos.

Este ensayo se aplica en elementos metálicos, polímeros y cerámicos, no es muy complejo por lo que no se necesita de elementos o máquinas especiales, los materiales utilizados están constituidos de un solvente limpiador y un removedor (ASTM E 433, 2008).

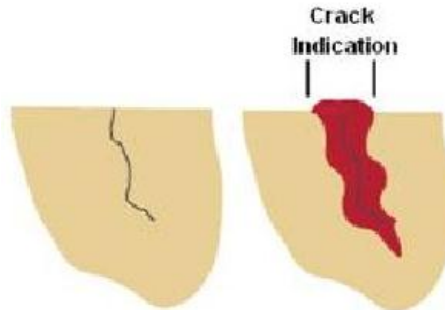


Figura 19. Ensayo tintas penetrantes

Fuente: (ASTM E 433, 2008)

Productos utilizados

Limpiadores: las propiedades de los removedores o limpiadores son la baja viscosidad, solubles en detergente, no corrosivos y no depositan residuos, se tiene 2 tipos de removedores.

Removedor de lenta y rápida evaporación los primeros pueden interferir en la penetración del líquido y los resultados no pueden ser los esperados, mientras que los de rápida evaporación tienen mejor solvencia quitando grasas e impurezas de la superficie (ASTM E 165, 2008).

Penetrantes: deben cumplir ciertos requerimientos como: 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 (ASTM E 165, 2008, pág. 2).

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, se observan con luz visible blanca, fluorescentes, luz negra o ultravioleta.

Reveladores: los reveladores actúan extrayendo el líquido de la discontinuidad. Sus características son: gran capacidad de absorción del penetrante, buena definición del

contorno de las indicaciones, fácil aplicabilidad y espesor uniforme de la capa resultante, fácil de eliminar y no corrosible (ASTM E 165, 2008, pág. 3).

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

Procedimiento para la realización del ensayo por tintas penetrantes basado en la ASTM E 165.

1. El procedimiento comienza con la limpieza de la superficie a utilizar ya que las impurezas dificultan el ingreso del tinte a las discontinuidades en el caso de existir.
2. Se aplica el tinte y se espera unos minutos, este periodo se lo conoce como permanencia.
3. Luego de la espera se procede a limpiar la zona con un paño impregnado con solvente, esto se lo realiza para retirar los excesos del tinte, los cuales provocarían interpretaciones erróneas.
4. Después se coloca una fina capa de revelador, esta puede ser por rociado o inmersión, esto provoca que el tinte salga hacia la superficie lo cual revela que existe una discontinuidad.
5. Este tiempo de extracción del tinte tarda unos 7 minutos.



Figura 20. Tintas penetrantes.

Fuente: (ASTM E 433, 2008)

A continuación, se muestra la tabla 2 en cual se detalla la clasificación de los tintes penetrantes según la norma ASTM.

Tabla 2. Normas ASTM E 165-94

Tipo I Fluorescente	
Método	
A	Lavable con agua (ASTM E 1200)
B	Postemusificable lipofílico (ASTM E 1208)
C	Removible con solvente (ASTM E 1219)
D	Postemusificable hidrofílico (ASTM E 1210)
Tipo II Coloreados	
A	Lavable con agua (ASTM E 1418)
C	Removible con solvente (ASTM E 1220)

Fuente: (ASTM E 433, 2008)

En la tabla 3 se puede observar otra clasificación de los líquidos para ensayos con tintas penetrantes según la clasificación de las normas DIN.

Tabla 3. Normas DIN 54 152

Penetrante		Removedor de penetrante en exceso		Revelador	
Código	Designación	Código	Designación	Código	Designación
A	Fluorescente	A	Solvente líquido	A	Seco
B	Coloreado	B	Agua y solvente	B	No acuoso
C	Flúor y color	C	Agua	C	Acuoso
		D	Emulsificadores hidrofílicos (Base agua)		
		E	Emulsificadores lipofílicos (Base aceite)		

Fuente: (ASTM E 433, 2008)

Es importante la realización de los ensayos no destructivos en las bielas para descartar defectos de fabricación en el material los cuales podrían influenciar en los resultados que se realiza en el ensayo de compresión.

Existen ventajas y desventajas de este tipo de ensayo no destructivo los cuales se detallan en la tabla 4.

Tabla 4. Ventajas y desventajas del ensayo por tintas penetrantes.

Ventajas	Desventajas
Permite actuar en toda la superficie de la pieza	No detecta discontinuidades bajo la superficie.
El proceso es sencillo	No se puede aplicar a materiales porosos
No se usa maquinas o equipos costosos	No se puede utilizar en materiales plásticos
Bajo costo	El análisis es superficial

Fuente: (ASTM E 433, 2008)

B. Ensayo por partículas magnéticas.

La norma ASTM E 709 (2008) Redacta que el ensayo por partículas magnéticas se utiliza para detectar defectos superficiales debajo de la superficie de la biela, con este se puede detectar porosidades, grietas, inclusiones y defectos de soldadura, este ensayo se puede realizar en material ferroso y acero, sus pruebas se las puede realizar en el campo debido a que los equipos son portátiles.

Para realizar el ensayo es necesario una fuente de poder, una bobina y partículas de hierro en polvo, conocido como método seco.

En este tipo de ensayos las partículas magnéticas se alinean en la parte de pieza donde se presenta una discontinuidad del material, estos defectos se convierten en captadores de tensiones pudiendo provocar que el material falle en esta zona (ASTM E 709, 2008).

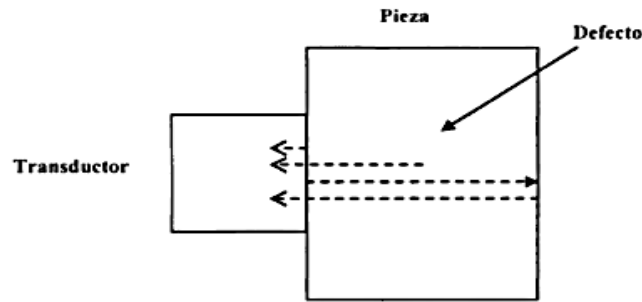


Figura 21. Uso del osciloscopio en ensayo no destructivo.

Fuente: (Pazos, 2008)

Procedimiento para la realización del ensayo por partículas magnéticas según la ASTM E 709.

1. Se hace pasar corriente alterna por la bobina colocada alrededor de la pieza a ensayar, convirtiendo la pieza en un imán.
2. Las partículas de hierro en polvo son esparcidas por la pieza.
3. Finalmente, se examina la superficie para verificar si hay partículas de hierro adheridas a la superficie debido al campo magnético presente.
4. Se observa si no existe partes donde se alinea las partículas magnéticas.
5. Con ayuda del osciloscopio es posible detectar las fisuras y a que profundidad se encuentran los defectos.

Todo tipo de ensayo que se realice tiene sus ventajas y desventajas en la tabla 5 se detalla estos puntos.

Tabla 5. Ventajas y desventajas del ensayo por partículas magnéticas.

Ventajas	Desventajas
Es portátil	Es aplicable solo en materiales ferrosos
Se adapta a muestras pequeñas y grandes	Requiere una fuente de poder
Detecta fisuras con exactitud (profundidad-tamaño)	No detecta discontinuidades mayores a $\frac{1}{4}$ de profundidad.
Mejor reexaminación de la discontinuidad.	El análisis es superficial

Fuente: (ASTM E 433, 2008)

2.12 Ensayos Metalográficos

La metalografía reside en el análisis de la estructura y naturaleza de los metales y las aleaciones.

Mediante estos ensayos se determina el tamaño del grano, su forma, separaciones o irregularidades. El modo más sencillo es examinando las superficies metálicas a simple vista llamándose a esto examen macrográfico logrando referencias en cuanto a tratamientos mecánicos que recibe el material o la forma de fabricación de los mismos (ASTM E 112, 2008).

A demás con el uso tecnológico en este caso un microscopio se observa la micro estructura del material, así como los tratamientos térmicos a los cuales fue sometido.

2.12.1 Examen Macrográfico

Para este ensayo se tiene que preparar la superficie para observar las propiedades macroscópicas del material, no se necesita de una instrucción especial.

Para el ensayo se toma en cuenta 2 criterios de tipo de corte del material, los cuales son longitudinal y transversal.

Corte Transversal

Se obtiene una probeta homogénea, tomando en cuenta que no presente fisuras, porosidades susceptibles al ojo humano o cualquier falla de manufactura.

Corte longitudinal

Con este corte se puede evidenciar el proceso de manufactura utilizado, siendo por fundición o por otros diferentes tipos de fabricación.

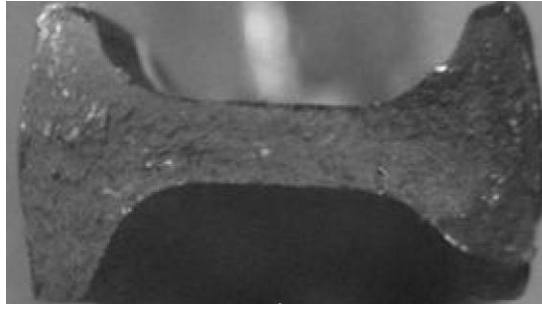


Figura 22. Ejemplo. Examen Macro gráfico mediante corte Transversal.

Procedimiento basado en la tesis de (Imbaquingo & Puente, 2011, pág. 7)

1. Realizar el corte longitudinal o transversal con ayuda de una sierra.
2. Se realiza una observación de la pieza.
3. observar la superficie para verificar las propiedades macroscópicas del material.
4. Revisa si el material presenta fisuras.
5. Observar si el material fue trefilado, laminado o forjado.
6. Revisar si el material presenta tratamientos térmicos en el material.

2.12.2 Examen Micrográfico.

Para la realización de este ensayo se utiliza un microscopio para ampliar la superficie estructural pudiendo observar las microestructuras del material, con esto se puede evidenciar microscópicamente los cambios estructurales que sufre el material al ser sometido a tratamientos térmicos, los resultados se comparan con el libro de microestructuras de Handbook obteniendo el tipo de material y sus propiedades mecánicas.

Para este examen es necesario seguir los siguientes pasos:

- Corte transversal
- Desbaste y pulido
- Ataque químico

Procedimiento basado en la norma ASTM E 3 y ASTM 112.

1. Se realiza el corte de la parte de la biela que se quiere estudiar, generalmente se realiza el corte en la parte media de la biela entre la cabeza y pie de la misma.

2. Este pedazo denominado probeta se lo pule con lijas de diferente calibre hasta obtener un terminado tipo espejo.
3. Con la probeta ya pulida se procede a realizar el ataque químico con Nital al 2 %.
4. Esperamos el tiempo necesario posteriormente se realiza un enjuague para evitar la oxidación.
5. Se procede a llevar la probeta al microscopio para observar su microestructura.
6. Una vez clara la microestructura se compara con el libro de microestructuras de Handbook para obtener el tipo de material y procesos térmicos del material.

En la tabla 6 se indica los 2 tipos de soluciones utilizados para el ataque químico en la muestra para la realización de las micrografías.

Tabla 6. Soluciones típicas para el tratamiento de aceros.

SOLUCIÓN	COMPOSICIÓN	EFECTO
PICRAL	Ácido pícrico 4 g Alcohol etílico 100 ml	Revelar límites de grano de austenita en estructuras martensíticas. Ennegrecer perlita.
NITAL 2%	Ácido nítrico 2ml Alcohol etílico 110 ml	Realzar la interface entre los carburos y la matriz. Ennegrecer perlita.

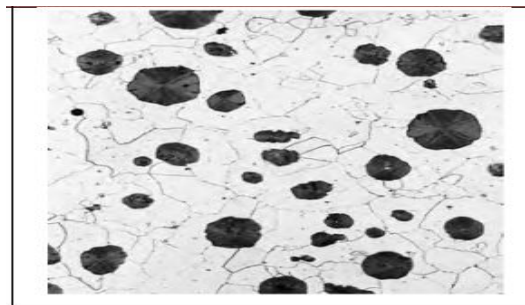


Figura 23. Ejemplo de Microestructura AISI 680 mediante corte.

Fuente: (Echeverria, 2010)

2.13 Tratamientos térmicos en las bielas.

Los tratamientos térmicos de temple y revenido son los más utilizados en la industria, también se los llama tratamientos térmicos de bonificado.

Se denomina tratamiento térmico al proceso de calentar y enfriar un material en condiciones de tiempo, temperatura, velocidad de enfriamiento, en estado sólido con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, los materiales utilizados en este tipo de

tratamientos superficiales son el acero y la fundición formado por hierro y carbono. Se puede utilizar este tratamiento en toda la pieza o solo en una parte de esta, en estos procesos los más utilizados son el recocido y el temple (Oporto, 2005).

2.13.1 Temple.

Oporto (2015) en su trabajo investigativo “Manual de tratamientos térmicos para acero al carbono” dice que el temple consiste en calentar la pieza en hornos especiales más o menos a unos 80 grados centígrados, por encima de la temperatura de austenización, por el lapso de una hora dependiendo del tamaño y material de la pieza, transcurrido el tiempo necesario se procede al enfriado rápido que puede ser por agua o por aceite, es recomendable en aceite para que el material no pierda sus propiedades y así lograr conseguir una estructura denominada martensita que es una de las más resistentes, posterior a esto se realiza un revenido a la pieza para liberar tensiones y así la pieza obtenga propiedades de dureza y tenacidad.

Estos tratamientos térmicos son de gran importancia, por medio de estos se puede conseguir estructuras de ferrita, perlita y martensita dependiendo de los requerimientos y esfuerzos hacer sometida la pieza o material.

2.13.2 Revenido.

Es un tratamiento térmico a baja temperatura se lo realiza después del proceso del temple con el objetivo de alcanzar la proporción de dureza y resistencia deseada, sus beneficios son: reducción de la dureza del material, aumento de la solidez y permite adaptar propiedades de los materiales (relación dureza/resistencia) para una aplicación específica (Oporto, 2005).

Los diferentes procesos de tratamientos térmicos han revolucionado la industria en general, ya que permite modificar la microestructura y las propiedades del material sin necesidad de alterar su estructura química.

Las propiedades que se pueden mejorar son:

- Dureza
- Resistencia
- Elasticidad
- Entre otras.

Cada proceso de tratamientos térmicos proporciona propiedades mecánicas diferentes, por ejemplo, la resistencia mecánica que se obtiene por tratamientos térmicos es mayor que la obtenida por recocido o normalizado, esto es debido a la estructura química que se obtiene luego del tratamiento.

2.14 Máquina de ensayos universales.

Son máquinas que son capaces de someter a un material a diferentes pruebas con el fin de determinar sus propiedades físicas y mecánicas, en el mercado existe una variedad de este tipo de máquinas entre las más comunes tenemos:

- De una sola columna
- Doble columna
- De suelo
- Serie Satec
- De automatización, test master

La máquina de ensayos universales se asemeja a una prensa, en la cual la presión se logra mediante placas accionadas mediante tornillos o sistemas hidráulicos, esta máquina aplica cargas controladas sobre una probeta y mide en forma gráfica las deformaciones y la carga al momento de la ruptura (Ingeniería real, 2010).

2.14.1 Partes de la máquina de ensayos universal

(Torres & Redondo, 2010) En su artículo “Reparación y automatización de una máquina universal de ensayos” redactan:

La máquina está constituida por 2 partes, una estructura superior y una estructura inferior, en la superior se realiza las diferentes pruebas mientras que la parte inferior soporta la máquina y sirve para alojamiento de los diversos aditamentos, herramientas que se utilizan en las diferentes pruebas(pág.172).

Estructura superior.

Se compone de 2 tirantes y 2 láminas entre ellas que unidas por barras adyacentes proporcionan 3 espacios, uno de los cuales se ubica el gato hidráulico y los otros dos son las zonas de tensión y de compresión (pág.172).

Estructura Inferior.

Es la base que soporta la estructura superior, alberga diferentes herramientas, es sitio de almacenaje para los aditamentos y otros elementos para los ensayos que se realizan en la máquina (pág.173).

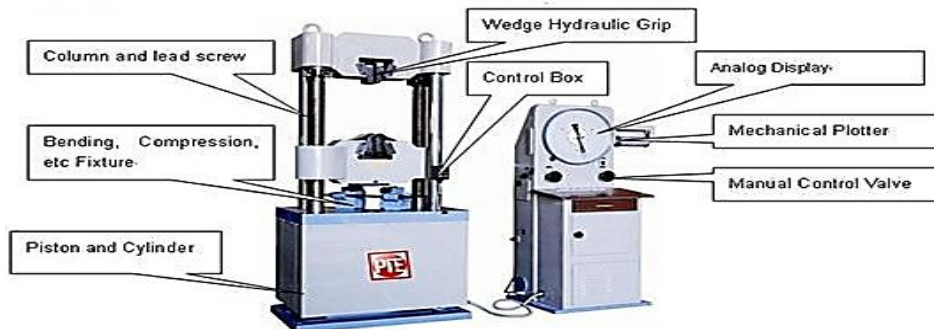


Figura 24. Máquina de ensayos universal.

Fuente: (Torres & Redondo, 2010)

2.14.2 Sistemas de la máquina de ensayos universales.

A. **Sistema eléctrico:** Es un panel de control, equipado con un indicador de carga digital, interruptores para el control del desplazamiento de los cabezales además de un dispositivo para la impresión de la curva de ingeniería (pág.178).



Figura 25. Panel de control de la máquina de ensayos universal.

Fuente: (Torres & Redondo, 2010)

B. **Sistema mecánico:** Consta de 2 columnas de acero que conforman el marco de la máquina, un pistón hidráulico de alta capacidad que proporciona la fuerza al cabezal inferior, una celda de carga y una cabeza superior de posición variable (pág.177).

C. Sistema hidráulico: compuesto por el depósito de aceite, bomba, motor y electroválvula.

2.15 Software de modelado y simulación

Los softwares de modelado y simulación permiten crear un diseño de un material y someterlas a fuerzas las cuales el programador lo indique con la finalidad de conocer como actuaría el material en la realidad, es por esta razón que se utilizó un programa denominado SolidWorks que nos ayude a diseñar la biela y someterlas a esfuerzo de compresión y determinar la carga máxima aproximada que estas soportan (Jimmy-Cripto, 2015).

En la programación se introducirá las características de los materiales de las diferentes bielas que se obtienen de las micrografías comparándolas con el libro de microestructuras de Handbook para obtener estos valores.

Posteriormente este dato se comparará con los valores obtenidos en el ensayo a compresión para concluir el factor de seguridad de diseño que presentan las bielas de diferente procedencia.

Este modelo es una representación, bien sea abstracta, análoga, fenomenológica o idealizada, de un objeto que puede ser real o ficticio. En este caso y por su naturaleza, el programa que se ocupará es de modelos fenomenológicos y/o modelos de procesos que requieren el uso formal de herramientas matemáticas y computacionales para representar las bielas y su comportamiento (Jimmy-Cripto, 2015)

Mediante el modelado se busca mejorar el conocimiento y la comprensión de un fenómeno o proceso y ello involucra el estudio de la interacción entre las partes de un sistema y el sistema como un todo.

Existen varios tipos de programas para el modelado en el campo de la ingeniería, en este caso para este estudio tomaremos en cuenta al software SolidWorks como base del ensayo de elementos finitos.

2.15.1 SolidWorks

Es un programa asistido por computadora que nos ayuda realizar diseños mecánicos en visión 3D, se puede hacer análisis de esfuerzos de piezas de los elementos del diseño para

luego ensamblarlos, al igual que el programa AutoCAD que se utilizaba antes de SolidWorks que también trabaja con parámetros similares (Vera, 2014)

El programa fue elegido para crear los modelos sólidos de simulación de las diferentes bielas; por las siguientes características:

- Excelente capacidad de visualización (como los modelos se pueden rotar, zoom y se mueven alrededor de la pantalla en cualquier dirección).
- la biblioteca de características es muy extensa permitiendo modelos detallados y precisos.
- El dibujo se crea automáticamente a partir del modelo sólido.

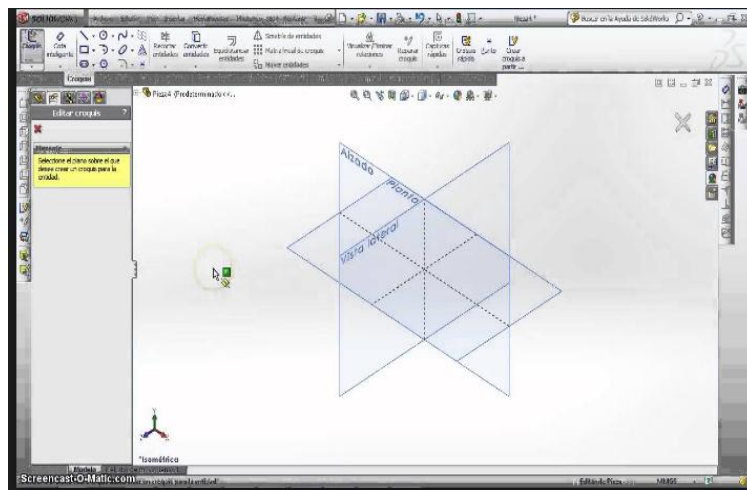


Figura 26. SolidWorks

Fuente: (Jimmy-Cripto, 2015)

SolidWorks es un programa que se basa en paramétrica, lo que significa que cuando un parámetro que define una característica de un modelo es modificado y este se actualiza automáticamente.

Las ventajas más relevantes de la utilización de este software son:

Permite la resolución de problemas físicos y matemáticos complejos ahorrando el tiempo y reduciendo costos innecesarios.

Permite realizar modelos complejos obteniendo resultados confiables.

Entre más fina es la malla del modelo los valores obtenidos son más precisos.

CAPÍTULO III

3 Desarrollo de la propuesta

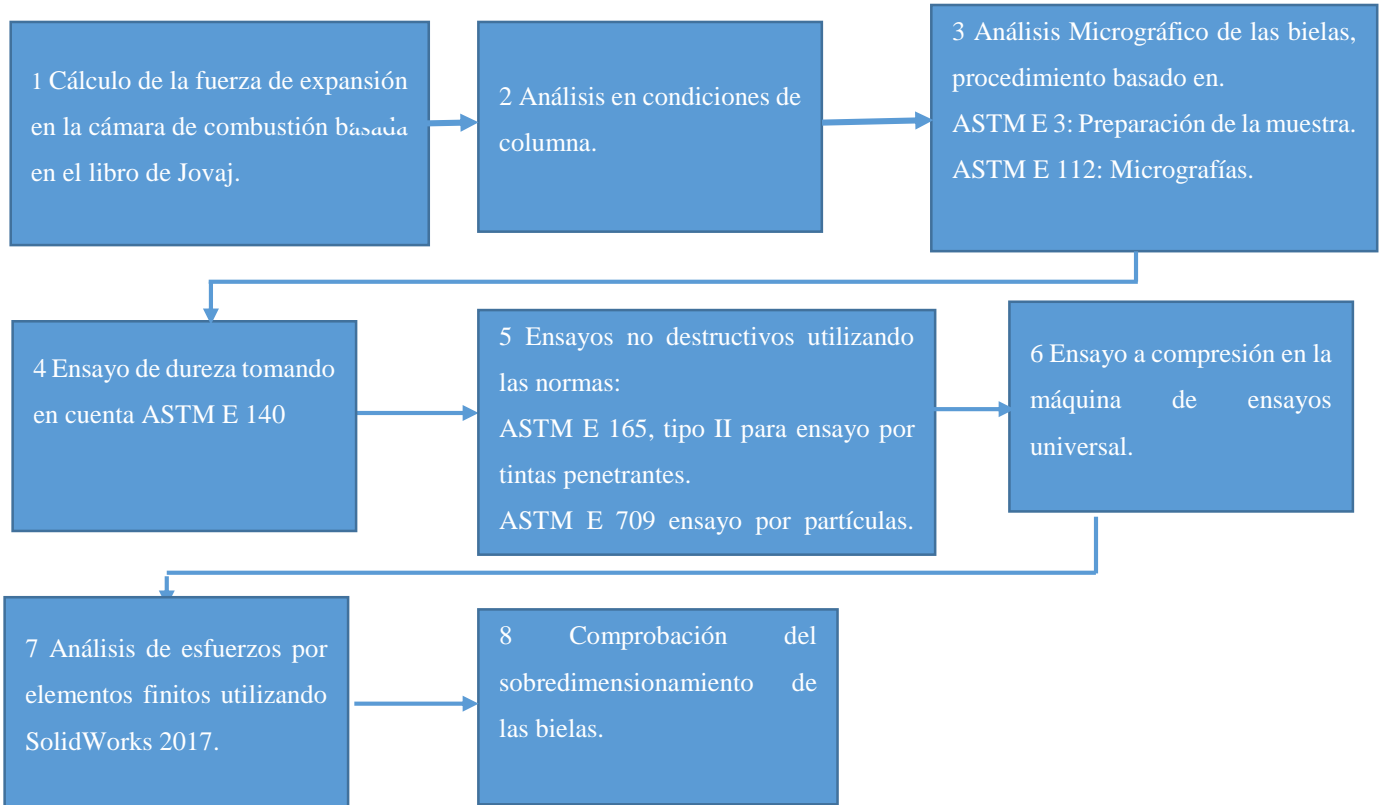


Figura 27. Desarrollo de la propuesta.

El desarrollo de la propuesta descrito en este flujograma es un proceso consecutivo el cual facilitará la realización de este proyecto, en el transcurso de este proceso pueden variar los pasos a seguir debido a que se puedan presentar dificultades.

3.1 Análisis de esfuerzos

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

Para encontrar este resultado se utiliza el libro de Jovaj el cual detalla las diferentes fórmulas y procedimientos a seguir para encontrar la fuerza de la explosión en la cámara de compresión en este caso de la camioneta Mazda BT-50 diésel. A demás Jovaj en el

área de ingeniería automotriz es un referente para la realización de los cálculos dentro del motor.

Todas las formulas a continuación son extraídas del mismo libro.

3.1.1 Análisis de esfuerzos en el ciclo de explosión.

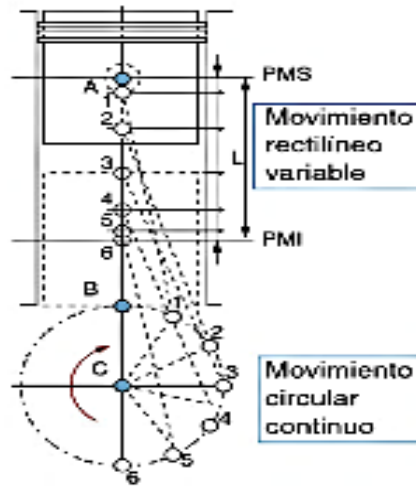


Figura 28. Mecanismo pistón, biela y cigüeñal.

Fuente: (Sanz, 2011)

Mazda BT- 50 diésel 2500cc.

3.1.2 Datos del Vehículo Mazda BT-50 diésel.

Tabla 7. Datos del Vehículo.

Mazda BT-50	
Diámetro del pistón	93 mm
Carrera	92 mm
Cilindrada	2.500 cm ³
Relación de compresión	18:1 (adimensional)

Fuente: Manual de taller Mazda BT-50 diésel.

Cilindrada Unitaria

Corresponde al volumen comprendido entre PMS y PMI durante la carrera del pistón, en el caso la camioneta Mazda BT-50 esta cuenta con 4 cilindros.

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

Ecuación 1

Donde:

Vh: cilindrada Unitaria (cm³).

∅ : Diámetro del pistón (cm).

S: carrera del pistón (cm).

Remplazando en la formula los datos de la tabla 11 obtenemos:

$$Vh = \frac{\pi(9.3 \text{ cm}^2)^2 * 9.2 \text{ cm}}{4} = 624,95 \text{ cm}^3$$

$$Vh = 624,95 \text{ cm}^3$$

Cilindrada total.

Es la denominación que se da a la suma del volumen útil de todos los cilindros en un ciclo completo del motor, según el catálogo del fabricante este sería de 2500cc.

$$VH = \frac{\pi \phi^2 s n}{4}$$

Ecuación 2

Donde:

Vh: cilindrada Total (cm³).

∅ : Diámetro del pistón (cm).

S: carrera del pistón (cm).

n: número de cilindros.

También simplificando se puede obtener la siguiente formula.

$$VH = Vh * n$$

Ecuación 3

Remplazando los datos se obtiene.

$$VH = 624.95 * 4 = 2499,79cm^3$$

$$VH = 2499,79cm^3$$

Con la obtención de la cilindrada total se comprueba los datos que se obtiene del catálogo de la camioneta Mazda BT-50 a diésel.

Volumen de la cámara

$$Vc = \frac{Vh}{\varepsilon - 1}$$

Ecuación 4

Donde.

Vc: Volumen de la cámara (cm³).

ε : Relación de compresión (Adimensional)

Remplazando los datos obtenidos anteriormente obtenemos.

$$Vc = \frac{624,95}{18 - 1} = 36,76 cm^3$$

$$Vc = 36,76 cm^3$$

Volumen total de los cilindros.

$$Va = Vh + Vc$$

Ecuación 5

Donde:

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

Reemplazando los datos tenemos:

$$V_a = 624.95 + 36,76 = 661,71 \text{ cm}^3 \quad \mathbf{V_a = 661,71 \text{ cm}^3}$$

Área del pistón.

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

Ecuación 6

Donde:

A: área del pistón.

ϕ : Diámetro del pistón.

Remplazando los datos obtenemos.

$$A = \frac{\pi(9,3\text{cm})^2}{4} = 67,93\text{cm}^2$$

$$\mathbf{A = 67,93\text{cm}^2}$$

Presión de admisión

Barone, Citarella, Crispiani y Pesavento (2011) en su proyecto “Sobrealimentación en motores” aseguran que la presión de admisión en motores a gasolina es 1 atm, mientras que para motores sobrealimentados es 1.6 atm garantizando un aumento en el rendimiento de un 40 % (pág. 17).

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

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)

w_a = La velocidad del aire en la entrada del sistema de admisión (m/s)

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

Siendo:

$P_o = 162120$ (Pa) correspondiendo el peso del aire sobre unidad para motores sobrealimentados.

La densidad de la carga en la admisión está determinada por

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

Donde:

T_o = es la temperatura inicial la cuál es 627 ⁰k. Asumida según condiciones de altura a 2225m sobre el nivel del mar.

R = constante universal de los gases = $286,9 \frac{N*m}{Kg*oK}$

Reemplazando datos se tiene:

$$p_o = \frac{162120 \frac{N}{m^2}}{286,9 \frac{N * m}{kg * m} * 627^{\circ}K} = 0,90 \frac{Kg}{m^3}$$

$$p_o = 0,90 \frac{Kg}{m^3}$$

“La apertura completa de la válvula en el régimen nominal, de la velocidad del movimiento de la carga en la sección de paso es = 50.....130 m/s”, determinados desde cilindradas de 1000 a 3000 cm³ con lo cual procedemos Interpolar a 2500 cm³ correspondiente a la cilindrada del vehículo (pág. 89)

Para la realización de las interpolaciones y por motivos de cálculos se toma un modelo lineal para facilitar los mismos, estos se encuentran detallados en los libros de Jovaj, Shigley entre otros.

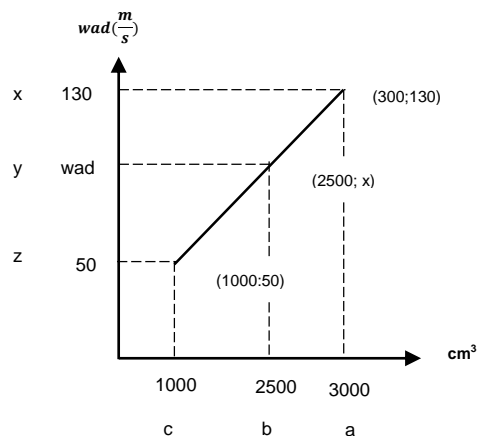


Figura 29. Cilindrada vs velocidad del aire

Para interpolar se utiliza la ecuación de la pendiente de la recta.

$$m = \frac{y-y_1}{x-x_1} \quad \text{Ecuación 9}$$

Reemplazando con los valores de la gráfica anterior se obtiene.

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

Ecuación de la recta punto pendiente.

$$y - y_1 = m(x - x_1) \quad \text{Ecuación 10}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 8 obtenemos

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

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

$$y = \frac{2500 + 250}{25} = 110 \frac{m}{s}$$

Entonces para la cilindrada de 2500cm³ correspondiente a la cilindrada del vehículo el valor de wad es:

$$wad = 110 \frac{m}{s}$$

En 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 $\beta^2 + \xi = 0.9 \dots 0.96$, (pág. 89) determinados desde cilindradas de 1000 a 3000cm³ con lo cual procedemos a la realización de una interpolación a 2500cm³ correspondiente a la cilindrada del vehículo.

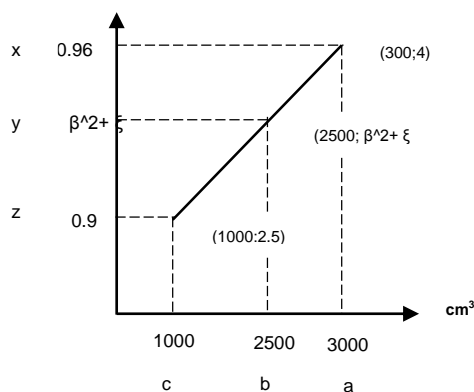


Figura 30. Cilindrada vs régimen de apertura de válvulas.

Para interpolar se utiliza la ecuación de la pendiente de la recta.

$$m = \frac{y - y_1}{x - x_1}$$

Reemplazando con los valores de la gráfica anterior se obtiene.

$$m = \frac{0.9 - 0.96}{1000 - 3000} = \frac{3}{100000}$$

Ecuación de la recta punto pendiente.

$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 8 obtenemos

$$y - 0.96 = \frac{3}{100000}(x - 3000)$$

$$y = \frac{3x + 87000}{100000}$$

$$y = \frac{3(2500) + 87000}{100000} = 0.95$$

Entonces para la cilindrada de 2500cm^3 correspondiente a la cilindrada del vehículo el valor de $\beta^2 + \xi$ es:

$$\beta^2 + \xi = 0.95$$

Reemplazando todos los datos en la ecuación 6 se tiene:

$$P_a = P_o - (\beta^2 + \xi) \frac{w_{ad}^2}{2} p_o \cdot 10^{-6} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$P_a = 162120 - (0.95) \frac{(110)^2}{2} 0.90 \cdot 10^{-6}$$

$$P_a = 0.1621\text{MPa}$$

Temperatura de admisión.

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + Y_r T_r}{1 + Y_r} \quad \text{Ecuación 12}$$

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 (ok)

Tomando en cuenta:

$T_o = 291^{\circ}\text{k}$. Asumida según condiciones de altura 2347m sobre el nivel del mar

$\Delta T = 20^{\circ}\text{C} = 293^{\circ}\text{k}$

Para motores diésel sobrealimentados el coeficiente de los gases residuales es constante (Jovaj, 1982, pág. 91).

$$Y_r = 0.03$$

Para motores diésel sobrealimentados se tiene que $T_r = (700 \dots 900)^{\circ}\text{k}$, determinados para vehículos con cilindradas de 1000 a 3000 cm^3 , como tenemos un motor con una cilindrada de 2500 cm^3 se procede a interpolar para conocer el valor real de T_r (pág. 91).

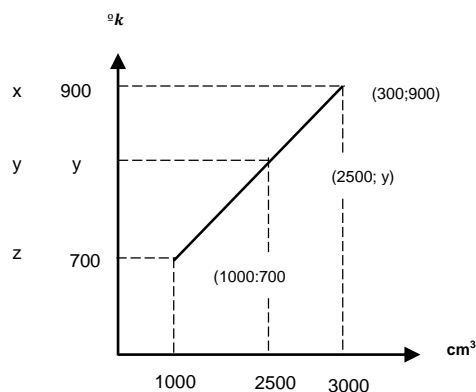


Figura 31. Cilindrada vs temperatura de gases residuales.

Para interpolar se utiliza la ecuación de la pendiente de la recta.

$$m = \frac{y - y_1}{x - x_1}$$

Reemplazando con los valores de la gráfica anterior se obtiene.

$$m = \frac{700 - 900}{1000 - 3000} = \frac{1}{10}$$

Ecuación de la recta punto pendiente.

$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 8 obtenemos

$$y - 900 = \frac{1}{10}(x - 3000)$$

$$y = \frac{x + 6000}{10}$$

$$y = \frac{2500+6000}{10} = 850^{\circ}\text{k}$$

Entonces para la cilindrada de 2500cm^3 correspondiente a la cilindrada del vehículo el valor de T_r es:

$$\mathbf{T_r = 850^{\circ}\text{k}}$$

Reemplazando los datos en la ecuación 9 se tiene:

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

$$T_a = \frac{291 + 293 + (0.03)850}{1 + 0.03}$$

$$\mathbf{T_a = 591.75^{\circ}\text{k}}$$

Presión de compresión

$$\mathbf{P_c = P_a \epsilon^{n_1}}$$

Ecuación 13

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)

Se sabe que:

Exponente politrópico medio de compresión $n_1 = 1,32 \dots 1.40$ (pág. 118)

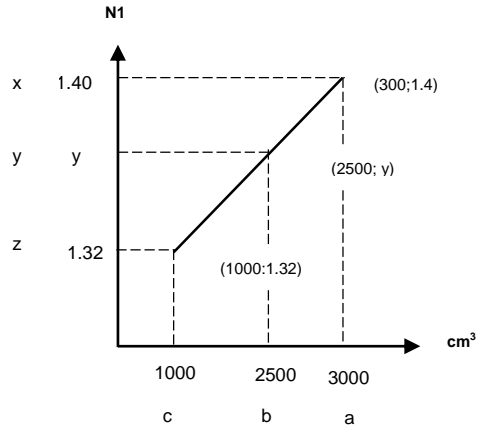


Figura 32. Cilindrada vs exponente politrópico.

Interpolando del coeficiente politrópico se tiene:

$$m = \frac{y-y_1}{x-x_1}$$

Reemplazando con los valores de la gráfica anterior se obtiene.

$$m = \frac{1.32 - 1.4}{1000 - 3000} = \frac{1}{25000}$$

Ecuación de la recta punto pendiente.

$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 8 obtenemos

$$y - 1.4 = \frac{1}{25000}(x - 3000)$$

$$y = \frac{x + 32000}{25000}$$

$$y = \frac{(2500) + 32000}{25000} = 1.38$$

Entonces para la cilindrada de 2500cm² correspondiente a la cilindrada del vehículo el valor de n1 es:

$$n_1 = 1.38$$

Reemplazando los datos en la ecuación se tiene la presión en el ciclo de explosión:

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

$$P_c = 0.16211 \text{MPa} (10)^{1.38}$$

$$P_c = 3.88 \text{MPa}$$

Temperatura en compresión.

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

Donde:

T_c = Temperatura en el ciclo de la compresión (°K)

Reemplazando los valores se tiene.

$$T_c = 591.75 (10)^{1.32-1}$$

$$T_c = 591.75 (10)^{0.32} = \mathbf{1236.34 \text{ } ^\circ\text{K}}$$

Temperatura en explosión

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

u_z = la energía interna de los productos de combustión = $68600 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$ (Jovaj, 1982, pág. 639)

“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 $2300^\circ\text{C} < T_z < 2400^\circ\text{C}$ ” (pág. 639).

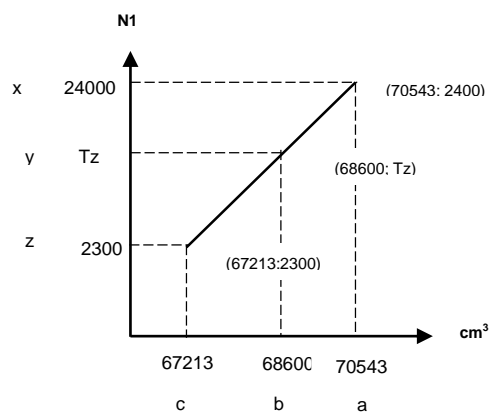


Figura 33. Cilindrada vs temperatura.

Ecuación. Pendiente de una recta

$$m = \frac{y - y_1}{x - x_1}$$

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

Ecuación de la recta punto pendiente.

$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

Reemplazando los valores se obtiene:

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

$$y = \frac{10x + 93770}{333}$$

Reemplazamos x por u_z en la ecuación.

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

$$T_z = 2341.65^\circ\text{C} = 2614.80^\circ\text{K}$$

Presión en la explosión.

Para encontrar este valor se utiliza la siguiente fórmula.

$$P_z = \mathbf{ur} \frac{T_z}{T_c} P_c$$

Ecuación 14

Donde:

P_z = Presión en la explosión (MPa)

\mathbf{ur} = Coeficiente real de variación molecular (adimensional)

Este coeficiente se obtiene de la ecuación siguiente.

$$ur = \frac{uo + Yr}{1 + Yr}$$

Ecuación 15

De esta ecuación se obtiene lo siguiente:

uo = coeficiente teórico de variación molecular = 1.08 (adimensional)

Reemplazando estos valores en la ecuación 12 se tiene.

$$ur = \frac{1.08 + 0.03}{1 + 0.03}$$

$$ur = 1.08$$

Por ende, la presión en el ciclo de explosión es:

$$Pz = 1.08 \frac{2614.80}{1236.34} 3.88$$

$$Pz = 8.86 \text{ MPa}$$

Fuerza producida en la parte superior del pistón

$$Fe = Pz * \text{area}_{\text{piston}}$$

$$Fe = 8860000 \frac{N}{m^2} * 0.006793 m^2$$

$$Fe = 60185.98 N$$

3.2 Análisis en condición de columna.

3.2.1 Biela Original.

Datos:

Acero AISI 4140, obtenido del análisis metalográfico.

Módulo de Elasticidad $E = 210 \text{ GPa}$ (AISI 4140, s.f)

Resistencia última a la tensión $S_y = 794,25 \text{ MPa}$

Área de la sección transversal = 2.78cm²

L = 21.5 cm (Longitud Real de la Columna)

Constante para el cálculo de la columna efectiva atornillada K=1

Sección Transversal.

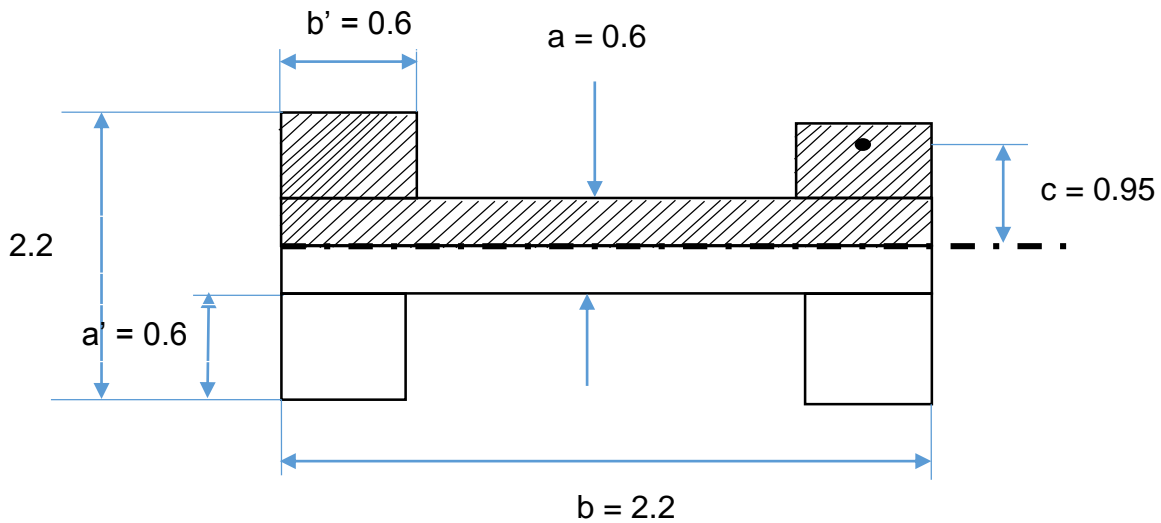


Figura 34. Sección Transversal Biela original.

Cálculo de la Inercia:

Teorema De Steiner

En física, el teorema de Huygens-Steiner, teorema de los ejes paralelos o simplemente teorema de Steiner es un teorema usado en la determinación del momento de inercia de un sólido rígido sobre cualquier eje.

$$I = \left[\frac{1}{12} (b)(a)^3 \right] + 4 \left[\frac{1}{12} (b')(a')^3 + (b')(a')(c)^2 \right] \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde.

I= Inercia (cm⁴)

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 obtenemos.

$$I = \left[\frac{1}{12} (2.2)(0.6)^3 \right] + 4 \left[\frac{1}{12} (0.6)(0.6)^3 + (0.6)(0.6)(0.95)^2 \right]$$

$$I = 1.37 \text{ cm}^4$$

Cálculo del radio de giro.

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

Ecuación 17

Donde.

r = radio de giro (cm)

I = Inercia (cm⁴)

A = Área de la sección transversal (cm²)

Reemplazando tenemos.

$$r = \sqrt{\frac{1.37 \text{ cm}^4}{2.78 \text{ cm}^2}}$$

$$r = 0.70 \text{ cm}$$

Longitud Efectiva de Columna

$$Le = KL$$

Ecuación 18

$$Le = (1)(21.5)$$

$$Le = 21.5 \text{ cm}$$

Constante de la Columna.

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

Ecuación 19

Reemplazando los datos tenemos:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2(210 \times 10^9) Pa}{794.25 \times 10^6 Pa}}$$

$$C_c = 72.24$$

Analizamos si es columna larga o corta

Si $\frac{KL}{R} > C_c \therefore$ Columna larga \therefore Se utiliza la ecuación de Euler

Si $\frac{KL}{R} < C_c \therefore$ Columna corta \therefore Se utiliza la ecuación de J. B. Johnson

$$\frac{21.5}{0.70} = 30.71 < 72.24$$

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

Ecuación de J. B. Johnson.

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

Ecuación 20

Reemplazando se tiene.

$$P_{cr} = (0,000278)(794,25 \times 10^6) \left(1 - \frac{(794,25 \times 10^6)(30.71)^2}{4\pi^2(210 \times 10^9)}\right)$$

$$P_{cr} = 200.852 \text{KN}$$

3.2.2 Biela Alterna.

Datos:

Acero AISI 4130, obtenido del análisis metalográfico.

Módulo de Elasticidad $E = 205 \text{ GPa}$ (AISI 4130, s.f)

Resistencia ultima a la tensión $S_y = 462 \text{ MPa}$

Área de la sección transversal $= 2.22 \text{ cm}^2$

$L = 21.5 \text{ cm}$ (Longitud Real de la Columna)

Constante para el cálculo de la columna efectiva atornillada $K=1$

Sección Transversal.

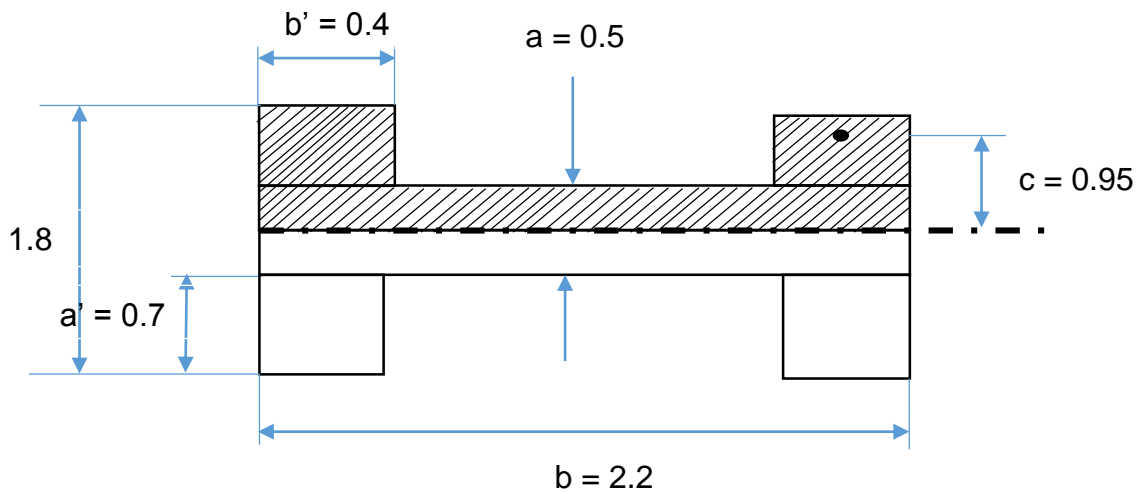


Figura 35. Sección Transversal Biela alterna.

Cálculo de la Inercia:

Utilizando la ecuación 16 en la figura 35 se obtienen los siguientes resultados de inercia.

$$I = \left[\frac{1}{12} (2.2)(0.5)^3 \right] + 4 \left[\frac{1}{12} (0.4)(0.7)^3 + (0.4)(0.7)(0.95)^2 \right]$$

$$I = 1.08 \text{ cm}^4$$

Calculo del radio de giro.

Utilizando la ecuación 17 en la figura 35 se obtienen los siguientes resultados del radio de giro.

$$r = \sqrt{\frac{1.08 \text{ cm}^4}{2.22 \text{ cm}^2}}$$

$$r = 0.69 \text{ cm}$$

Longitud Efectiva de Columna

$$Le = KL$$

$$Le = (1)(21.5)$$

$$Le = 21.5 \text{ cm}$$

Constante de la Columna.

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

Reemplazando los datos tenemos:

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2(205 \times 10^9)Pa}{462 \times 10^6 Pa}}$$

$$Cc = 93.58$$

Analizamos si es columna larga o corta

Si $\frac{KL}{R} > Cc \therefore$ Columna larga \therefore Se utiliza la ecuación de Euler

Si $\frac{KL}{R} < Cc \therefore$ Columna corta \therefore Se utiliza la ecuación de J. B. Johnson

$$\frac{21.5}{0.69} = 31.16 < 93.58$$

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

Ecuación de J. B. Johnson.

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

Reemplazando se tiene.

$$P_{cr} = (0,000222)(462 \times 10^6) \left(1 - \frac{(462 \times 10^6)(31.16)^2}{4\pi^2(205 \times 10^9)}\right)$$

$$P_{cr} = 96.879 \text{ KN}$$

3.3 Análisis químico de las bielas

El análisis químico se realizó en la Escuela Politécnica Nacional con ayuda Espectrómetro de Emisión por Arco y Chispa Shimadzu PDA-7000. A continuación, en la tabla 8 se detallan los materiales con los que se compone las bielas ensayadas.

Tabla 8. Resultado del análisis químico.

Metales	Biela Original (%)	Biela Alterna (%)
Carbono (C)	0.40	0.30
Silicio (Si)	0.25	0.25
Magnesio (Mg)	0.85	0.50
Cromo (Cr)	0.95	0.95
Níquel (Ni)	0.043	0.038
Fosforo (P)	0.035 máx.	0.035 máx.
Azufre (S)	0.040 máx.	0.040 máx.
Cobre (Cu)	0.206	0.129
Aluminio (Al)	0.035	<0.005
Molibdeno (Mo)	0.20	0.20
Titanio (Ti)	0.003	<0.0015
Hierro (Fe)	98.04	97.72

Fuente: EPN espectrómetro de chispa Shimadzu PDA-7000.

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

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

3.4 Análisis de la microestructura de las bielas.

3.4.1 Micrografías.

Este ensayo se lo realiza con el objeto de determinar el tipo de material de cada biela dependiendo de su procedencia, para realizar este ensayo se tiene que preparar una probeta la cual se extrae de la biela.

Se realizó 2 ensayos microscópicos, uno en la biela original y otro en la biela de alterna, el procedimiento es el mismo para cada una de las bielas.

Para la preparación de la probeta se sigue el siguiente procedimiento:

En el caso de cortar el sombrerete con una amoladora se debe enfriar constantemente la probeta para evitar cambios de microestructura de la misma.

A. Preparación de la muestra basada en la norma ASTM E 3.

Para la preparación de las muestras se sigue el siguiente procedimiento.

- 1** Se reduce una cara de las probetas en la desbastadora de grano grueso con lija de 100, con esto se consigue una superficie adecuada para realizar las micrografías, se debe realizar este paso teniendo cuidado de no hacer varias caras en esta superficie caso contrario las probetas no sirven y toca repetir este proceso.



Figura 36. Desbastado de las Probetas.

- 2** Se prepara el molde (tramo de tubo de PVC de 3.5 cm de diámetro), se coloca goma al extremo del molde, esta se ubica en una hoja de papel bond sobre una superficie plana y se coloca la probeta dentro del molde, la goma sirve para que no se derrame la resina por los bordes inferiores del molde.



Figura 37. Colocación del material para la probeta.

- 3 Preparamos la mezcla con resina, esto ayuda a la elaboración de la probeta, se coloca en un vaso la resina necesaria 4 gotas de cobalto y 6 gotas de acelerante químico y se revuelve, esta mezcla se coloca en el molde y se espera aproximadamente una hora.



Figura 38. Preparación de la resina.

- 4 Se extrae las probetas con ayuda de una entenalla y se desbasta el exceso de resina para que la probeta encaje en el molde de la máquina de pulido.
- 5 Se prepara la lija 240 cortándola de forma redonda y se pega con cinta en el plato de la máquina pulidora.



Figura 39. Preparación de la máquina y lijas para el pulido de las probetas.

Se realiza 3 pulidos con esta lija, el primero por 10 minutos con una presión de 20 Newton, el segundo por 5 minutos con una presión de 15 Newton y finalmente 5 minutos con presión de 10 Newton.

- 6 Se cambia con otra lija de 600 y se realiza 3 pulidas, el primero por 10 minutos con una presión de 10 Newton, el segundo por 5 minutos con una presión de 15 newton y finalmente un pulido de 3 minutos con una presión de 20 Newton.

Cada que se para la máquina se debe lavar la probeta con alcohol (alcohol con 99.8 % de pureza) para evitar que esta se oxide.

- 7 Se cambia con otra lija de 1500 y se realiza 3 pulidas, el primero por 1 minutos con una presión de 10 Newton, el segundo por 30 segundos con una presión de 15 Newton y finalmente un pulido de 15 segundos con una presión de 20 Newton.
- 8 Terminado el proceso con la lija se procede a pulir con un paño utilizando alúmina (polvo de aluminio y agua destilada) de 6 micras y para finalizar con alúmina de 2 micras por 3 minutos cada proceso respectivamente.

B. Ataque químico basado en norma ASTM 112.

Una vez que se tiene pulidas las probetas se procede a realizar el ataque químico nital³ al 2 % (Ácido nítrico + alcohol con pureza de 98 %), se sumerge la pieza por 3 a 5 segundos, se lava con agua luego con alcohol y se seca con ayuda de una secadora para que el nital se neutralice.



Figura 40. Ataque químico en las probetas.

3.4.2 Fotografiado micrográfico.

Se ubica la probeta en el microscopio y se realiza el fotografiado con un zoom adecuado dependiendo del tipo de acero

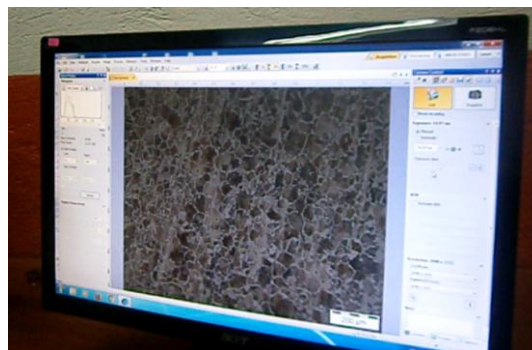


Figura 41. Fotografiado Microscópico.

A. Resultados de la micrografía en la biela Original.

La matriz corresponde a una de tipo perlítica y su microestructura corresponde a un tipo ferrítica-perlítica con una disposición homogénea de un grano de ferrita de tamaño 5 rodeado de granos de perlita, se observa además bandas alineadas en dirección del laminado.



Figura 42. Micrografía a 100x biela original.

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 original corresponde un acero AISI 4140. Matriz perlítica y ferrítica.



Figura 43. Micrografía a 500x biela original.



Figura 44. 25-mm (1-in.) diam 4140 steel bar, austenitized 1 h at 845 °C (1550 °F), cooled to 650 °C (1200 °F)

Fuente: PDF, ASM Metals Handbook, vol9 – Metallography and Microstruct.

B. Resultados de la micrografía en la biela Alterná.

La matriz corresponde a una de tipo perlítica y su microestructura corresponde a una de tipo ferrítica- perlítica con granos de perlita de tamaño variable rodeados de granos de ferrita, el tamaño del grano 3.



Figura 45. Micrografía a 100x biela alterná.

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 alterná corresponde un acero AISI 4130 recocido por austenización.

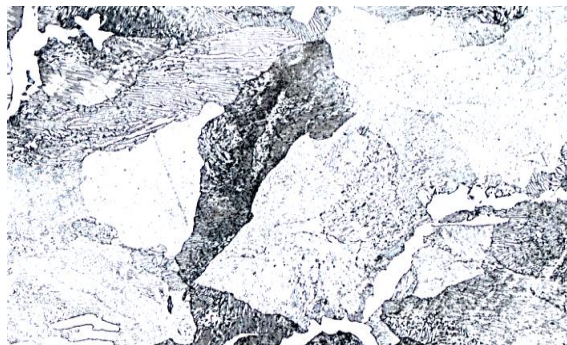


Figura 46. Micrografía a 500x biela alterná.



Figura 47. 4130 hot-rolled steel bar, 25 mm (1 in.) in diameter, annealed by austenitizing at 845 °C (1550 °F)

Fuente: PDF, ASM Metals Handbook, vol9 – Metallography and Microstruct.

3.5 Ensayo de dureza.

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

3.5.1 Procedimiento para la realización de la prueba.

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



Figura 48. Ubicación de la biela para la prueba de dureza.

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 Brinell, escala HBW 10/3000 su peso será de 3000 kg y un acople o penetrador de 1/16”.

- 2 Se gira la manilla giratoria para elevar el soporte rígido para que la probeta haga contacto con el penetrador.
- 3 Se acciona la manija en la máquina y se observa el medidor hasta que llegue a 3000 kg.
- 4 Con ayuda de un microscopio se determina el diámetro de la hendidura en la muestra.

3.5.2 Resultados obtenidos

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

A. Biela Original.

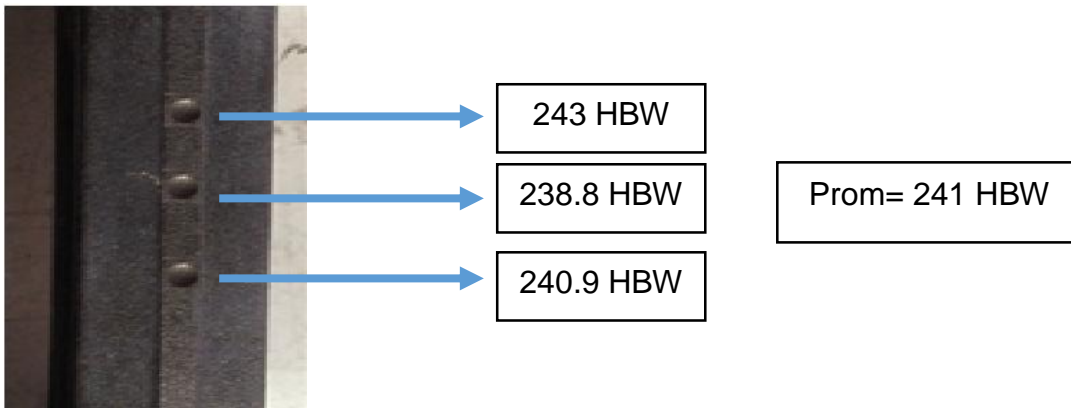


Figura 49. Ensayo de dureza biela original.

Revisando estos diámetros según la norma ASTM E 140 obtenemos el resultado que es de 241HBW 10/3000 o en escala de Rockwell B 100 HR_B.

B. Biela Alterna.

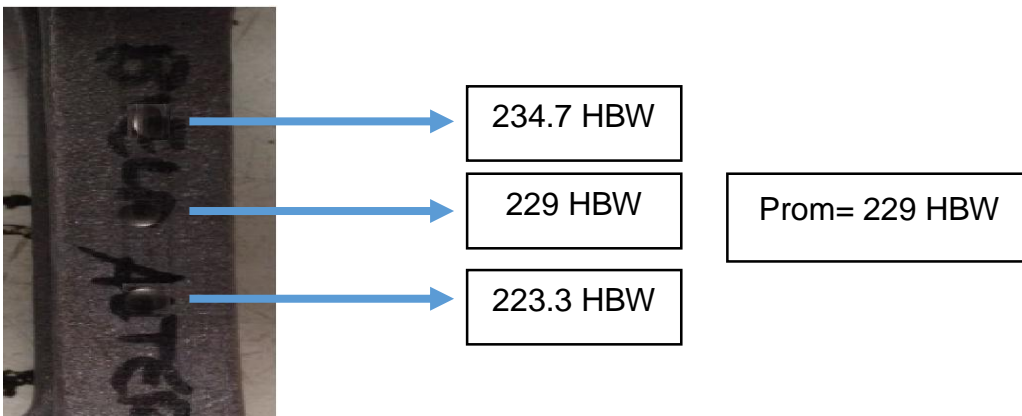


Figura 50. Ensayo de dureza biela alterna.

Revisando estos diámetros según la norma ASTM E 140 obtenemos el resultado que es de 229HBW 10/3000 o en escala de Rockwell B 98 HR_B.

3.6 Ensayos no destructivos

3.6.1 Ensayo por tintas penetrantes

Antes de realizar el ensayo a compresión se procede al ensayo no destructivo por tintas penetrantes para confirmar que los elementos no tengan irregularidades, fisuras o porosidades.

Este tipo de ensayo se lo realizó en la Escuela Politécnica Nacional en el laboratorio de ensayos no destructivos.

A. Procedimiento del ensayo por tintas penetrantes

Se debe seguir de acuerdo con el siguiente procedimiento por tintas penetrantes para poder evidenciar si existen o no fisuras, porosidades, grietas o algún desperfecto externo en las bielas.

Para la realización de este ensayo se utiliza la norma basada en ASTM E 165, Tipo II método A.

El procedimiento es el siguiente:

- 1** Colocar las bielas en un lugar abierto debido a que los tintes pueden ser dañinos a la salud, ubicar las bielas en una superficie plana e identificarlas para el proceso.



Figura 51. Colocación de las bielas en una superficie óptima.

- 2** Se procede a limpiar la zona de las bielas hacer ensayadas (cuerpo de biela) con solvente (thinner) para que no tengan grasa o alguna impureza que puedan influenciar en los resultados.



Figura 52. Limpieza de las bielas.

- 3** Inspección visual de la biela para descartar cualquier desperfecto visible.
- 4** Se procede a aplicar la tinta penetrante en el cuerpo de la biela.

- 5 Se espera un tiempo de 15-30 minutos, a este periodo se lo conoce como permanencia, con ayuda de una brocha se dispersa el líquido por el cuerpo de la biela.
- 6 A continuación, se remueve el exceso con un paño impregnado con agua.
- 7 Se aplica una capa de revelador, esta puede ser por rociado o inmersión de la pieza.
- 8 Esperar el tiempo determinado de 10 minutos, el revelador al paso del tiempo se torna de color blanco permitiendo observar en la parte donde existiera fisuras o grietas una línea de color rojo.



Figura 53. Bielas originales.

- 9 Inspección y limpieza final de la pieza.

B. Resultados obtenidos en la biela original.

El ensayo por tintas penetrantes se lo realiza en las 3 bielas originales de la camioneta Mazda BT-50 diésel, en el ensayo no se detectaron posibles fisuras superficiales ni porosidades, por lo que se podría decir que las bielas no presentan defectos que puedan actuar como zonas de concentración de tensiones que puedan disminuir la capacidad de carga de los cuerpos hacer ensayados en la máquina de ensayos universales.

C. Resultados obtenidos en la biela alterna.

El ensayo se lo realizó en 3 bielas alternas, en el cuerpo de la biela por ser la parte donde fallan en condiciones normales de trabajo, se observa que las bielas no presentan irregularidades que puedan influir en los resultados en el ensayo a compresión.

3.6.2 Ensayo por partículas magnéticas.

Una vez que las bielas han pasado por el ensayo por tintas penetrantes se las somete al ensayo por partículas magnéticas para descartar que estas presenten discontinuidades internas del material.

El procedimiento se basa en la norma ASTM E 709 partículas magnéticas nivel II, en un medio acuoso con contraste blanco.

Procedimiento por seguir.

- 1 Se revisa si se cuenta con los elementos necesarios para la realización de este ensayo como son el yugo y las partículas magnéticas.



Figura 54. Yugo para crear el campo magnético.

- 2 Limpiar la parte de la biela hacer ensayada en este caso el cuerpo de la misma con solvente con un trapo que no deje residuos sobre la pieza.
- 3 Echar el contraste blanco en el cuerpo de la biela y esperar a que éste seque.



Figura 55. Contraste blanco en bielas.

- 4 Conectar el yugo a la fuente de poder.
- 5 Procedemos a esparcir las partículas magnéticas sobre la parte de la biela hacer ensayada.

- 6 Se coloca el yugo sobre la biela como se muestra en la figura a continuación.



Figura 56. Ensayo por partículas magnéticas.

- 7 Si las partículas se alinean en alguna zona del cuerpo de la biela es porque se presenta una fisura o porosidad.



Figura 57. Biela con partículas magnéticas.

- 8 Para concluir se desmagnetiza las piezas y se observa con el gaussímetro la carga magnética sobre las bielas.



Figura 58. Utilización del gaussímetro.

A. Resultado obtenido en las bielas originales.

Al realizar el ensayo con el proceso de partículas magnéticas se comprueba 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 disminuyendo la capacidad de carga por debajo de las condiciones de diseño.

B. Resultado obtenido en las bielas alternas.

Se realizó el ensayo en las 3 bielas observando que no existen defectos de fábrica internos los cuales puedan influenciar en ensayos posteriores causando resultados erróneos.

3.7 Ensayo a compresión

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

La carga aplicada se observa en kilonewton, a una velocidad de 1 mm/min y un modo de visualización Desplazamiento vs Carga.

Se realizó 6 ensayos de compresión, 3 en bielas originales y 3 en bielas alternas con el fin de sacar un promedio de los resultados obtenidos en la máquina de ensayos universales.



Figura 59. Máquina de ensayos universales.

3.7.1 Bielas originales.

Procedimiento para seguir.

1. Se ubica la biela entre los acoples de la máquina de ensayos universales, no olvidar alinear la biela con el eje vertical del cilindro.



Figura 60. Ubicación de la biela en la máquina de ensayos universales.

2. Antes de comenzar con el ensayo se configura el software de la máquina para que nos permita ver la gráfica deseada (desplazamiento- carga)
3. Se procede a iniciar el ensayo incrementando paulatinamente la carga en cada una de las bielas.

A. Resultado experimental biela 1 original.

En la siguiente figura se observa la gráfica generada por la máquina de ensayos universales considerando la carga vs deformación.

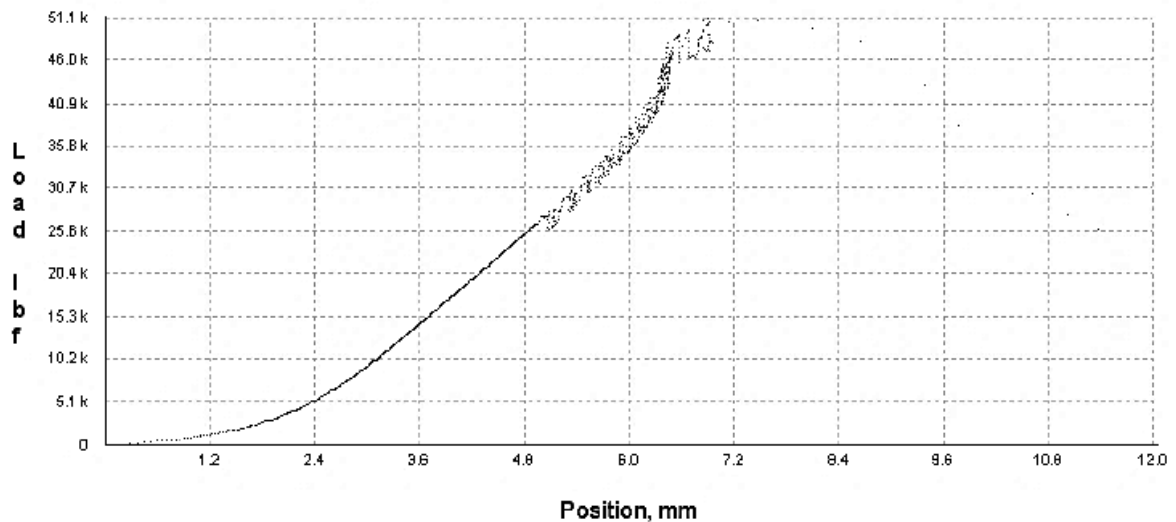


Figura 61. Curva de fuerza vs desplazamiento de biela original 1.

En la tabla 9 se detalla la fuerza aplicada en la biela 1 original y el desplazamiento de la biela según se incrementa la fuerza. La biela soporta una fuerza máxima de 227.3 KN con una de formación de 7.0mm.

Tabla 9. Valores de fuerza y desplazamiento biela original 1.

Fuerza (KN)	Desplazamiento (mm)
22.690	2.4
68.057	3.6
113.874	4.8
159.246	6.0
204.618	6.5
227.304	7.0

Fuente: EPN Máquina de ensayos universales.

B. Resultado experimental biela 2 original.

En la siguiente figura se observa la gráfica generada por la máquina de ensayos universales considerando la carga vs deformación en la biela.

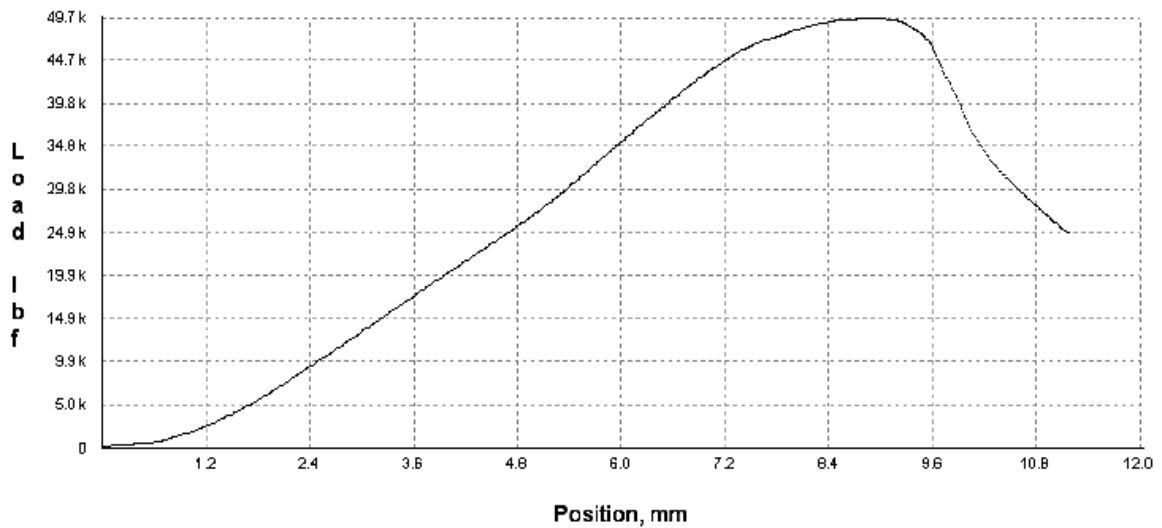


Figura 62. Curva de fuerza vs desplazamiento de biela original 2.

En la tabla 10 se detalla los valores obtenidos en el ensayo a compresión de la segunda biela original, además la biela soporta una fuerza máxima de 221.07 KN deformándose 8.4mm.

Tabla 10. Valores de fuerza y desplazamiento biela original 2.

Fuerza (KN)	Desplazamiento (mm)
22.241	1.7
44.037	2.4
66.278	3.2
110.760	4.8
154.798	6.0
198.835	7.2
221.076	8.4

Fuente: EPN Máquina de ensayos universales.

C. Resultado experimental biela 3 original.

En la figura a continuación se observa la gráfica carga vs deformación del ensayo realizado en la biela.

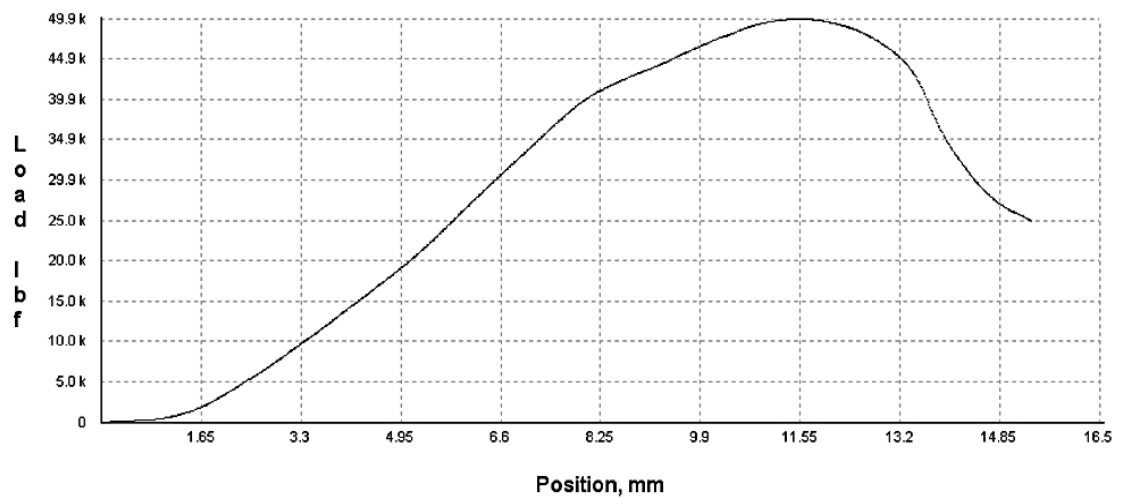


Figura 63. Curva de fuerza vs desplazamiento de biela original 3.

En la tabla 11 se detalla los valores obtenidos en el ensayo a compresión, realizado en la Escuela Politécnica Nacional obteniendo una carga máxima de 221.97 KN y una deformación de 10.01 mm en la biela original.

Tabla 11. Valores de fuerza y desplazamiento biela original 3.

Fuerza (KN)	Desplazamiento (mm)
22.241	2.1
44482	3.3
88.964	5.0
133.001	6.6
177.484	8.1
221.966	10.01

Fuente: EPN Máquina de ensayos universales.

D. Conclusión del ensayo experimental biela original.

En el ensayo realizado en las bielas originales se observa que las bielas soportan una carga máxima promedio de 50200 libras fuerza o **223,45 KN** con un desplazamiento promedio de 8.46mm.



Figura 64. Biela original después del ensayo destructivo.

3.7.2 Biela alterna.

A. Resultado experimental biela 1 alterna.

En la siguiente figura se observa la gráfica de la curva fuerza vs desplazamiento obtenida en el ensayo a compresión realizado en la biela.

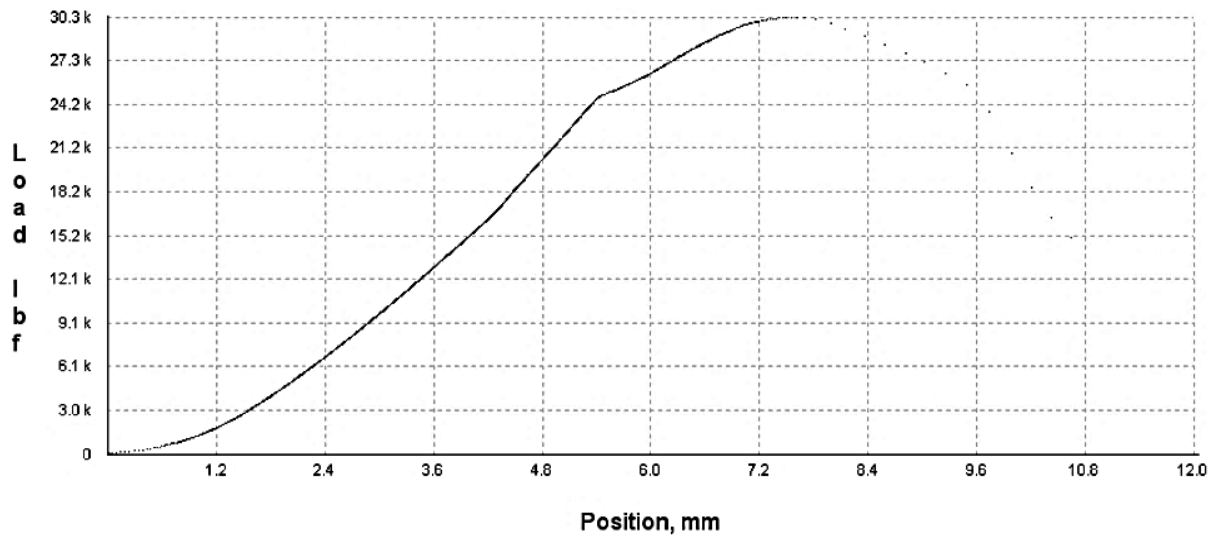


Figura 65. Curva de fuerza vs desplazamiento de biela alterna 1.

En la tabla 12 se detalla los valores de los resultados de la biela alterna la cual obtiene una carga máxima de 134.78 KN desplazándose la biela 8.0mm.

Tabla 12. Valores de fuerza y desplazamiento biela alterna 1.

Fuerza (KN)	Desplazamiento (mm)
13.344	1.5
27.134	2.1
40.478	2.8
53.823	3.4
80.957	3.9
107.646	5.3
134.781	8.0

Fuente: EPN Máquina de ensayos universales.

B. Resultado experimental biela 2 alterna.

En la siguiente gráfica se observa la gráfica obtenida en el ensayo a compresión realizada en la biela.

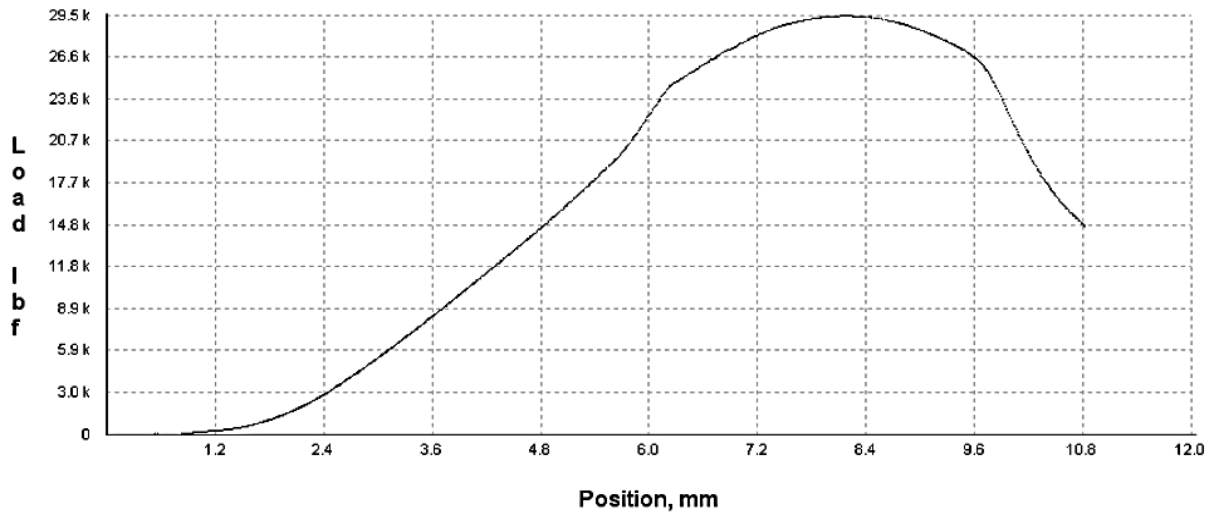


Figura 66. Curva de fuerza vs desplazamiento de biela alterna 2.

En la tabla 13 se detalla los valores obtenidos en la biela 2 alterna obteniendo una fuerza máxima 131.22 KN y se observa una deformación de 8.9mm en este ensayo.

Tabla 13. Valores de fuerza y desplazamiento biela alterna 2.

Fuerza (KN)	Desplazamiento (mm)
13.344	2.4
39.589	3.7
65.833	4.8
92.078	5.8
118.322	6.6
131.222	8.9

Fuente: EPN Máquina de ensayos universales.

C. Resultado experimental biela 3 alterna.

En la figura a continuación se observa la gráfica fuerza vs deformación del ensayo realizado en la biela.

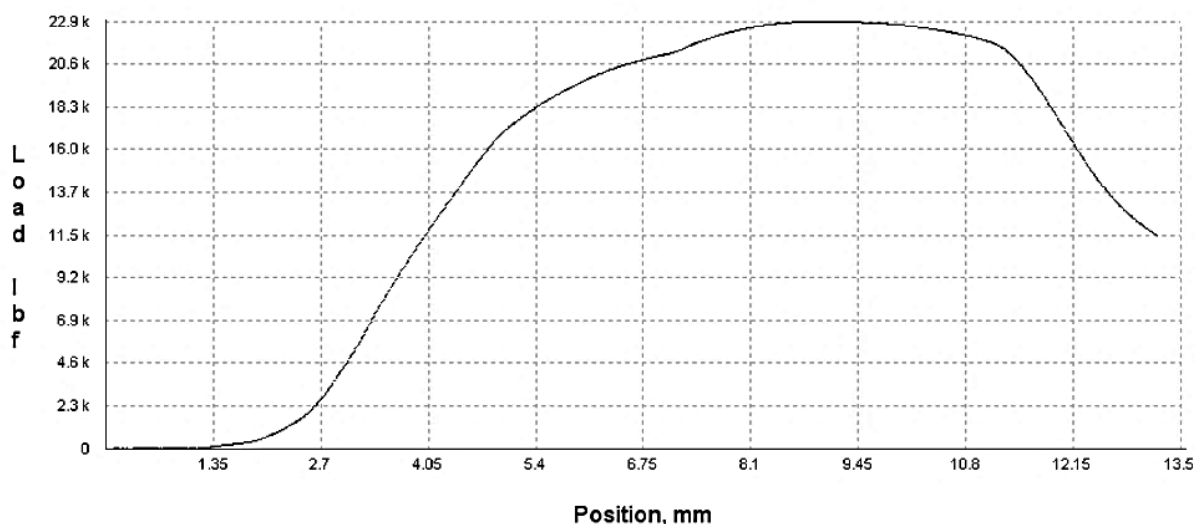


Figura 67. Curva de fuerza vs desplazamiento de biela alterna 3.

En la tabla 14 se detalla los valores obtenidos en el ensayo a compresión de la tercera biela alterna, además la biela soporta una fuerza máxima de 101.66 KN deformándose 10mm.

Tabla 14. Valores de fuerza y desplazamiento biela alterna 3.

Fuerza (KN)	Desplazamiento (mm)
10.230	2.7
30.692	3.2
40.923	3.5
51.154	4.05
81.402	5.4
118.322	6.75
101.864	10.00

Fuente: EPN Máquina de ensayos universales.

D. Conclusión ensayo experimental biela alterna.

De los ensayos realizado en la máquina de ensayos universales se observa que las bielas alternas fueron sometidas hasta una carga máxima promedio de **122,62KN** la cual es la carga máxima que soporta las bielas alternas, además se observa un desplazamiento de 8.97mm.

3.8 Análisis de esfuerzos por elementos finitos

El modelado por elementos finitos (MEF) es importante para solucionar problemas de ingeniería, permitiendo resolver estas dificultades por métodos matemáticos tradicionales.

Uno de estos programas es SolidWorks, programa creado propiamente para resolver estos problemas de ingeniería, 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.

3.8.1 Análisis de sensibilidad de malla en base al radio Jacobiano.

A. Radio Jacobiano.

También conocida como matriz jacobiana es en método general de pruebas de elementos. El método se aplica a cualquier forma de elemento con cualquier número de nodos. Los parámetros de forma de un cuadrilátero se muestran contenidos dentro de la matriz Jacobiana y también se muestra que el determinante de esta matriz puede expresarse en términos de los parámetros de forma (Ollero, 2001).

Para el análisis de la malla el radio jacobiano establece valores entre -1 y 1 siendo 1 una malla óptima para el estudio, el valor de uno quiere decir que las fuerzas convergen a un punto.

B. Tipos de malla

Existen diferentes tipos de malla estos varían dependiendo de la geometría de la figura, las mallas más comunes son:

- Malla Cuadrada.
- Malla Rectangular.
- Malla triangular.
- Malla hexagonal.

Para este estudio se utilizará la malla triangular debido a la geometría de la biela.

C. Análisis de malla

Para el análisis de malla se utiliza el software Ansys en el cual se muestra una malla triangular debido a los detalles de la biela.

El mallado triangular es adecuado ya que permite una mejor distribución de las fuerzas.

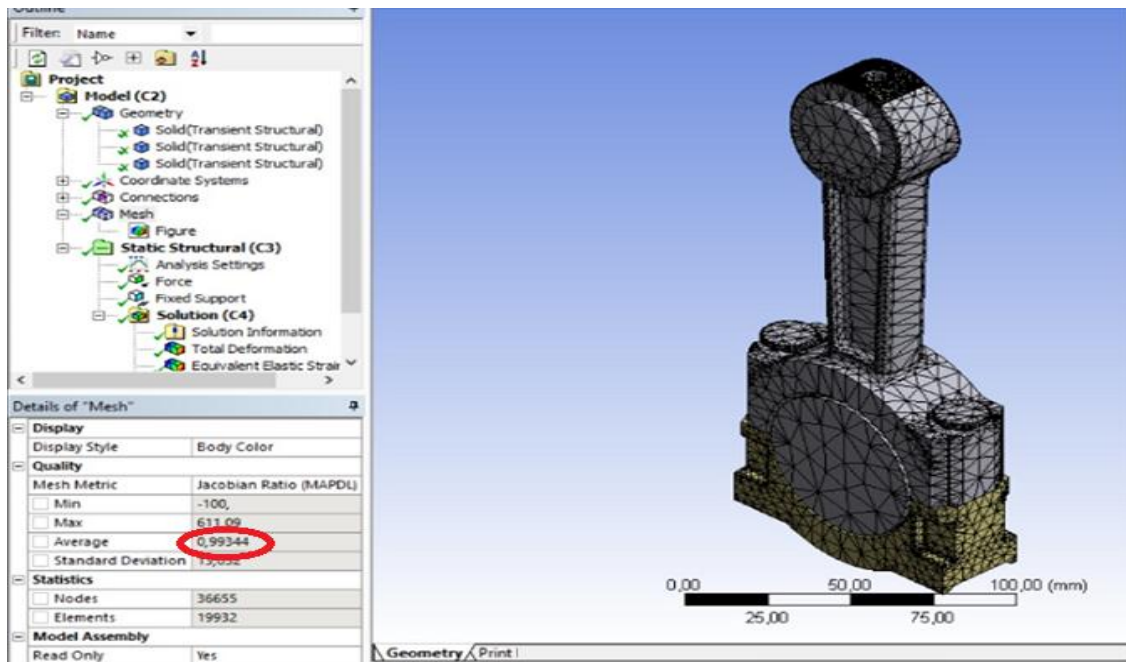


Figura 68. Malla triangular con radio jacobiano de 0.99.

3.8.2 Biela original.

A. Resultado del ensayo a compresión con incremento de carga

Una vez modelada la biela en SolidWorks y con ayuda del análisis metalográfico y químico para determinar el 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 realizó en el ensayo experimental.

Se detalla el análisis tomando en cuenta los siguientes datos:

B. Resultado del esfuerzo con incremento de carga.

En la figura siguiente se observa el comportamiento de la biela original al someterla a una carga continua.

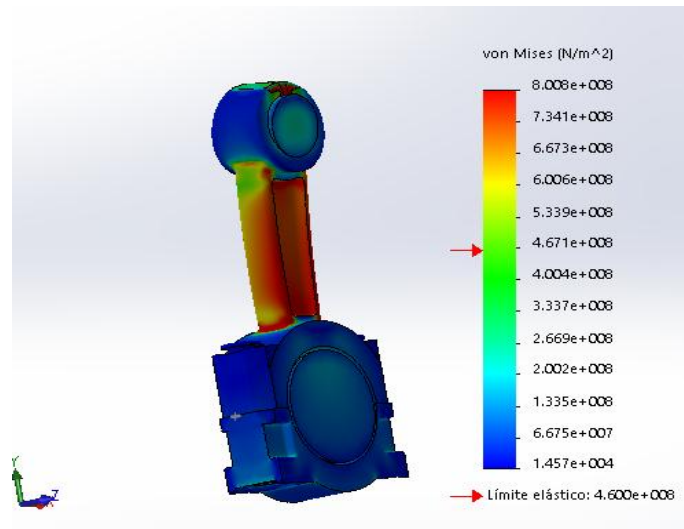


Figura 69. Esfuerzo de la biela sometida a su máxima carga 223.450 KN.

Se realiza el ensayo a compresión con incremento de carga a intervalos variables y se obtiene los siguientes resultados.

En la tabla 15 se detalla los valores obtenidos en la simulación obteniendo una carga máxima de 223.45 KN y un esfuerzo de 800.8MPa.

Tabla 15. Valores de Fuerza y Esfuerzo biela original.

Fuerza (KN)	Esfuerzo (MPa)
10	35.84
20	71.68
30	107.51
40	143.35
50	179.19
70	250.87
120	430.06
160	573.41
180	645.08
200	716.75
223.45	800.80

C. Resultados del desplazamiento de la biela original en la simulación.

En la siguiente figura se observa el desplazamiento de la biela cuando alcanza su carga máxima.

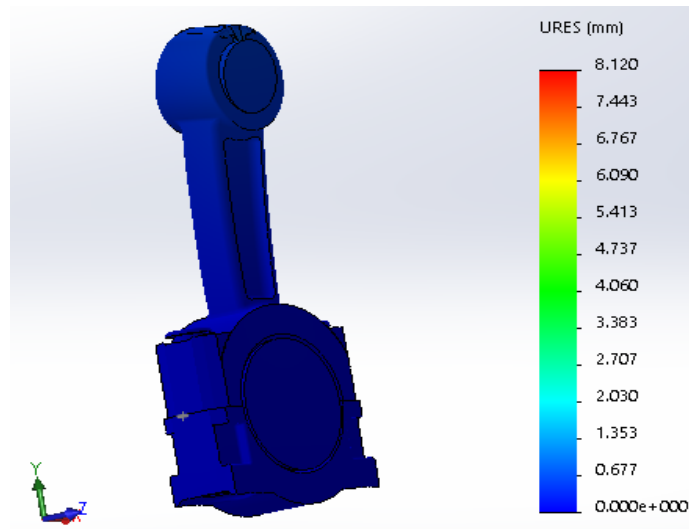


Figura 70. Desplazamiento de la biela sometida a su máxima carga de 223.450 KN.

En la tabla 16 se detalla la fuerza y el desplazamiento de la biela original simulada en SolidWorks, se obtiene un desplazamiento de 8.12mm aplicando una carga máxima.

Tabla 16. Valores de Fuerza y Desplazamiento de biela original.

Fuerza (KN)	Desplazamiento (mm)
10	0.36
20	0.72
30	1.09
40	1.45
50	1.81
70	2.54
120	4.36
160	5.81
180	6.64
200	7.26
223.45	8.12

D. Resultado del factor de seguridad

En la figura se observa la biela original en la cual se observa un factor de seguridad de diseño adecuado.

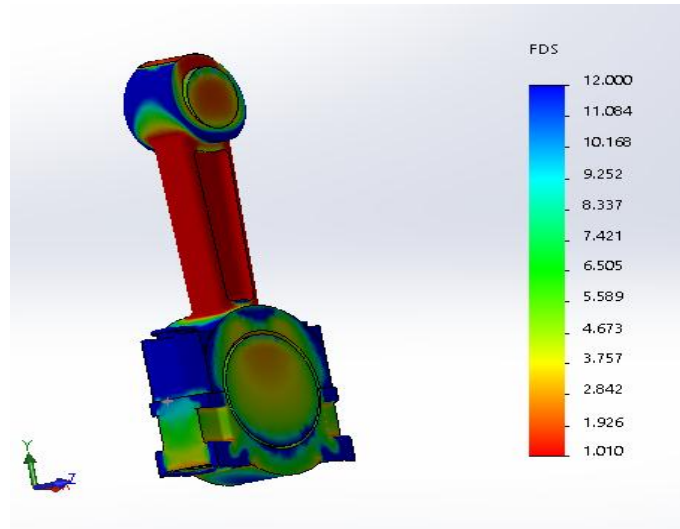


Figura 71. Factor de seguridad de la biela sometida a su máxima carga 223.450 KN.

En la tabla 17 se detalla el factor de seguridad de la biela original y la variación del mismo cuando se le aplica una fuerza.

Tabla 17. Valores de Fuerza y Factor de Seguridad biela original.

Fuerza (KN)	Factor de seguridad
10	10.0
20	7.38
30	6.19
40	4.39
50	3.20
70	2.94
120	2.30
160	1.97
180	1.50
200	1.15
223.45	1.01

E. Resultado del análisis de columna con incremento de carga

Del análisis realizado en el numeral 3.2 se determinó que las bielas trabajan como columnas, por esta razón al aplicar el Pcr se obtiene los siguientes resultados.

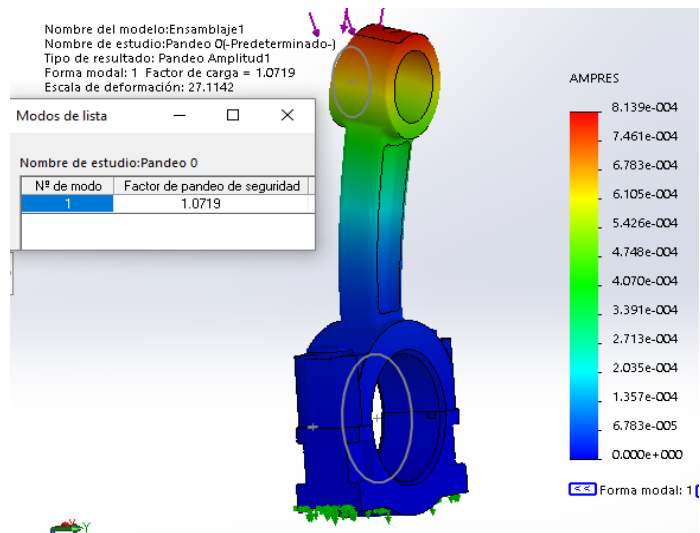


Figura 72. Biela en condición de columna aplicando su carga crítica de 200.852 KN.

En la tabla 18 se detalla los valores del estudio de la biela en condiciones de columna.

Tabla 18. Valores de Fuerza y Factor de Seguridad biela en condiciones de columna.

Pcr (KN)	Factor de seguridad
10	21.52
20	10.76
30	7.17
40	5.38
50	4.31
70	3.08
120	1.79
160	1.34
180	1.19
200	1.08
200.857	1.07

3.8.3 Biela alterna.

A. Resultado del ensayo de Compresión con incremento de carga.

Una vez modelada la biela en SolidWorks y con ayuda del análisis metalográfico y químico para determinar el material en este caso un acero AISI 4130, su respectivo

ensamble y sus respectivos aditamentos que simulan al bulón y al muñón del cigüeñal como se realizó en el ensayo experimental.

Se detalla el análisis tomando en cuenta los siguientes datos:

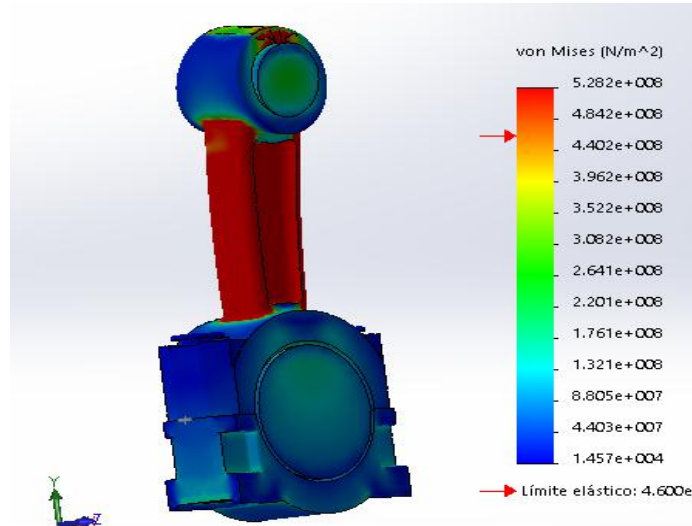


Figura 73. Esfuerzo de la biela alterna sometida a su máxima carga de 122.470 KN.

En la tabla 19 se detalla los resultados obtenidos de la simulación en SolidWorks, obteniendo un esfuerzo de 528.2MPa.

Tabla 19. Valores de Fuerza y Esfuerzo biela alterna.

Fuerza (KN)	Esfuerzo (MPa)
10	43.13
20	86.25
30	129.39
40	172.52
50	215.64
60	258.77
70	301.90
80	345.03
90	388.18
100	431.29
122.47	528.20

B. Resultados del desplazamiento de la biela alterna en la simulación.

En la siguiente figura se observa el comportamiento de la biela alterna simulada en SolidWorks al someterla a su carga máxima.

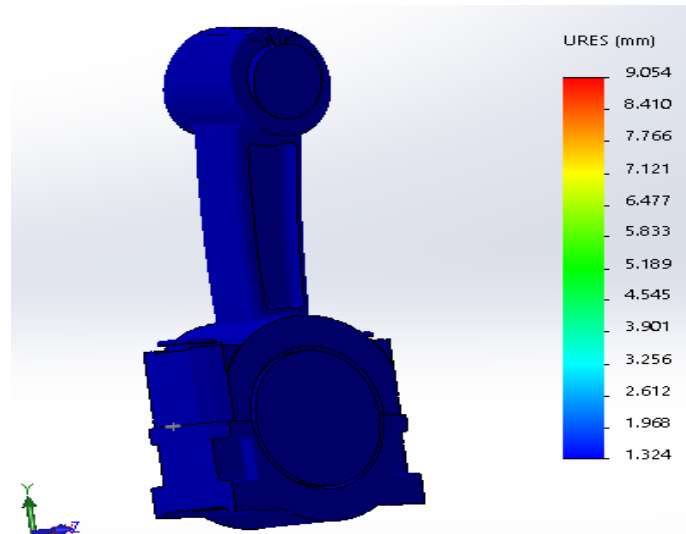


Figura 74. Desplazamiento de la biela alterna sometida a su máxima carga de 122.470 KN.

En la tabla 20 se detalla los datos que se obtiene en el ensayo realizado en el software, obteniendo una de formación de 9.05mm.

Tabla 20. Valores de Fuerza y Desplazamiento de biela alterna.

Fuerza (KN)	Desplazamiento (mm)
10	0.73
20	1.48
30	2.22
40	2.96
50	3.70
60	4.44
70	5.17
80	5.91
90	6.65
100	7.39
122.47	9.054

C. Resultado del factor de seguridad de la biela alterna.

En la siguiente figura se verifica en SolidWorks el factor de seguridad de la biela.

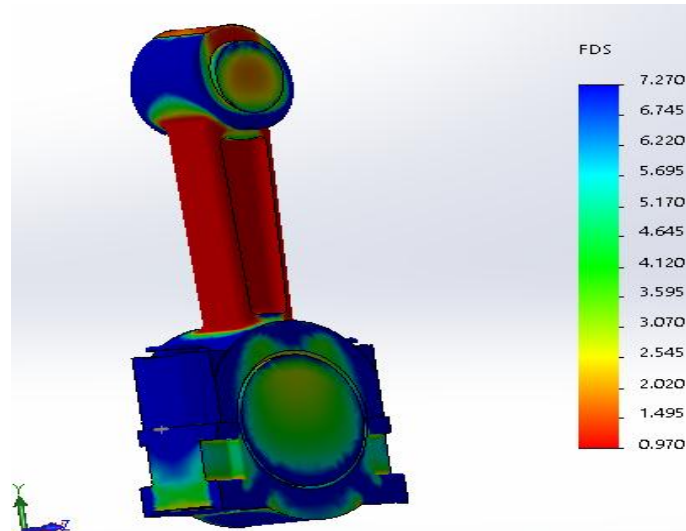


Figura 75. Factor de seguridad de la biela sometida a su máxima carga de 122.470 KN.

En la tabla 21 se detalla el factor de seguridad de la biela alterna y como este factor varía según la fuerza que se le aplica, se obtiene un factor de seguridad de 0.97.

Tabla 21. Valores de Fuerza y Factor de Seguridad biela alterna.

Fuerza (KN)	Factor de seguridad
10	7.06
20	6.22
30	5.17
40	4.64
50	4.12
60	3.59
70	3.07
80	2.54
90	2.02
100	1.50
122.47	0.97

D. Resultado del análisis en condiciones de columna.

Se realiza el análisis tomando en cuenta que las bielas son columnas cortas, se procede el análisis con un incremento de carga de 10 KN y se obtiene los siguientes resultados.

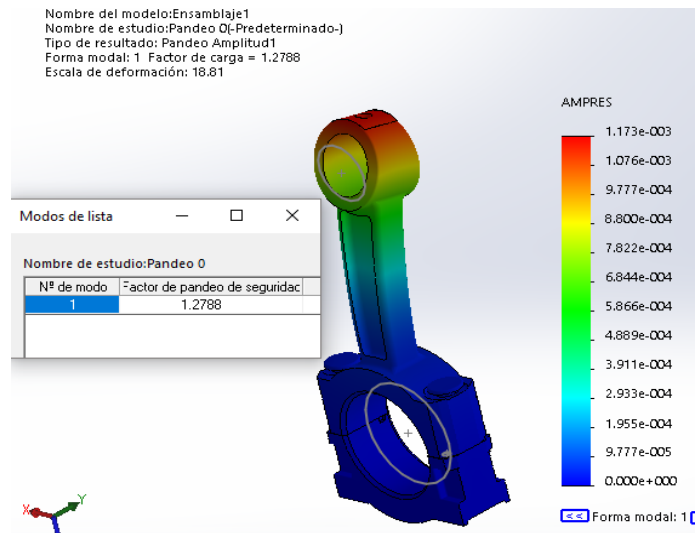


Figura 76. Biela en condición de columna aplicando su carga crítica de 96.879 KN.

En la tabla 22 se detalla el estudio de la biela en condiciones de columna en SolidWorks.

Tabla 22. Valores de Fuerza y Factor de Seguridad biela alterna utilizando su carga crítica.

Pcr (KN)	Factor de seguridad
10	12.38
20	6.19
30	4.12
40	3.09
50	2.48
60	2.06
70	1.76
80	1.54
90	1.37
96.879	1.27

3.9 Comprobación del sobredimensionamiento de las bielas.

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

Para esto utilizamos los valores de la presión y la fuerza de explosión en el ciclo de expansión, análisis de las bielas en condiciones de columna, ensayo experimental en la

máquina de ensayos universales previa verificación de posibles fisuras y porosidades mediante análisis no destructivos de partículas magnéticas y tintas penetrantes.

3.9.1 Biela de procedencia original.

$$\delta C_F = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

A = área de la sección transversal = 2.78 cm²

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

δC_F = Esfuerzo máximo real.

δC_{Fe} = Esfuerzo máximo obtenido en la simulación.

δC_{Fc} = Esfuerzo máximo calculado.

Reemplazando datos tenemos:

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

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

El esfuerzo máximo que se obtiene del programa de simulación SolidWorks considerando la carga encontrada en el ciclo de explosión.

$$\delta C_{FE} = 800.8 \text{ MPa}$$

El esfuerzo calculado en la cámara de compresión.

Fe = Fuerza de explosión en la cámara de combustión = 60.185 KN.

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

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

Comparando δC_F y δC_{Fe} con δC_{Fc}

$$803.78 \text{ MPa} > 216.49 \text{ MPa}$$

A. Cálculo del sobredimensionamiento biela original.

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

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

$$F_s = 3.71$$

B. Conclusión Sobredimensionamiento biela original.

Según los datos obtenidos en los cálculos se comprueba que la biela original está sobredimensionada en 3.71 para el trabajo fue diseñada.

3.9.2 Biela alterna.

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

Donde:

$$A = \text{área de la sección transversal} = 2.22 \text{ cm}^2$$

$$F = \text{Fuerza Máxima Experimental} = 122620\text{N}, \text{ obtenida en el ensayo a compresión.}$$

Reemplazando datos tenemos:

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

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

El esfuerzo máximo que se obtiene del programa de simulación SolidWorks considerando la carga encontrada en el ciclo de explosión.

$$C_{FE} = 528.2 \text{ MPa}$$

El esfuerzo calculado en la cámara de compresión.

$$F_e = \text{Fuerza de explosión en la cámara de combustión} = 60.185 \text{ KN.}$$

$$\delta C_F = \frac{60.185 \text{ KN}}{2.22 \times 10^{-4}}$$

$$\delta C_{Fc} = 271.11 \text{ MPa}$$

Comparando δC_F y δC_{Fe} con δC_{Fc}

$$552.34 \text{ MPa} > 271.11 \text{ MPa}$$

A. Cálculo sobredimensionamiento biela original.

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

$$F_s = 2.55$$

B. Conclusión Sobredimensionamiento biela alterna.

Según los datos obtenidos mediante los cálculos se puede afirmar que la biela alterna está sobredimensionada un 2.55.

CAPÍTULO IV

4. Tabulación y análisis de resultados

4.1 Tabulación de resultados.

En la tabla 23 se detalla los resultados obtenidos en el ciclo de explosión mediante método matemático basado en los datos que se obtiene de la ficha técnica de la camioneta Mazda BT- 50 Diésel.

Tabla 23. Resultado en el ciclo de explosión.

Biela	Pz (MPA)	Fe (KN)
Original	5.15	60.185
Alternativa	4.11	60.185

En la tabla 24 se detalla los resultados obtenidos de la carga crítica (Pcr), obtenidos en el estudio de las bielas tomando en cuenta que las bielas actúan como columnas cortas.

Tabla 24. Resultados con la carga crítica.

Biela	Pcr (KN)
Original	200.852
Alternativa	96.879

En la tabla 25 se detalla los resultados obtenidos del estudio de pandeo en la simulación de SolidWorks obteniendo el factor de seguridad de las bielas utilizando su carga crítica.

Tabla 25. Resultados en SolidWorks (Estudio Columna pandeo).

Biela	Pcr (KN)	Factor de seguridad
Original	200.852	1.07
Alternativa	96.879	1.27

En la tabla 26 se detalla los resultados obtenidos en el estudio de compresión realizados en la simulación de SolidWorks, también se refleja el desplazamiento de las bielas en el mismo estudio.

Tabla 26. Resultados en SolidWorks (Estudio compresión).

Biela	Fuerza máxima experimental (KN)	Esfuerzo (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad
Original	223.45	800.8	8.12	1.013
Alternativa	122.47	528.2	9.05	0.97

En la tabla 27 se detalla la carga máxima obtenida en el ensayo de compresión realizado en las bielas de diferente procedencia también se observa el esfuerzo que se calculó mediante cálculos matemáticos.

Tabla 27. Resultados del Ensayo experimental a compresión.

Biela	Carga (KN) Promedio (3 ensayos de cada procedencia)	ÁREA (m²) Sección transversal	Esfuerzo calculado (MPa)	Desplazamiento (mm)
Original	223.45	0.000278	803.78	8.46
Alternativa	122.47	0.000222	551.67	8.97

Tabla 28. Comparación del esfuerzo real y esfuerzo SolidWorks.

	Ensayos experimentales		Estudio realizado en SolidWorks (FEM)	
Biela	Fuerza Máxima (KN)	experimental Esfuerzo (MPa)	máximo	Esfuerzo (MPa)
Original	223.45	803.78		800.8
Alternativa	122.47	551.67		528.2

De acuerdo con los resultados de la tabla 28 se puede observar valores bastante próximos, por esta razón se puede validar los 2 tipos de ensayos realizados.

En la tabla 29 se detalla el factor de seguridad obtenido en las bielas original y alternativa comparando la fuerza en el ciclo de explosión con la fuerza máxima experimental.

Tabla 29. Resultado del sobredimensionamiento comparando Fe con carga máxima experimental.

Biela	Fe (KN)	Carga máxima ensayo experimental (KN)	Esfuerzo calculado en el ensayo experimental (MPa)	Esfuerzo en FEM (MPa)	Factor de seguridad
Original	60.185	223.45	803.78	800.8	3.71
Alternativa	60.185	122.47	551.67	528.2	2.55

En la tabla 30 se detalla las propiedades mecánicas del acero AISI 4130.

Tabla 30. Propiedades mecánicas acero AISI 4130

Dureza	229 Brinell
Esfuerzo de tensión máximo	745 MPa
Esfuerzo de tensión admisible	462 MPa
Porcentaje de alargamiento	22%
Reducción de área	50%
Módulo de elasticidad	205000 MPa
Relación de Poisson	0.29
Módulo de corte	80000 MPa

En la tabla 31 se detalla las propiedades mecánicas del acero AISI 4140.

Tabla 31. Propiedades mecánicas acero AISI 4140

Dureza	241 Brinell
Esfuerzo de tensión máximo	794.25 MPa
Esfuerzo a la fluencia	690 MPa
Porcentaje de alargamiento	12 %
Reducción de área	50 %
Módulo de elasticidad	210000 MPa
Relación de Poisson	0.29

4.2 Análisis de resultados.

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

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

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

En la tabla 32 se detalla los resultados de los estudios realizados en las bielas de diferente procedencia.

Tabla 32. Resultados generales del estudio

Biela	Fe (KN)	Pcr (KN)	Carga máxima ensayo experimental (KN)	Área (m²) Sección transversal.	Esfuerzo calculado en el ensayo experimental (MPa)	Esfuerzo en FEM (MPa)	Factor de seguridad
Original	60.185	200.852	223.450	0.000278	803.78	800.8	3.71
Alternativa	60.185	96.879	122.470	0.000222	551.67	528.2	2.55

CAPÍTULO V

5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 CONCLUSIONES

- De los ensayos no destructivos por tintas penetrantes y partículas magnéticas se determinó que las bielas no tienen fisuras, discontinuidades o porosidades que puedan actuar como concentradores de tensión que puedan influir en los resultados del estudio.
- De acuerdo con los valores obtenidos de esfuerzo tanto por ensayo experimental y por elementos finitos (FEM) se puede apreciar que existe un rango mínimo de error validando los modelos numéricos.
- En el ensayo a compresión se determina que la biela original soporta un 45,20 % más de carga que las bielas alternas.
- Se determinó con ayuda del análisis químico, ensayo de dureza y la micrografía que las bielas originales corresponden a un acero AISI 4140, mientras que las bielas alternas corresponden a un acero AISI 4130, además las bielas originales presentan un 0.1 % más de carbono es por esta razón que el acero 4140 presenta mejores propiedades mecánicas.
- Tomando como referencia a la fuerza de la explosión con la fuerza del ensayo experimental se determinó que las bielas originales presentan un factor de seguridad de 3.71 mientras que las bielas alternas el factor de seguridad de 2.55 con esto se concluye que las bielas están sobredimensionadas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es fundamental realizar los ensayos no destructivos basados en las normas ASTM E 165 para el ensayo por tintas penetrantes y ASTM 709 para el ensayo por partículas magnéticas; siguiendo los procedimientos con el fin de garantizar los resultados obtenidos
- Es necesario realizar el análisis de sensibilidad de malla para garantizar que el mallado es óptimo y que las fuerzas convergen hacia un mismo punto, esto garantiza el estudio por el método de elementos finitos.
- Se recomienda utilizar las normas ASTM para la realización de las micrografías, utilizar la norma ASTM E 3 para la preparación de la muestra y ASTM 112 para determinar el tamaño del grano con esto los resultados serán viables. Al realizar el corte para la extracción de la probeta en la cual se ejecutará las micrografías es fundamental refrigerar este material, con esto se evita que el material sufra variaciones en su estructura.
- El estudio que se realizó es estático a compresión para garantizar estos resultados es recomendable la realización de estudios dinámicos en las bielas.

Bibliografía

- A. Strozzi, A. B. (16 de Noviembre de 2016). *Sciencedirect*. Obtenido de Ingeniería Análisis de Falla: <http://linkinghub.elsevier.com/sci-hub.cc/retrieve/pii/S1350630715301655>
- Amé, R. M. (2011). *Mecánica aplicada al diseño de los elementos de máquinas temas básicos de resistencia de materiales aplicables al diseño de árboles y ejes*. . Buenos Aires: Nobuko.
- Arista Bernal, J. L. (2014). Obtenido de <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/40446>
- ASTM. (2008). Obtenido de <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/ASTME%20709%20%2008.pdf>
- Blogspot, b. (4 de Septiembre de 2014). *Blogspot*. Obtenido de <https://bielas-roberto.blogspot.com/>
- Burgos, B., & Freire, E. (Junio de 2008). *Repositorio digital EPN*. Obtenido de [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/667/1/CD-1610\(2008-07-28-09-59-37\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/667/1/CD-1610(2008-07-28-09-59-37).pdf)
- C. Cravino, G. C. (2003). *Evaluación de la Falla de una Biela de Automotor*. Obtenido de <http://www.sm2000.coppe.ufrj.br/mirror/sarra/artigos/artigo10229/10229.pdf> Materia:
- Caterpillar. (30 de Noviembre de 2012). *Blogspot*. Obtenido de Blogspot: <http://datoscaterpillar.blogspot.com/2012/11/analisis-de-falla-de-bielas-parte-1.html>
- CJ, L., & Luri, R. (2015). *sciencedirect*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmapro.2015.11.005>
- Conesa Ferrer, J. A. (2011). *Motor de combustión interna. Experimentación en Ingeniería Química III*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/17062>
- Echeverria, M. I. (Marzo de 2010). *Indurama tecnologia* . Obtenido de <http://www.indura.cl/Descargar/Manual%20de%20Aceros%20Inoxidables?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2Fd7a1a8fe99fe4b6a9fbed6412df7e93c.pdf>
- Gonzales Leon, M. (2008). Análisis de fatiga de juntas soldadas de acero al carbono utilizado en recipientes a presión. *Scielo Venezuela*, 287-294.

- Guangming Cao, Z. J. (15 de Febrero de 2017). Fabricación y propiedades de la tira de fundición 4,5% en peso. *Diario de Magnetismo y Materiales Magnéticos* , págs. 64-68. Obtenido de <http://linkinghub.elsevier.com/sci-hub.cc/retrieve/pii/S0304885316325161>
- IEEE. (2010). *IEEE*. Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5421410&isnumber=5421314>
- Imbaquingo, R., & Puente, E. (Octubre de 2011). *Repositorio ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4994/1/T-ESPEL-0860.pdf>
- Ingeniería real*. (2010). Obtenido de <http://ingenieriareal.com/tipos-de-maquinas-universales-de-tension-y-compresion/>
- Jimmy-Cripto. (21 de Mayo de 2015). *Intercambios virtuales*. Obtenido de <http://www.intercambiosvirtuales.org/software/solidworks-2015-multilenguaje-espanol-modelado-avanzado-con-sistemas-cad>
- Jovaj. (1982). *Motores de automoviles*. Moscu: MIR.
- Logan, S. (25 de febrero de 2014). *Competition Connecting Rods*. Obtenido de <http://www.mooregoodink.com/news/tag/con-rod-manufacturing/>
- Martin, A. (30 de junio de 2015). *El confidencial*. Obtenido de http://www.elconfidencial.com/motor/2015-06-30/admitida-a-tramite-una-demanda-contra-renault-por-fallo-en-sus-motores-dci_907544/
- Mecánica.org, A. (2010). *Bielas, anillo y piston*. Obtenido de <https://www.mecanicoautomotriz.org/765-curso-mecanica-automotriz-bielas-anillos-pistones>
- Munive, S., & Reyes, O. (20 de 09 de 2013). *Repositorio Instituto Politecnico Nacional*. Obtenido de <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12646/1932%202013.pdf?sequence=1>
- Nerio, C. (8 de Julio de 2015). *Slideshare*. Obtenido de Slideshare: <http://es.slideshare.net/EdgarVargasMedina/exposicion-motores-diesel>
- Oporto, A. (2005). *Universidad Austral de Chile*. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcio.61m/sources/bmfcio.61m.pdf>
- Páez, A. (04 de Mayo de 2012). *El Norte*. Obtenido de <http://www.elnorte.ec/economia/27055-el-top-5-de-los-autos-m%C3%A1s-vendidos-en-ecuador.html>

- Pazos, N. (2008). *Tecnología de los metales y procesos de manufactura*. Caracas: UCAB.
- Porras, G. E., & Rodríguez, S. (Abril de 2010). *Scielo*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n1/v30n1a22.pdf>
- Sanchez, M. (2012). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos*. Málaga: INNOVA.
- Sanz, S. (2011). *Bloque motor y tren alternativo (Motores)*. Madrid: Editex.
- Sarra, A. (2010). *Repositorio Universidad de Buenos Aires*. Obtenido de <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10229/10229.pdf>
- Secundino, E., & Rivas, J. L. (2009). *Motores*. España: Macmillan Iberia, S.A.
- SUMITEC. (2012). *Sumitec aplicaciones*. Obtenido de <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%204140.pdf>
- Tippens, P. E. (2011). *Física Conceptos y Aplicaciones, séptima edición*. México DF: Mc Graw.
- Torres, J., & Redondo, J. (2010). Reparación y automatización de una máquina universal de ensayos. *Revista ciencia e ingeniería.*, 171-179.
- vivir, P. n. (2013). Obtenido de Impulsar la transformación de la matriz productiva



ANEXOS



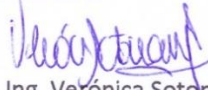
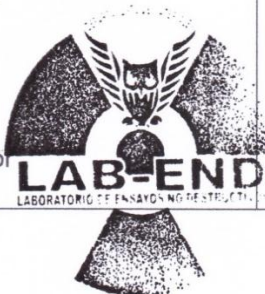
Anexo A. Informe técnico ensayo por tintas penetrantes.

REPORTE DE INSPECCIÓN POR LIQUIDOS PENETRANTES

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
DEPARTAMENTO DE MATERIALES

DATOS GENERALES	
Cliente: Victor Morillo, Estudiante UTN	Reporte N°: 02-2017
Fecha: Jueves 16 de Marzo de 2017	Lugar: Quito-Ecuador
IDENTIFICACIÓN DE LA PIEZA	
Descripción: Bielas de Motor	Identificación: 0004755
Material: Fundición de Hierro	Estado Superficial: Rugosidad Normal del material
ESQUEMA DE LA PIEZA	
	
a. Bielas original, de izquierda a derecha numeradas como 1., 2. Y 3. b. Bielas alterna, de izquierda a derecha numeradas como 3., 4. Y 5.	

MATERIALES Y EQUIPOS		
Líquidos:		
Limpiador / removedor: Met-L-check E-59A		Emulsificador: N/A
Penetrante Met-L-check VP-30	Revelador Met-L-check D-70	
Accesorios: Flexómetro		
CONDICIONES DE TRABAJO		
Procedimiento: basado en ASTM E 165, Tipo II método A		Limpieza: Con solvente
Tiempos:		
Penetrante: 15 minutos	Emulsificador: N/A	Revelador: 10 minutos
Luz de observación: Visible (sobre los 1700 lux)		Tiempo:
Normas de Aceptación / Rechazo No Aplicable. Examinación de zona de cuerpo de bielas.		
RESULTADOS		
ZONA	IMAGEN	OBSERVACIONES
Bielas 1, 2 y 3 Lado derecho		No se detectan discontinuidades relevantes.
Bielas 4, 5 y 6 Lado derecho		No se detectan discontinuidades relevantes.

<p>Bielas 1, 2 y 3 Lado izquierdo</p>		<p>No se detectan discontinuidades relevantes.</p>
<p>Bielas 4, 5 y 6 Lado izquierdo</p>		<p>No se detectan discontinuidades relevantes.</p>
<p>OPERADOR: Ana Gabriela Tapia</p>		
<p>Nivel: LÍQUIDOS PENETRANTES- NIVEL II</p>	<p>Firma:</p>	
<p>SUPERVISOR: Verónica Sotomayor</p>		
<p>Nivel: Jefe de LAB-END LÍQUIDOS PENETRANTES- NIVEL II</p>	<p>Firma:</p>	
<p>Laboratorio de Ensayos No Destructivos LAB-END</p> <p>Fecha: 16-03-2017</p> <p>Firma:  Ing. Verónica Sotomayor JEFE LAB-END</p> 	<p>Cliente</p> <p>Fecha:</p> <p>Firma: Sr. Víctor Morillo Estudiante UTN</p>	

Anexo B. Informe técnico ensayo por partículas magnéticas.

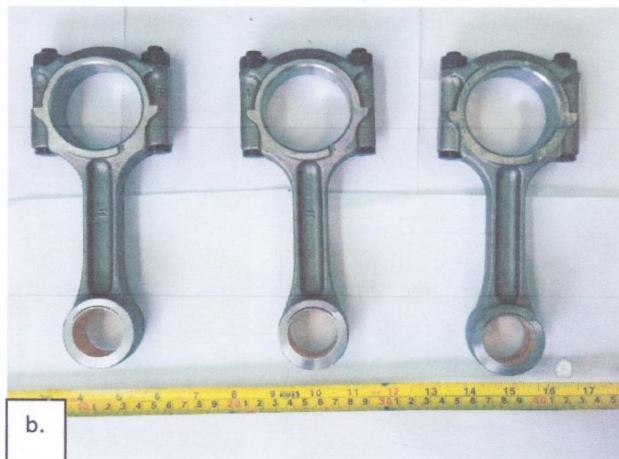
REPORTE DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
DEPARTAMENTO DE MATERIALES



DATOS GENERALES

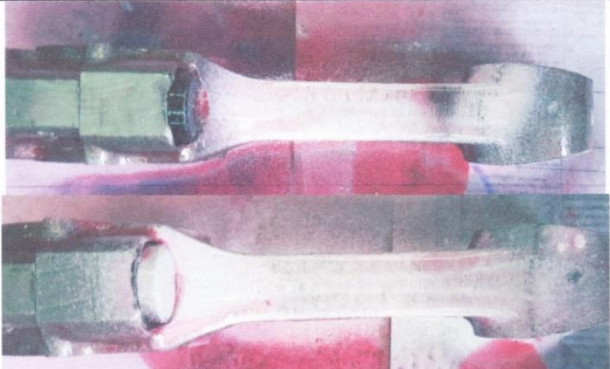
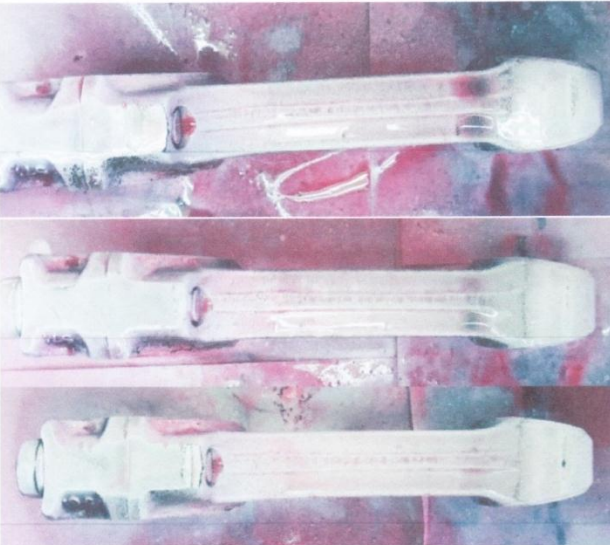

Cliente: Victor Morillo, Estudiante UTN	Reporte N°: 03-2017
Fecha de inspección: Jueves 16 de Marzo de 2017	Lugar: Quito-Ecuador
IDENTIFICACIÓN DE LA PIEZA	
Descripción: Bielas de Motor	Identificación: 0004755
Material: Fundición de Hierro	Estado Superficial: Rugosidad Normal del material

ESQUEMA DE LA PIEZA

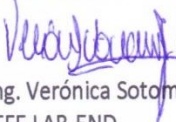


- a. Bielas original, de izquierda a derecha numeradas como 1., 2. Y 3.
- b. Bielas alterna, de izquierda a derecha numeradas como 3., 4. Y 5

EQUIPOS Y MATERIALES		
Equipo de magnetización:		
Tipo: Yugo magnético		
Marca: Magnaflux	Amperaje nominal: 6 Amp.	
Accesorios:		
Flexómetro		
CONDICIONES DE TRABAJO		
Método de magnetización:		Técnica:
Magnetización continua y longitudinal		Método húmedo, partículas negras en medio no acuoso y contraste blanco
Tipo de Corriente		
Voltaje: 110V	Amperaje: N/D	
Normas de Aceptación y Rechazo:		
No Aplicable. Examinación de zona de cuerpo de bielas. Procedimiento basado en ASTM E 709		
RESULTADOS		
ZONA	IMAGEN	OBSERVACIONES
Bielas 1, 2 y 3 Lado derecho		No se detectan discontinuidades relevantes.
Bielas 4, 5 y 6 Lado derecho		No se detectan discontinuidades relevantes.

		
<p>Bielas 1, 2 y 3 Lado Izquierdo</p>		<p>No se detectan discontinuidades relevantes.</p>
<p>Bielas 4, 5 y 6 Lado Izquierdo</p>		<p>No se detectan discontinuidades relevantes.</p>



OPERADOR: Ana Gabriela Tapia	
Nivel: PARTICULAS MAGNÉTICAS NIVEL II ASNT	Firma:
SUPERVISOR: Verónica Sotomayor	
Nivel: JEFE LAB-END	Firma:
Laboratorio de Ensayos No Destructivo LAB-END	Cliente
Fecha: 16-03-2017	Fecha:
Firma:  Ing. Verónica Sotomayor JEFE LAB-END	Firma: Sr. Víctor Morillo Estudiante UTN



Anexo C. Informe técnico de las metalografías.



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE METALOGRAFÍA,
DESGASTE Y FALLA
INFORME TÉCNICO

Orden de Trabajo No. 0004756

Solicitado por: Sr. VICTOR MORILLO
Muestras Suministradas por: Sr. VICTOR MORILLO
Tipo de trabajo: Metalografía
Fecha: Quito, 17 de Marzo del 2017

1. ANTECEDENTES.

Se recibe en el Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla de la Escuela Politécnica Nacional, dos muestras de biela de 3x2 cm respectivamente, con la finalidad de realizar dos metalografías.

2. RESULTADO METALOGRÁFICO

Tabla N° 1. Análisis Metalográfico de bielas

PROBETA	Aumentos	OBSERVACIONES
Biela original	100X	La microestructura corresponde a una de tipo ferrítico-perlítica con una disposición homogénea y granos de ferrita rodeando los granos de perlita, se observa además bandas alineadas en dirección del laminado. Fotografía N° 1.
	500X	La matriz corresponde a una de tipo perlítica. Fotografía N° 2.
Biela alterna	100X	La microestructura corresponde a una de tipo ferrítico-perlítica con granos de perlita de tamaño variable rodeados por granos de ferrita, se observa además bandas alineadas en dirección del laminado. Fotografía N° 3
	500X	La matriz corresponde a una de tipo perlítica. Fotografía N° 4

3. CONCLUSIÓN

Los elementos corresponden a un acero de medio contenido de carbono, conformado y tratado térmicamente.

Atentamente:

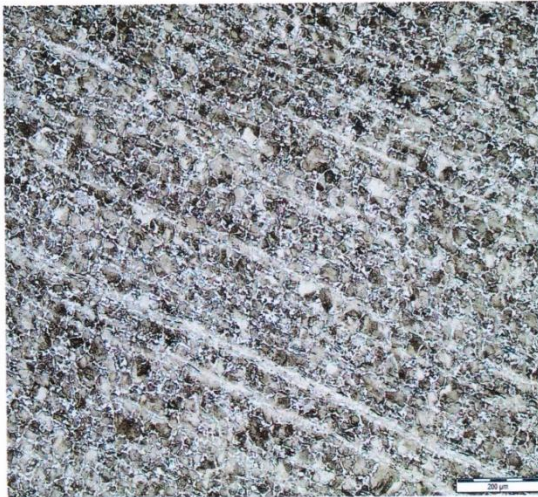

Ing. Carlos Díaz
Jefe del Laboratorio de Metalografía,
Desgaste y Falla



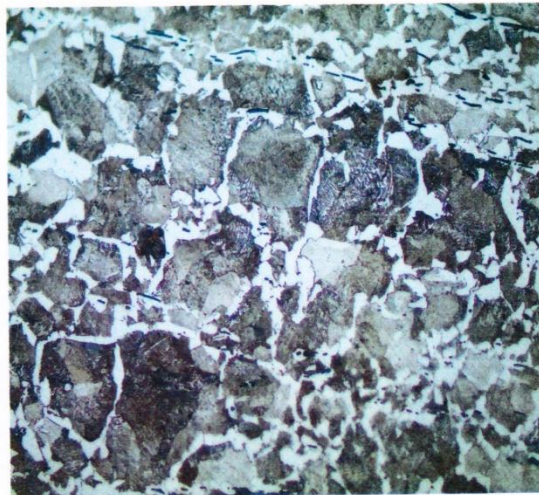
Nota: Se anexa 4 fotografías.

Página 1 de 2

ANEXO FOTOGRAFÍAS



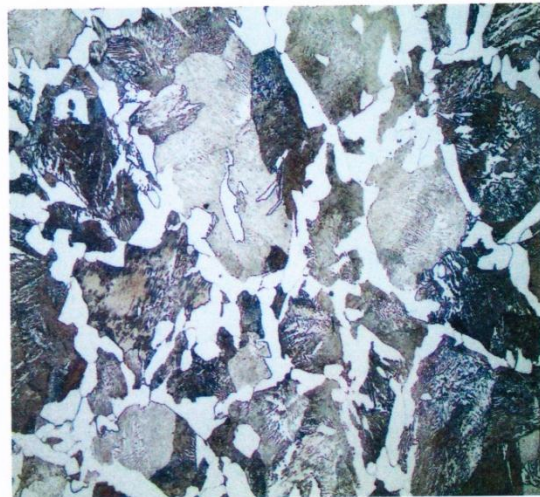
Fotografía N° 1. Muestra de biela original, se observan bandas de alineadas en dirección del conformado y una microestructura de tipo ferrítico-perlítica. 100X



Fotografía N° 2. Muestra biela original. La matriz es de tipo perlítica con presencia de granos de ferrita rodeando los granos de perlita 500X



Fotografía N° 3. Muestra de biela alterna, se observan bandas de alineadas en dirección del conformado y una microestructura de tipo ferrítico-perlítica. 100X



Fotografía N° 4. Muestra de biela alterna. La matriz es de tipo perlítica con presencia de granos de ferrita rodeando los granos de perlita 500X



Anexo D. Informe técnico ensayo de dureza y ensayo de compresión.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

INFORME TÉCNICO

LAEV – MAR.17.15.0

Quito, 10 de marzo de 2017

TRABAJO SOLICITADO POR: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Sr. Víctor Morillo

ORDEN DE TRABAJO N° 0005176

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de bielas pertenecientes al Sr. Víctor Anibal Morillo Tasiguano para el proyecto de titulación "DETERMINAR LA CARGA MECÁNICA MÁXIMA QUE SOPORTAN LAS BIELAS DEL MOTOR DE UNA CAMIONETA MAZDA BT-50 DIESEL MEDIANTE ENSAYOS ESTÁTICOS DE ESFUERZO EXPERIMENTAL Y POR ELEMENTOS FINITOS". Las probetas fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

1. MUESTRAS: Seis (6) muestras de bielas para ensayo de compresión y dos (2) muestras de bielas para ensayo de dureza Brinell.

2. GENERALIDADES

En la tabla 1 se presenta la identificación de las muestras a ser ensayadas.

Tabla 1. Identificación de las muestras.

Muestra	Identificación LAEV
Biela Original	BO
Biela Alterna	BA

3. ENSAYO DE COMPRESIÓN

En la tabla 2 se presenta los resultados de la carga máxima registrada en las muestras de bielas.

LAEV-EPN
Orden N°: 0005176



Tabla 2. Resultados de carga máxima.

Id.	Carga máxima registrada	
	lbf	N
BO-1	51.100	227.304
BO-2	49.700	221.077
BO-3	49.800	221.521
BA-1	30.300	134.781
BA-2	29.400	130.778
BA-3	22.900	101.864

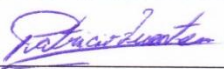
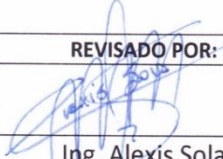
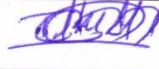
Las curvas de Fuerza vs. Desplazamiento se muestran en el anexo. El desplazamiento que se puede observar en las curvas corresponde al desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos.

4. ENSAYO DE DUREZA BRINELL

En la tabla 3 se presentan los resultados de las mediciones de dureza Brinell escala HBW 10/3000 a las muestras entregadas.

Tabla 3. Medición de dureza Brinell.

Mediciones en escala Brinell HBW 10/3000	
Id.	1
BO	241
BA	229

	ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:			
Nombre:	Ing. Patricio Fuentes	Ing. Alexis Sola	Ing. Jonathan Castro. M.Sc.
Cargo:	ASISTENTE	ESPECIALISTA	JEFE (E)
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES			



ANEXO

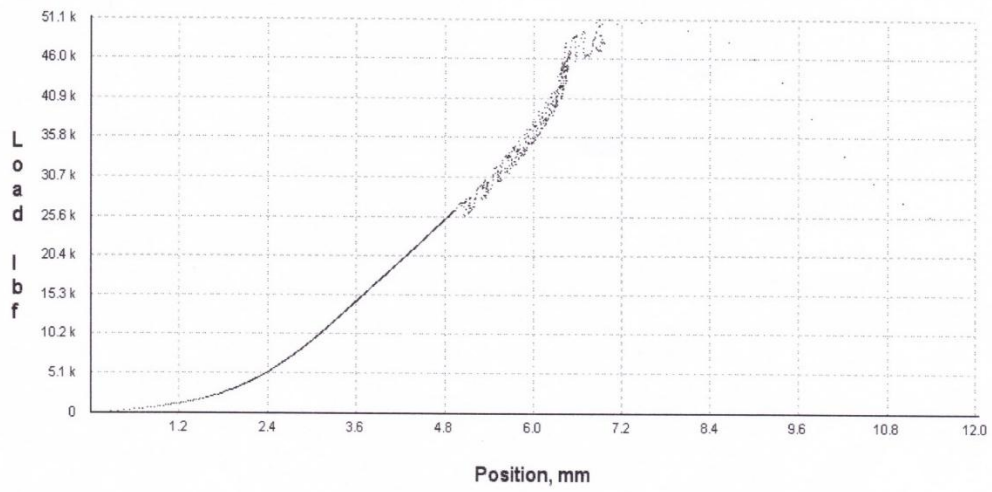


Figura 1. Curva de Fuerza vs. Desplazamiento de la muestra BO-1.

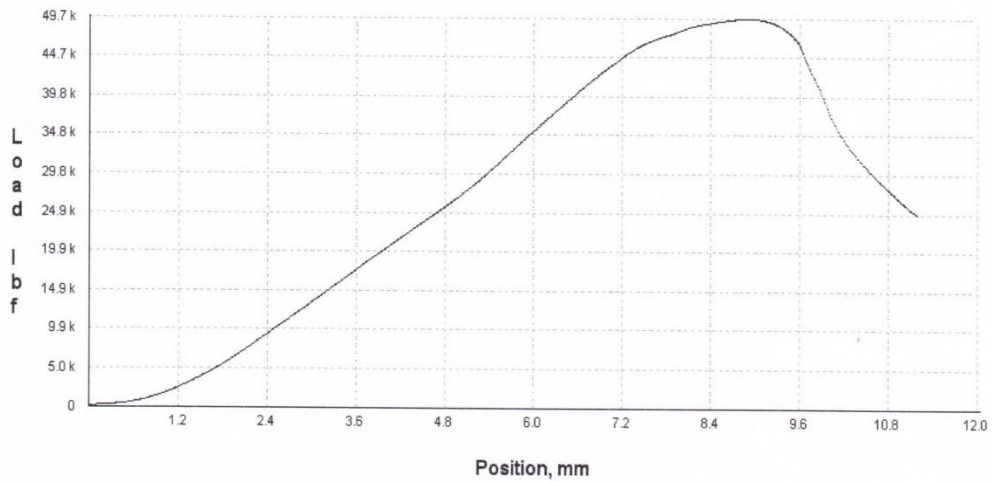


Figura 2. Curva de Fuerza vs. Desplazamiento de la muestra BO-2.



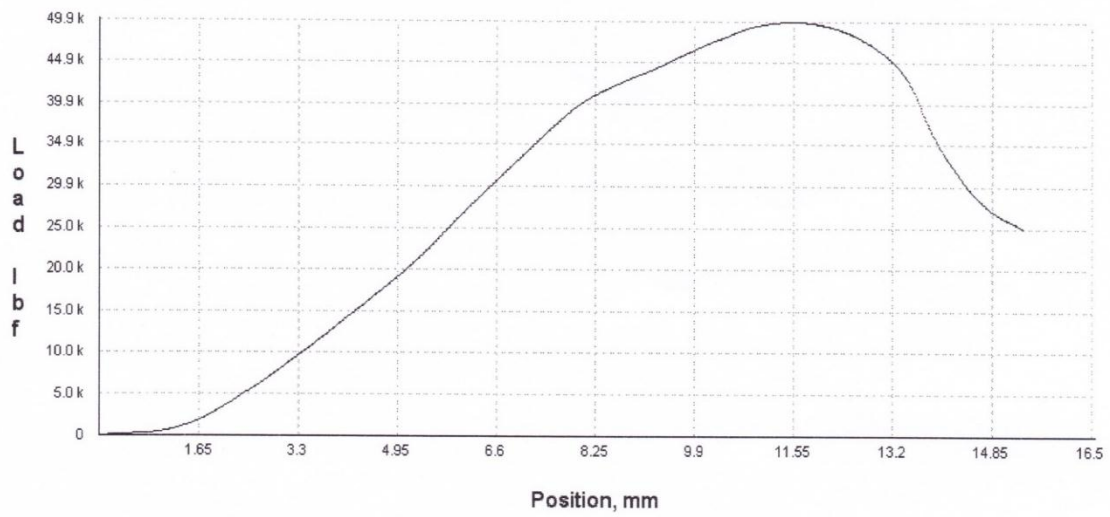


Figura 3. Curva de Fuerza vs. Desplazamiento de la muestra BO-3.

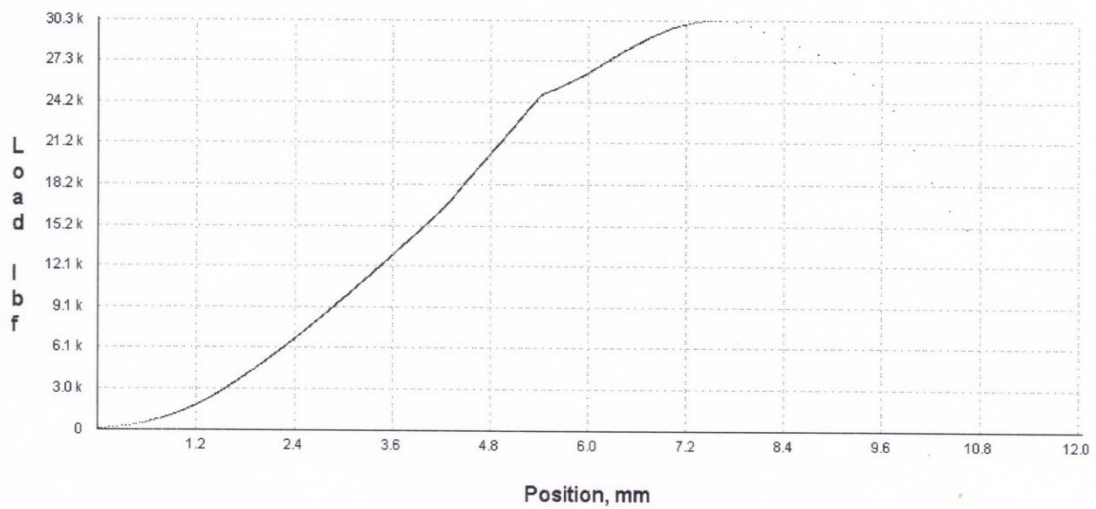


Figura 4. Curva de Fuerza vs. Desplazamiento de la muestra BA-1.

P



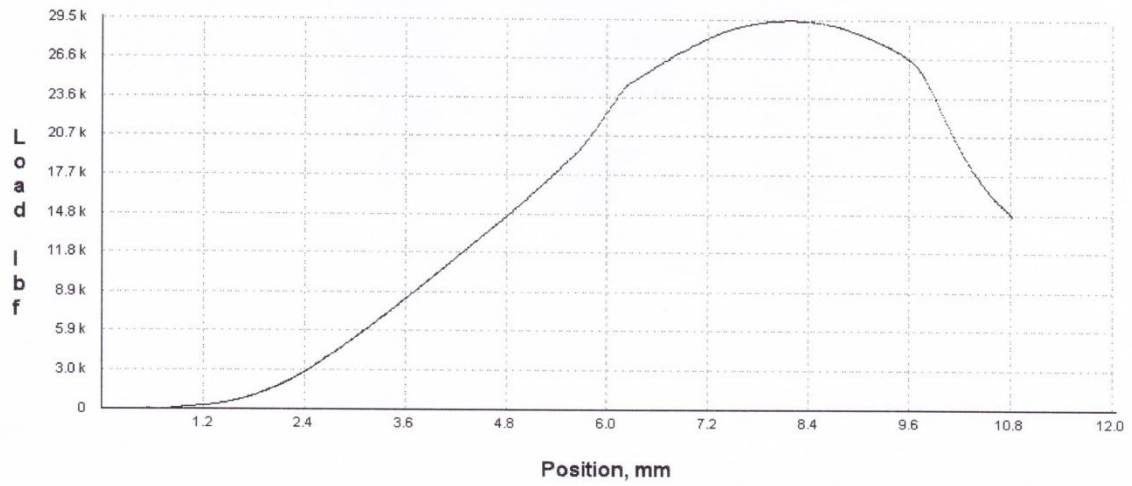


Figura 5. Curva de Fuerza vs. Desplazamiento de la muestra BA-2.

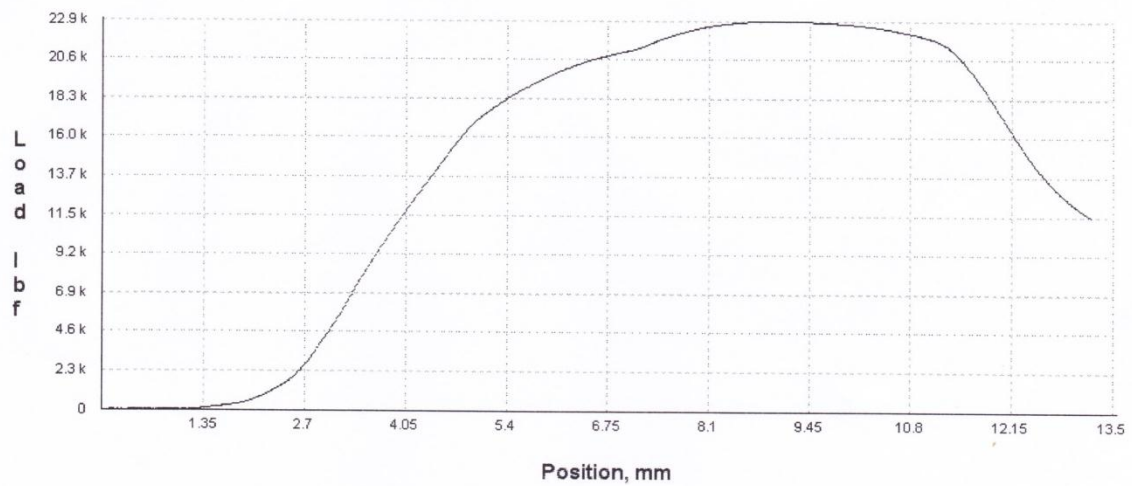


Figura 6. Curva de Fuerza vs. Desplazamiento de la muestra BA-3 *F*



