



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

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

**TEMA:** ANÁLISIS DEL SOBRECALENTAMIENTO Y  
DEFORMACIÓN DE LA CULATA DE CILINDROS Y JUNTA DE  
CULATA DE UN MOTOR HINO 205.

**AUTORES:** Haro Mediavilla Kleber Germanico

Haro Vaca Darwin Gabriel

**DIRECTOR:** Ing. Carlos Nolasco Mafla Yépez 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	
<b>CEDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003323712
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Haro Mediavilla Kleber Germanico
<b>DIRECCIÓN:</b>	Otavalo
<b>EMAIL:</b>	klever_harom21@hotmail.com
<b>TELEFONO FIJO:</b>	(06)2922068 teléfono móvil: 0997938706
DATOS DE CONTACTO	
<b>CEDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003405394
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Haro Vaca Darwin Gabriel
<b>DIRECCIÓN:</b>	Cotacachi - Quiroga
<b>EMAIL:</b>	dgharov@gmail.com
<b>TELEFONO FIJO:</b>	(06)2537340 Teléfono móvil: 0990265303
DATOS DE LA OBRA:	
<b>TÍTULO:</b>	Analizar el sobrecalentamiento y deformación de la culata de cilindros y junta de culata de un motor Hino 205.
<b>AUTORES:</b>	Haro Mediavilla Kleber Germanico Haro Vaca Darwin Gabriel
<b>FECHA:</b>	
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO
<b>TITULO POR EL QUE OPTA</b>	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
<b>ASESOR/DIRECTOR</b>	Ing. Carlos Nolasco Mafla Yépez MSc.

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Nosotros Haro Mediavilla kleber Germanico y Haro vaca Darwin Gabriel con cédulas de identidad Nro. 1003323712; 1003405394, en calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales de la obra o 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

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días del mes de enero del 2018.

## AUTORES



---

Firma

---

Haro Mediavilla Kleber Germanico

---

1003323712

---

C.C



---

Firma

---

Haro Vaca Darwin Gabriel

---

1003405394

---

C.C



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

Nosotros, **HARO MEDIAVILLA KLEBER GERMANICO Y HARO VACA DARWIN GABRIEL** con cédulas de identidad Nro. 1003323712; 1003405394, manifestamos nuestra voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **“ANÁLISIS DEL SOBRECALENTAMIENTO Y DEFORMACIÓN DE LA CULATA DE CILINDROS Y JUNTA DE CULATA DE UN MOTOR HINO 205”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERÍA 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 12 días del mes de enero del 2018

#### AUTORES



---

Firma

Haro Mediavilla Kleber Germanico

---

1003323712

---

C.C



---

Firma

Haro Vaca Darwin Gabriel

---

1003405394

---

C.C

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto fue realizado en su totalidad por los señores: Haro Mediavilla Kleber Germanico, Haro Vaca Darwin Gabriel, como requisito para la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz.

Atentamente,



Ing. Carlos Nolasco Mafla Yépez MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

## DEDICATORIA

*A toda nuestra familia quienes nos apoyaron constantemente en todo el transcurso de la carrera de Ing. Mantenimiento Automotriz.*

## AGRADECIMIENTO

*A nuestros padres quienes son el motivo de  
superación permanente en nuestras vidas.*

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>II</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ÍNDICES DE ECUACIONES</b> .....	<b>XII</b>
<b>ÍNDICES DE ANEXOS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XIV</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XIV</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
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 .....	2
1.5 Objetivos .....	2
1.5.1 Objetivo General .....	2
1.5.2 Objetivos Específicos .....	3
1.6 Justificación .....	3
1.7 Metodología de la investigación .....	3
1.7.1 Tipo de investigación .....	3
1.7.1.1 Investigación Bibliográfica .....	4
1.7.1.2 Investigación Tecnológica .....	4

1.7.1.3 Investigación Experimental .....	4
1.7.2 Método.....	4
1.7.3 Técnicas e instrumentos.....	5
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>6</b>
2 Marco teórico.....	6
2.1 Introducción .....	6
2.2 Ciclos de trabajo de los Motores Diésel .....	7
2.2.1 Ciclo Teórico del motor Diésel .....	7
2.2.1.1 Ciclo de admisión.....	7
2.2.1.2 Ciclo de Compresión.....	8
2.2.1.3 Ciclo de Combustión y expansión.....	8
2.2.1.4 Ciclo de Escape.....	9
2.2.2 Ciclo Real del motor Diésel .....	10
2.2.2.1 Admisión (1 – 2) .....	10
2.2.2.2 Compresión (2 - 3).....	10
2.2.2.3 Inyección y Combustión (3 – 4).....	11
2.2.2.4 Expansión (4 - 5).....	11
2.2.2.5 Principio de Escape (5 - 6).....	11
2.2.2.6 Expulsión de los gases (6 - 1).....	11
2.3 Elementos constructivos del motor térmico ciclo Diésel .....	12
2.3.1 Pistón .....	12
2.3.2 Segmentos .....	13
2.3.3 Bulón .....	13
2.3.4 Biela.....	14
2.3.5 Cigüeñal .....	14
2.3.6 Culata de cilindros.....	15
2.3.7 Junta de culata .....	16
2.3.8 Bloque motor.....	16
2.3.9 Cáster .....	17
2.4 Materiales empleados en la construcción de piezas de un motor .....	17
2.4.1 Hierro fundido .....	17
2.4.2 Clasificación del hierro fundido.....	18

2.4.3 Tipos de hierro fundido .....	18
2.4.3.1 Hierro fundido gris.....	19
2.4.3.2 Hierro fundido blanco.....	23
2.4.3.3 Fundición de hierro dúctil o nodular.....	24
2.4.3.4 Hierro fundido maleable .....	26
2.4.3.5 Hierros fundidos aleados .....	27
2.5 Ensayos de propiedades mecánicas de los materiales .....	35
2.5.1 Propiedades mecánicas .....	35
2.5.2 Ensayos destructivos.....	35
2.5.3 Ensayos estáticos.....	36
2.5.4 Dureza .....	36
2.6 Método Brinell .....	37
2.7 Método Rockwell.....	39
2.8 Método Vickers .....	40
2.8.1 Elasticidad .....	41
2.9 Temperatura y dilatación térmica .....	41
2.9.1 Dilatación térmica de sólidos y líquidos .....	41
2.9.1.1 Dilatación Lineal .....	41
2.9.1.2 Dilatación Superficial.....	42
2.9.1.3 Dilatación Cubica .....	43
2.9.2 Esfuerzos Térmicos .....	43
2.9.2.1 Esfuerzos térmicos en la dilatación lineal .....	43
2.9.2.2 Esfuerzos térmicos en la dilatación volumétrica .....	44
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>46</b>
3 Desarrollo de la propuesta.....	46
3.1 Desmontaje del motor Hino 205 .....	46
3.1.1 Despiece de las partes fijas y móviles del motor. ....	46
3.1.1.1 Desmontaje de la culata de cilindros.....	47
3.1.1.2 Desmontaje del cárter. ....	47
3.1.1.3 Desmontaje de los pistones.....	47
3.1.1.4 Desmontaje del sistema de la distribución. ....	48
3.2 Análisis de desgastes de los elementos móviles y fijos del motor....	48

3.2.1 Desgaste en los cojinetes de biela y bancada .....	48
3.2.1.1 Zonas de desgastes en los cojinetes de bancada y biela .....	49
3.2.1.2 Desgaste de la capa del material blando .....	50
3.2.1.3 Desgaste de la parte lateral del casquillo de acero .....	51
3.2.1.4 Desgaste y fundición del cojinete con el cigüeñal .....	51
3.2.2 Desgaste en las bielas .....	51
3.2.2.1 Desgaste de la cabeza de biela .....	52
3.2.2.2 Torcedura del pie de la biela .....	53
3.2.2.3 Desgaste del bocín de biela .....	53
3.2.3 Desgaste en el cigüeñal .....	53
3.2.3.1 Desgaste del codo del cigüeñal .....	54
3.2.3.2 Desgaste de los laterales del cigüeñal .....	55
3.2.3.3 Rotura del cigüeñal .....	55
3.2.4 Desgaste en los pistones .....	55
3.2.4.1 Rotura de la cabeza del pistón .....	55
3.2.4.2 Recalentamiento de la falda del pistón .....	56
3.2.4.3 Deformación de las ranuras de los rines .....	57
3.2.5 Desgaste de las camisas y segmentos .....	57
3.2.5.1 Rotura de la ceja de la camisa .....	59
3.2.5.2 Fisura de las paredes de la camisa .....	59
3.2.5.3 Rotura de camisa .....	59
3.2.6 Desgaste en la culata de cilindros .....	59
3.2.6.1 Fisura en el conducto de refrigeración. ....	60
3.2.6.2 Daños en los anillos de válvula de admisión y escape. ..	61
3.2.6.3 Daño en el orificio de la varilla de empuje. ....	61
3.2.6.4 Taponamiento de los conductos de refrigeración. ....	61
3.2.7 Desgaste en la junta de culata .....	63
3.3 Ensamblaje del motor Hino 205 .....	66
3.3.1 Asentamiento del cigüeñal en el bloque de cilindros .....	66
3.3.1.1 Lavado del bloque motor y pulida del cigüeñal .....	66
3.3.1.2 Comprobación de rayaduras en los cojinetes .....	67
3.3.1.3 Comprobación del ajuste de la película de aceite .....	67

3.3.1.4 Colocación de los bujes del árbol de levas en el bloque motor.....	68
3.3.2 Montaje del cigüeñal.....	69
3.3.3 Montaje de las camisas del bloque motor.....	70
3.3.4 Montaje del conjunto pistón biela.....	71
3.3.5 Montaje y sincronización del sistema de distribución.....	72
3.3.6 Montaje de las carcasas del bloque motor.....	73
3.3.7 Montaje del cárter.....	73
3.3.8 Armada y montaje de la culata de cilindros.....	73
3.3.9 Montaje del tren de balancines e inyectores.....	75
3.3.10 Montaje de las cañerías de la bomba de inyección.....	76
3.3.11 Montaje del turbo compresor.....	76
3.4 Determinación de la dilatación superficial y volumétrica de la culata.....	77
3.4.1 Cálculo de áreas y volúmenes existentes en la superficie de la culata.....	77
3.4.1.1 Cálculo de áreas.....	77
3.4.1.2 Cálculo de volúmenes.....	81
3.4.2 Cálculo del área superficial de la culata de cilindros.....	85
3.4.2.1 Sumatoria de áreas existentes en cara inferior de la culata.....	85
3.4.3 Cálculo del volumen de la culata de cilindros.....	86
3.4.3.1 Sumatoria de volúmenes existentes en la culata.....	86
3.5 Cálculo del esfuerzo térmico.....	86
3.5.1 Cálculo del esfuerzo térmico en dilatación superficial de la culata.....	87
3.5.2 Cálculo del esfuerzo térmico en dilatación volumétrica de la culata.....	88
3.5.3 Cálculo del esfuerzo térmico en dilatación superficial de la junta de culata.....	90
3.5.3.1 Cálculo del área superficial de la junta de culata.....	90
3.6 Análisis de la culata de cilindros de un motor Hino 205.....	92
3.6.1 Obtención de muestras para el ensayo de tracción.....	92

3.6.1.1 Mediciones tomadas de una culata de cilindros Hino 205 .....	93
3.6.1.2 Medición y corte de las muestras.....	94
3.6.2 Resultados de los ensayos .....	95
3.6.2.1 Registro del ensayo de tracción.....	95
3.6.2.2.....Medidas de las probetas modificadas para el ensayo de tracción.....	97
3.6.2.3 Resultados obtenidos del ensayo de tracción .....	97
3.6.2.4 Gráficas registradas en el ensayo de tracción.....	98
3.6.2.5 Registro del ensayo de composición química mediante espectrometría de emisión óptica por chispa.....	99
3.6.2.6 Registro del ensayo de dureza .....	101
3.6.2.7 Registro de resultados del ensayo metalográfico.....	103
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>106</b>
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	106
4.1 Resultados del ensayo de tracción .....	106
4.1.1 Límites de rotura obtenidos del ensayo de tracción .....	106
4.2 Resultados del ensayo de composición química mediante espectrometría de emisión óptica por chispa .....	108
4.3 Resultados del ensayo de dureza .....	111
4.4 Resultados del ensayo metalográfico .....	114
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>116</b>
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	117
5.1 Conclusiones.....	117
5.2 Recomendaciones .....	118
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>119</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA NUM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PAG.</b>
2.1.	Motor diésel de la marca Hino 205 .....	6
2.2.	Descripción del ciclo de admisión de un motor diésel .....	7
2.3.	Descripción del ciclo de compresión de un motor diésel .....	8
2.4.	Descripción del ciclo de combustión y expansión de un motor diésel .....	9
2.5.	Descripción del ciclo de escape de un motor diésel .....	9
2.6.	Descripción del ciclo real de un motor diésel y su funcionamiento .....	10
2.7.	Pistón de un motor diésel con sus respectivas partes .....	12
2.8.	Segmentos del pistón .....	13
2.9.	Bulón del pistón .....	13
2.10.	Biela de un motor ciclo diésel .....	14
2.11.	Cigüeñal de un motor de combustión interna ciclo diésel .....	15
2.12.	Culata de un motor de combustión interna ciclo diésel .....	15
2.13.	Junta de culata de un motor marca Hino .....	16
2.14.	Bloque motor de un Hino 205 .....	16
2.15.	Cárter de un motor Hino 205 .....	17
2.16.	Diagrama de Hierro – Carbono .....	18
2.17.	Micro estructura de la fundición gris .....	19
2.18.	Tipos de hojuelas de un hierro fundido gris. ....	20
2.19.	Micro estructura de una matriz perlítica de un hierro fundido gris .....	22
2.20.	Micro estructura de una matriz ferrítica de un hierro fundido gris .....	22
2.21.	Micro estructura de una fundición blanca .....	23
2.22.	Micro estructura de una fundición dúctil .....	24
2.23.	Micro estructura de una matriz ferrítica de un hierro fundido dúctil .....	25
2.24.	Micro estructura de una fundición perlítica. ....	25
2.25.	Micro estructura de una fundición maleable. ....	26
3.1.	Materiales y partes del cojinete de bancada de un motor ciclo diésel .....	48
3.2.	Zonas donde se produce el desgaste del cojinete de bancada .....	50
3.3.	Zonas donde se produce el desgaste en la biela .....	52
3.4.	Zonas donde se produce el desgaste en el cigüeñal .....	54
3.5.	Zonas de desgaste del pistón .....	56

3.6. Zonas de desgaste de los segmentos .....	57
3.7. Zonas de desgaste de los segmentos y camisas .....	58
3.8. Culata de cilindros de un motor Hino 205.....	60
3.9. Desgaste entre los anillos de la culata de un motor Hino 205 .....	62
3.10. Desgaste de los anillos de válvulas de la culata de un motor Hino 205..	63
3.11. Zonas donde se produce el desgaste en la junta de culata de un Hino 205 .....	64
3.12. Lavado del bloque motor y pulida cigüeñal de un motor Hino 205.....	66
3.13. Comprobación de rayaduras en los cojinetes de bancada .....	67
3.14. Comprobación del ajuste de la película de aceite en los muñones de bancada .....	68
3.15. Colocación de bujes del árbol de levas en el motor Hino 205.....	69
3.16. Montaje del cigüeñal en bloque motor de un motor Hino 205.....	70
3.17. Montaje de las camisas del bloque motor de un Hino 205.....	70
3.18. Montaje del conjunto pistón biela del motor Hino 205 .....	71
3.19. Montaje del cárter de un motor Hino 205.....	73
3.20. Armada y montaje de la culata de cilindros .....	74
3.21. Montaje del tren de balancines e inyectores a un motor Hino 205.....	75
3.22. Probeta para ensayos de tracción según la norma ASTM E-8 .....	93
3.23. Medición de la culata de cilindros de un motor Hino 205.....	93
3.24. Diseño y extracción de la probeta para el ensayo de tracción .....	94
3.25. Muestra para el ensayo de tracción.....	95
3.26. Diagrama de esfuerzo vs deformación .....	96
3.27. Diagrama de la probeta T1. Esfuerzo vs deformación .....	98
3.28. Diagrama de la probeta T2. Esfuerzo vs deformación .....	99
3.29. Visualización metalográfica del material a 100X.....	104
3.30. Visualización metalográfica del material a 500X.....	105
3.31. Visualización metalográfica del material a 100X. Sin ataque.....	105
4.1. Comparación de formas del grafito norma.....	115
4.2. Comparación de formas del grafito norma.....	115
4.3. Comparación de formas del grafito norma.....	116

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA NUM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PAG.</b>
2.1.	Elementos móviles y fijos del motor de combustión interna.....	12
2.2.	Tamaños de hojuelas de un hierro fundido.....	21
2.3.	Influencia de los materiales de aleación sobre la estructura del grafito y las características de su matriz.....	29
2.4.	Influencia de los materiales de aleación sobre los puntos críticos.....	30
2.5.	Composiciones de algunas fundiciones aleadas al cromo y silicio. ....	34
2.6.	Tipos de ensayos. ....	37
2.7.	Cargas y diámetros para ensayos Brinell. ....	38
2.8.	Escalas de dureza Rockwell.....	39
2.9.	Temperatura y dilatación térmica .....	42
3.1.	Dimensiones estandarizadas conforme a la norma ASTM E-8.....	92
3.2.	Dimensiones de la culata de cilindros de un motor Hino 205 .....	94
3.3.	Medidas de las probetas modificadas .....	97
3.4.	Medidas del ensayo de tracción. ....	97
3.5.	Porcentajes de los elementos presentes en la culata de cilindros de un Hino 205 .....	100
3.6.	Escalas de dureza Rockwell.....	101
3.7.	Medidas obtenidas del ensayo de dureza .....	102
4.1.	Dimensiones de las probetas norma ASTM E-8.....	106
4.2.	Datos generales del ensayo de tracción.....	106
4.3.	Clasificación del hierro gris norma ASTM A-48 .....	107
4.4.	Comparación de valores del material .....	107
4.5.	Porcentajes de elementos químicos de un hierro fundido gris.....	108
4.6.	Porcentajes de elementos de un hierro fundido estándar .....	109
4.7.	Comparación de valores del material .....	110
4.8.	Datos generales del ensayo de dureza .....	111
4.9.	Medidas del ensayo de dureza Rockwell B .....	112
4.10.	Clasificación de las fundiciones grises norma ASTM A-48 .....	112
4.11.	Intervalos de dureza norma ASTM A-48.....	113
4.12.	Datos generales del ensayo metalográfico norma ASTM A-247.....	114

## ÍNDICES DE ECUACIONES

<b>ECUACIÓN NUM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PAG.</b>
[2.1]	Càlculo mètode Brinell .....	38
[2.2]	Càlculo de la superfície de una esfera metodo Brinell .....	38
[2.3]	Càlculo mètode Vickers.....	40
[2.4]	Càlculo de la dilataciòn lineal .....	41
[2.5]	Càlculo de la dilataciòn superficial .....	42
[2.6]	Càlculo y remplazo del coeficiente de dilataciòn superficial .....	42
[2.7]	Càlculo de la dilataciòn volumètrica .....	43
[2.8]	Càlculo y remplazo del coeficiente de dilataciòn volumètrica .....	43
[3.1]	Càlculo del àrea de un cìrculo .....	77
[3.2]	Càlculo del àrea de un triàngulo.....	77
[3.3]	Càlculo del volumen de un cilindro .....	77
[3.4]	Càlculo del volumen de un rectàngulo.....	77
[3.5]	Càlculo de volumenes de un cilindro .....	84
[3.6]	Càlculo de sumatorias .....	85
[3.7]	Càlculo mètode Rockwell .....	103

## ÍNDICES DE ANEXOS

<b>ANEXO NUM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PAG.</b>
1.1	Informe de los ensayos realizados a una culata Hino 205 .....	120
2.1	Registro del ensayo de composición química realizado a una culata Hino 205 .....	120
3.1	Registro del ensayo de dureza realizado a una culata Hino 205 .....	120
4.1	Registro del ensayo de tracción realizado a una culata Hino 205.....	120
5.1	Registro del ensayo metalográfico realizado a una culata Hino 205.....	120
6.1	Registro del ensayo metalográfico realizado a una culata Hino 205.....	120
7.1	Motor Hino 205.....	120
8.1	Muestras para ensayos de tracción.....	120
9.1	Extracción de muestras para el ensayo de tracción .....	120
10.1	Ensamblaje de un motor Hino 205 .....	120

## **RESUMEN**

El presente trabajo de grado se basa en el análisis del sobrecalentamiento y deformación de la culata de cilindros en motores diésel de un HINO 205, fundamentado en ensayos de acuerdo con las normas (ASTM) con las que rigen actualmente dichas pruebas. Este proyecto tiene como objetivo final conocer las posibles causas y averías que presentan mencionados motores. El proceso de la investigación planteada contiene cinco capítulos, donde: en el primer capítulo, se realiza una investigación general acerca del comportamiento térmico que presentan dichos motores en condiciones de funcionamiento normales, además se resaltan los métodos y técnicas empleadas en el desarrollo del presente proyecto con el fin de obtener los resultados deseados. En el segundo capítulo, se establece una reseña histórica de la creación y la evolución de los motores de ciclo diésel así como también de su funcionamiento y sus partes con las que se encuentran constituidos. Se hace una investigación de los materiales empleados en la fabricación de las piezas de un motor diésel y los distintos ensayos a los que están sometidos dichos materiales. De igual forma en el tercer capítulo se hace una descripción del despiece y montaje del motor Hino 205, sus desgastes más comunes presentes en las partes móviles del mismo y la realización de ensayos a muestras extraídas de la culata de cilindros de dicho motor, tales como: Ensayo de composición química, ensayo de dureza, ensayo de tracción y ensayo metalográfico, los mismos que fueron ejecutados en los laboratorios de la entidad ILPM Engineering Cía. Ltda, con la finalidad de conocer las propiedades mecánicas con las que cuenta este material. En el cuarto capítulo se realizó el análisis comparativo de resultados de los distintos ensayos propuestos anteriormente y por último, en el quinto capítulo se encuentran las conclusiones y recomendaciones que se planteó una vez que se culminó el presente trabajo de grado.

## **ABSTRACT**

The present degree work is about the overheated and deformation of the cylinder head in diesel engines; model Hino 205. It is based in assays according with the standards (ASTM) the ones that actually control those tests. This project has the final purpose to know the possible causes and breakdown that the mentioned engines present. The process of the investigation established contains five chapters, where: in the first chapter, there is a general investigation about the thermal behavior that those engines present, while they operated in a normal way; also the methods and techniques expended highlighted in the development of the present project with the purpose to obtain the desired results. In the second chapter, is established a historic profile of the creation and evolution of the cycle Diesel engines, also about their functions and their pieces which one have been set up. There is an investigation of the materials expended in the manufacture of pieces for the Diesel engine and the different assays that those materials have been subjected. In the same way in third chapter is a description about the disassemble and assemble of the engine model Hino 205, the most common wear away present in the mobile parts of it and the fulfillment of the assay to the samples remove of the cylinder head of that engine, such as: chemistry composition assay, hardness assay, traction assay and metallographic assay; the same ones that were implemented in the Engineering Cia Laboratories with the purpose to know the mechanic properties that this material contains. In the fourth chapter, is a comparison analysis of the results of the different assays that were mentioned before and finally, in the fifth chapter there are the conclusions and recommendations that were set out after the degree dissertation was done.

# CAPÍTULO I

## 1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Antecedentes

El motor diésel fue creado por el alemán Rudolph Diésel en el año de 1892, el cual diseñó una máquina térmica basada en el funcionamiento del ciclo Otto, la cual tenía una modificación en el sistema de encendido, ya que a diferencia de los motores a gasolina que necesitan una carga eléctrica para que se produzca la combustión, en dichos motores el ciclo de combustión es efectuado por medio de la presión del combustible inyectado en el interior del cilindro (Jaime, 2016)

En los procesos de funcionamiento del motor diésel se puede argumentar que son semejantes a los de un motor ciclo Otto, debido a que contienen los mismos ciclos (admisión, compresión, expansión y escape), ciclos en los cuales se produce el denominado trabajo para el funcionamiento de dichos motores (Jaime, 2016).

Aproximadamente una década del descubrimiento y creación de esta máquina térmica la compañía Hino es una de las principales marcas mundiales fabricantes de camiones, autobuses y motores diésel, desde su primera aparición en el mercado en el año de 1918, la compañía ha seguido implantando productos los mismos que han sido de gran importancia en el desarrollo industrial. Actualmente la marca Hino se ha enfocado en avances tecnológicos para realizar creaciones que satisfagan las necesidades de la sociedad actual (Hino Motors, 2017).

En el año de 1966 Hino Motors Ltd, realizó un convenio para la obtención y distribución de maquinaria y vehículos S.A. de Ecuador. Años más tarde en 1983, Hino lanzó una serie de vehículos denominados F, los cuales constaban de motores a diésel, EH700 y EK 100. Posteriormente dichos motores obtuvieron modificaciones en el sistema de alimentación, incorporando un turbo cargador, mejorando así su rendimiento y un gran ahorro de combustible, dando lugar a la aparición de la serie FD, los mismos que se encontraban incorporados con motores H06 “205” (Grupo Mavesa, 2017).

## **1.2 Planteamiento del problema**

El sobrecalentamiento es un fenómeno peculiar de los motores diésel de la marca HINO 205, que se da por: mala refrigeración o conducción incorrecta. La culata de cilindros está sometida a altas presiones y por lo tanto a grandes temperaturas, ocasionando de esta manera averías tales como consumo del líquido refrigerante, deformaciones en la culata de cilindros y block de cilindros y en casos más extremos el gripado de las partes móviles y fijas del motor, ya que las partes de motor están fabricadas de distintos materiales y por lo tanto tienen un índice de dilatación diferente.

Al sobrepasar los límites óptimos de funcionamiento las piezas internas del motor comienzan a sufrir dilataciones y deformaciones, provocando que las piezas alcancen su punto de fusión. Las deformaciones en la culata de cilindros se alcanzan a partir de los 1388°C hasta los 1666°C (Mantilla, 2012).

## **1.3 Formulación del problema**

¿Cómo analizar el sobrecalentamiento y deformación de la culata de cilindros y junta de culata de un motor Hino 205?

## **1.4 Delimitación**

### **1.4.1 Temporal**

El presente trabajo de grado se llevó a cabo desde el mes de marzo del 2016 hasta el mes de noviembre del 2017.

### **1.4.2 Espacial**

El progreso del presente trabajo de grado se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Técnica del Norte, de la ciudad de Ibarra, Provincia de Imbabura, perteneciente a la zona 1 del Ecuador.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Analizar el sobrecalentamiento y deformación de la culata de cilindros y junta de culata de un motor Hino 205.

## **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Investigar los materiales de construcción y las presiones que soporta la culata.
- Identificar las deformaciones de la culata de cilindros debido al sobrecalentamiento.
- Medir la resistencia térmica y la dureza de la culata de cilindros del Hino 205.
- Plantear soluciones para la deformación de la culata de cilindros del Hino 205

## **1.6 Justificación**

En este proyecto se pretende estudiar la causa del porque los vehículos HINO 205 tienden a sobrecalentar por el mal diseño del sistema de refrigeración, en este caso se realizará el análisis interno de la culata de cilindros y su deformación, logrando reducir el problema que afecta a este tipo de motores.

El proyecto permitirá la obtención de datos referentes al recalentamiento de los motores diésel HINO 205, ya que es una avería muy común y frecuente en este tipo de vehículos ocasionando fallas muy notorias al momento de su funcionamiento y estas pueden ser perjudiciales para la máquina térmica, tales como pérdida del líquido refrigerante, consumo de líquido, pérdida de potencia, aumento de temperatura instantáneamente, rotura del radiador y en casos rotura de las mangueras de acople entre el motor y el sistema de refrigeración.

Con este análisis se pretende demostrar donde puede estar la falla del sobrecalentamiento y de esta manera contribuir con el desarrollo sostenible de la sociedad, a la vez permitiendo optimizar la vida útil del motor.

## **1.7 Metodología de la investigación**

### **1.7.1 Tipo de investigación**

La presente investigación debido a sus características fue bibliográfica, tecnológica y experimental.

### **1.7.1.1 Investigación Bibliográfica**

La investigación bibliográfica se basó principalmente en libros, documentos de sitio web, revistas, información referente al tema, artículos de investigación. Los temas con mayor relevancia fueron:

- Motores térmicos ciclo diésel.
- Elementos constructivos del motor térmico ciclo diésel.
- Materiales empleados en la fabricación de piezas mecánicas.
- Clasificación de un hierro fundido.
- Ensayos de propiedades mecánicas de los materiales.
- Dureza.
  - ✓ Método Brinell.
  - ✓ Método Rockwell.
  - ✓ Método Vickers.

### **1.7.1.2 Investigación Tecnológica**

Para el progreso del tema de grado fue necesario la utilización de páginas web, artículos científicos, entre otros, los mismos que fueron:

- ResearchGate
- Biblioteca Virtual (IEEE)
- Science Direct

### **1.7.1.3 Investigación Experimental**

Para este tipo de investigación se realizó diferentes ensayos para determinar las propiedades del material y analizarlas con la normativa (ASTM).

### **1.7.2 Método**

Para la realización del trabajo de grado, se afirma que se utilizó los siguientes métodos prácticos:

- Desmontaje del motor
- Ensayo de materiales
- Montaje del motor
- Análisis y comparación de datos

### **1.7.3 Técnicas e instrumentos**

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó las siguientes técnicas:

- Desmontaje del motor Hino 205
- Ensayos de materiales
- Reparación del motor Hino 205
- Fotografías
- Videos

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Introducción

El ser humano para poder satisfacer sus necesidades y facilitar el trabajo creó una máquina térmica capaz de transformar la energía en trabajo útil. Un motor térmico es capaz de adquirir energía mecánica a partir de la energía térmica acumulada en un fluido. Por lo cual, todo motor que utilice como fuente de alimentación el combustible se denominará como un motor de combustión interna (Zurita, 2007).



**Figura 2.1.** Motor diésel de la marca Hino 205

En 1892 el alemán Rudolf Diésel da una nueva versión a los motores, con la implementación de otro tipo de combustible denominado diésel y construyendo el primer motor con encendido por compresión (Zurita, 2007). Debido a la existencia de altas relaciones de compresión alcanzadas en el interior de la cámara de combustión comprendidas en un rango de entre 14:1 a 22:1 aproximadamente, las mismas hacen que la temperatura del aire sea lo suficientemente alta para cause la ignición del combustible inyectado en la cámara de combustión (Rovira, 2016).

Las temperaturas y presiones alcanzadas en la cámara de combustión al momento de producirse el ciclo de expansión, se establecen valores óptimos de funcionamiento: Las temperaturas óptimas de funcionamiento que pueden alcanzar son de 700°C a 1250°C, presiones de compresión que pueden oscilar

entre 250 Psi – 300 Psi y una presión de expansión de la mezcla de aire-combustible de 50 Kgf/cm<sup>2</sup> a 75 Kgf/cm<sup>2</sup> (Sanz, 2017). De esta manera se obtiene un buen rendimiento del motor, y a su vez se evita la deformación de sus componentes internos.

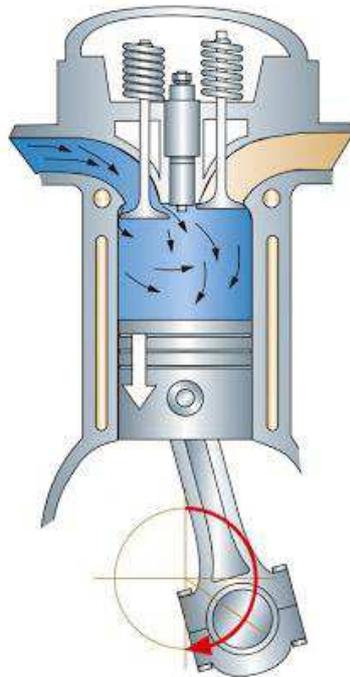
## **2.2 Ciclos de trabajo de los Motores Diésel**

### **2.2.1 Ciclo Teórico del motor Diésel**

El ciclo teórico del motor Diésel de combustión interna se produce en cuatro carreras del pistón, es decir, correspondientes a dos vueltas completas del cigüeñal.

#### **2.2.1.1 Ciclo de admisión**

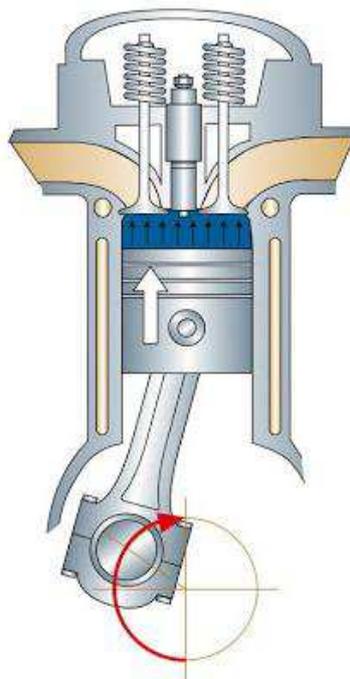
El funcionamiento se basa en la aspiración del aire hacia el cilindro por medio de la acción que realiza el pistón y la válvula de admisión; el pistón se mueve del PMS al PMI, debido a que se encuentra acoplado al cigüeñal por medio de la biela, la válvula de admisión permanece abierta por la sincronización del conjunto de encendido permitiendo así el ingreso del aire hacia la cámara de combustión (Sanz, 2017).



**Figura 2.2.** Descripción del ciclo de admisión de un motor diésel  
**Fuente:** (Sanz, 2017)

### 2.2.1.2 Ciclo de Compresión

En esta fase se comprime el aire existente en el cilindro; el pistón se desplaza del PMI al PMS disminuyendo el volumen de la cámara de combustión; la válvula de admisión y de escape permanecen cerradas permitiendo que el aire se comprima. Con esta elevada compresión se obtiene una alta temperatura capaz de inflamar el combustible ( $600^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$ ). La energía necesaria para la compresión es aportada por el volante de inercia (Sanz, 2017).

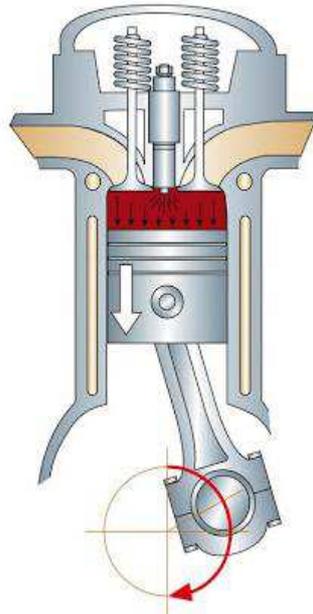


**Figura 2.3.** Descripción del ciclo de compresión de un motor diésel  
**Fuente:** (Sanz, 2017)

### 2.2.1.3 Ciclo de Combustión y expansión

En este tiempo la válvula de admisión y escape permanecen totalmente cerradas y el pistón se encuentra en el PMS; en este momento el inyector suministra el combustible prolongándose la mezcla mientras dura la inyección. El incremento de volumen en el cilindro va emparejado al aumento de temperatura, esto hace que el valor de la presión no varíe mientras se realiza la combustión.

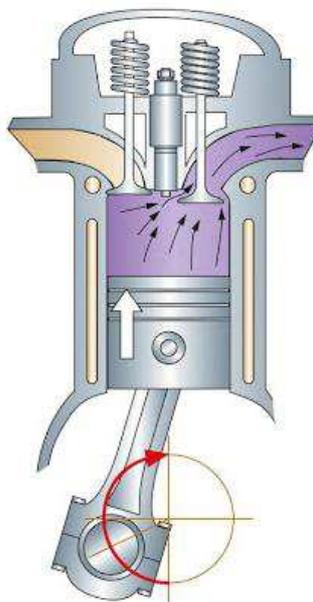
Una vez terminada la inyección, el pistón continúa descendiendo hasta el PMI produciéndose la expansión de los gases. Esta es la carrera motriz, la única que aporta trabajo al ciclo (Sanz, 2017).



**Figura 2.4.** Descripción del ciclo de combustión y expansión de un motor diésel  
**Fuente:** (Sanz, 2017)

#### 2.2.1.4 Ciclo de Escape

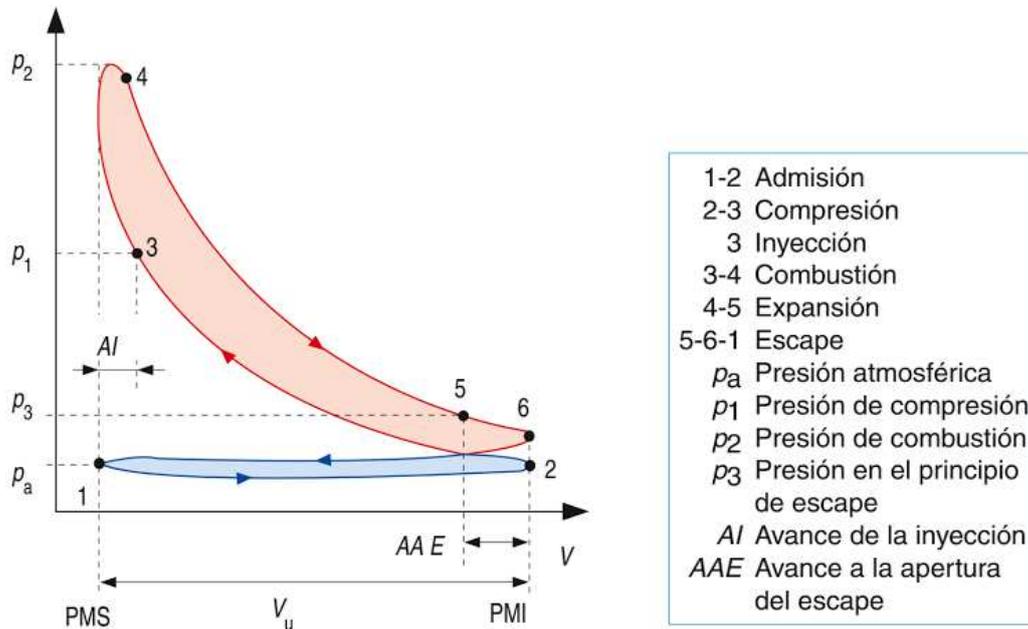
En este ciclo el pistón vuelve a subir del PMI al PMS, evacuando los gases ya quemados en el cilindro; la válvula de admisión permanece cerrada y la válvula de escape se abre permitiendo la salida del CO<sub>2</sub> del cilindro. Cuando el pistón llega al PMS, la válvula de escape se cierra; el pistón desciende en admisión y el ciclo se repite (Sanz, 2017).



**Figura 2.5.** Descripción del ciclo de escape de un motor diésel  
**Fuente:** (Sanz, 2017)

## 2.2.2 Ciclo Real del motor Diésel

El ciclo práctico del motor Diésel describe el proceso real de funcionamiento del motor, las condiciones en las que se desarrolla este ciclo presentan importantes diferencias con el teórico y se representan en el diagrama del ciclo real (Sanz, 2017).



**Figura 2.6.** Descripción del ciclo real de un motor diésel y su funcionamiento  
Fuente: (Sanz, 2017)

### 2.2.2.1 Admisión (1 – 2)

En este ciclo el pistón baja con la válvula de admisión abierta debido al avance de la apertura de admisión, aumentando la cantidad de aire en la cámara. El pistón desciende hasta el PMI manteniendo una presión por debajo de la atmosférica en el interior del cilindro, debido a las pérdidas de carga. Cuando comienza a subir, la válvula de admisión aún permanece abierta un instante con el fin de aprovechar la velocidad de entrada que ha adquirido el aire. Superando el PMI la válvula se cierra y comienza la compresión (Sanz, 2017).

### 2.2.2.2 Compresión (2 - 3)

En este ciclo el pistón asciende comprimiendo el aire que se encuentra dentro del cilindro hasta la presión ( $p_1$ ), mientras que las válvulas permanecen cerradas. Dada la velocidad del proceso la compresión no es adiabática, existe intercambio de calor a través de las paredes del cilindro (Sanz, 2017).

### **2.2.2.3 Inyección y Combustión (3 – 4)**

En este ciclo la inyección se produce en el punto 3, cuando el pistón sube en compresión. El incremento de presión es instantáneo, se necesita tiempo para que se inicie la combustión y se libere el calor. Este tiempo se compensa adelantando el momento de la inyección.

En una primera fase se produce una subida muy rápida de la presión, pero no se realiza a volumen constante ya que el pistón efectúa un pequeño recorrido desde el punto 3 hasta el PMS.

En una segunda fase el pistón comienza a descender, la combustión continúa hasta el punto 4, en este recorrido la presión no se mantiene constante (Sanz, 2017).

### **2.2.2.4 Expansión (4 - 5)**

En este ciclo el pistón desciende en la carrera de trabajo, esta carrera no es adiabática, ya que parte del calor es evacuado al sistema de refrigeración a través de las paredes del cilindro. La carrera de expansión termina en el punto 5, cuando se abre la válvula de escape, antes de que el pistón llegue al PMI (Sanz, 2017).

### **2.2.2.5 Principio de Escape (5 - 6)**

En el punto 5 el interior del cilindro se encuentra a la presión ( $p_3$ ), para evacuar esta presión residual se hace necesario un avance en la apertura del escape. Durante este tiempo el pistón hace el recorrido (5-6). La caída de la presión y, por tanto, la sustracción de calor no se realiza a volumen constante (Sanz, 2017).

### **2.2.2.6 Expulsión de los gases (6 - 1)**

La presión ya ha descendido en el interior del cilindro y el pistón comienza a subir desde el PMI; los gases quemados son expulsados al exterior mientras se mantiene una presión ligeramente superior a la atmosférica.

La válvula de escape se cierra después de que el pistón haya pasado el PMS, con el fin de aprovechar la velocidad de salida de los gases y mejorar su evacuación (Sanz, 2017).

## 2.3 Elementos constructivos del motor térmico ciclo Diésel

Las piezas móviles son las encargadas de transformar la energía térmica, la misma que se desarrolla en el interior del cilindro, en energía mecánica o de trabajo, por medio de un sistema biela – manivela, el cual transforma el movimiento alternativo del émbolo en movimiento rotativo del cigüeñal (Dominguez, 2016).

**Tabla 2.1.** Elementos móviles y fijos del motor de combustión interna

<b>Pistón</b>	Elemento con movimiento rectilíneo alternativo. Es el émbolo del mecanismo biela-manivela y aumenta o disminuye el volumen del cilindro
<b>Biela</b>	Elemento que, junto con la manivela, convierte el movimiento lineal del pistón en el rotativo del cigüeñal
<b>Cigüeñal</b>	Elemento rotativo del motor. En él se integra la manivela del mecanismo
<b>Cilindro o camisa</b>	Es el volumen que aloja el fluido de trabajo
<b>Culata</b>	Elemento que constituye el cerramiento superior de los cilindros
<b>Bloque de cilindros</b>	Elemento que contiene los cilindros
<b>Cárter</b>	Cierre inferior del motor. Contiene el aceite para la lubricación

**Fuente:** (Pillco Duchi, 2012)

### 2.3.1 Pistón

Es aquel que se encuentra en el interior del cilindro, el cual se desliza del PMS al PMI; se encarga de absorber y comprimir el aire existente en la cámara de combustión; por lo general consta de tres a cuatro ranuras dependiendo el tipo de motor, aquí se alojan los segmentos como son: De fuego, compresión y de aceite (Escudero, 2011).



**Figura 2.7.** Pistón de un motor diésel con sus respectivas partes

Se encuentra acoplado al pie de la biela para que pueda transmitir el movimiento generado por el cigüeñal y se une al pistón por medio del bulón. Actualmente se utilizan aleaciones en su construcción como son: Aluminio-cobre, aluminio-cobre-níquel o hierro, y aluminio-silicio (González, 2015).

### 2.3.2 Segmentos

Son aquellos que se alojan en las ranuras del pistón y a la vez encargados de no permitir que los gases comprimidos puedan pasar a la parte inferior del motor, esto ocurre gracias a que existe un cierre hermético. Por otro lado, permiten controlar la película de aceite que se genera en las paredes del cilindro, permitiendo así que no ingrese el aceite a la cámara de combustión.



**Figura 2.8.** Segmentos del pistón

### 2.3.3 Bulón

Sirve para acoplar el pistón con la biela, el cual se encuentra ubicado en el centro del pistón. En algunos casos se encuentra fijos a la biela y en otros son totalmente deslizantes, son fabricados de acero (Ferrer, 2004).



**Figura 2.9.** Bulón del pistón

### 2.3.4 Biela

Es aquella que se conecta directamente con los pistones y el cigüeñal, para transmitir el movimiento de giro desde el cigüeñal hacia los pistones. La biela se encuentra sometida a grandes cargas como son: torsión, compresión y tracción, se fabrica mediante forja de acero al carbono o acero cromado (Ferrer, 2004).

La cabeza de la biela por lo general suele dividirse en dos mitades, una de ellas

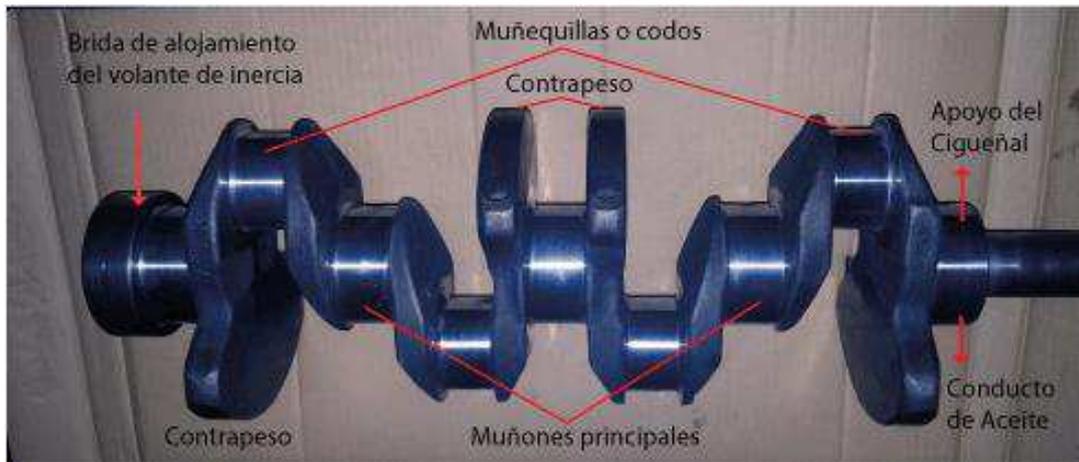


**Figura 2.10.** Biela de un motor ciclo diésel

solidaria al cuerpo y la otra llamada sombrerete, las mismas que se encuentra unida al codo del cigüeñal de forma directa. El cuerpo de la biela es la parte central de la biela, el cual está sometido a esfuerzos de tracción y compresión en su eje longitudinal. El pie de biela se encarga de unir la biela con el pistón por medio de un eje (bulón).

### 2.3.5 Cigüeñal

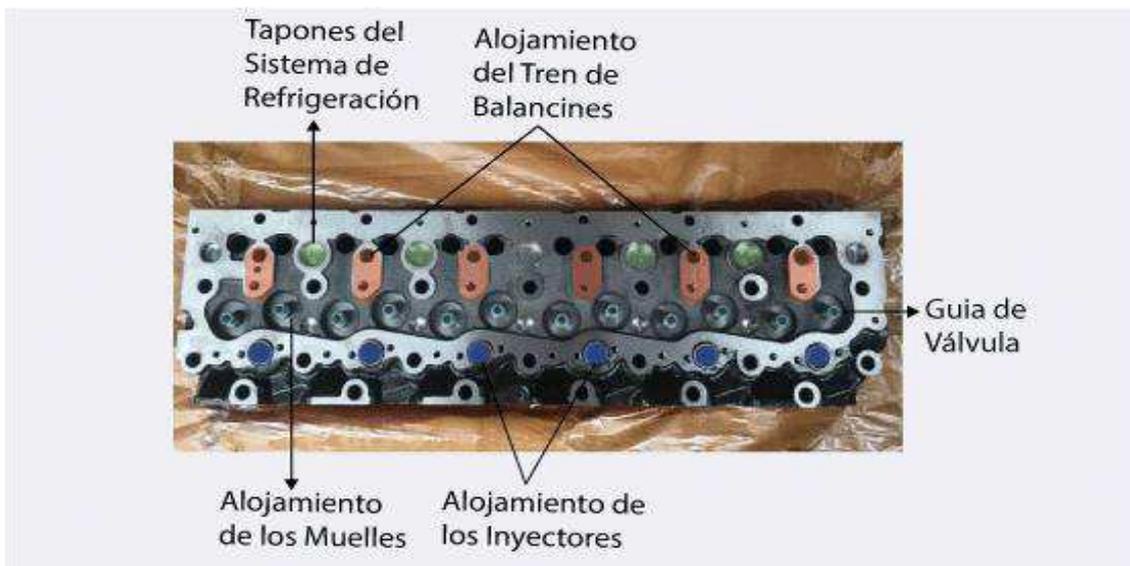
Es el componente que actúa como eje principal del motor, el cual está sometido a cargas pesadas y altas velocidades de rotación. Además, su fuerza, rigidez y resistencia al desgaste deben ser muy altas, así como deben estar balanceados dinámicamente y estáticamente para que no existan vibraciones. Los cigüeñales son contruidos mediante forja de acero al carbono o de aleaciones especiales de acero (Ferrer, 2004).



**Figura 2.11.** Cigüeñal de un motor de combustión interna ciclo diésel

### 2.3.6 Culata de cilindros

Es el elemento que permite cubrir los cilindros por la parte superior del bloque motor, la cual está sometida constantemente a altas temperaturas y presiones. Además, sirve de soporte para los sistemas de admisión y escape, así como se encuentran alojadas las válvulas de admisión y escape, con sus respectivos muelles y tren de balancines, los cuales permiten el accionamiento sincronizado con el árbol de levas.



**Figura 2.12.** Culata de un motor de combustión interna ciclo diésel

Consta de orificios iguales a los del bloque de cilindros para la sujeción de ambos elementos, como también orificios para la lubricación y refrigeración de dichos componentes. Por lo general la culata está construida de hierro fundido, pero algunas de sus piezas están fabricadas con aleaciones de aluminio o de aluminio con aleaciones de cromo (Konrad, 2014).

### 2.3.7 Junta de culata

Es la encargada de realizar un sello hermético entre la culata y bloque de cilindro tanto para la cámara de combustión como para los conductos de lubricación y refrigeración del motor. Se encuentra sometida a grandes temperaturas y altas presiones por lo cual su diseño y construcción son de materiales muy resistentes como pueden ser de: Asbesto con anillos de acero y su empaquetadura puede ser de metal, compuestos y aislantes (Konrad, 2014).



**Figura 2.13.** Junta de culata de un motor marca Hino

### 2.3.8 Bloque motor

Se considera la parte más robusta del motor, es aquí donde se alojan los cilindros y sus respectivos orificios de refrigeración y lubricación, además a él se acoplan los componentes móviles que conforman un motor. Su material de construcción por lo general es de hierro fundido con aleaciones de aluminio (Konrad, 2014).



**Figura 2.14.** Bloque motor de un Hino 205

Su diseño puede variar de acuerdo con la disposición de sus cilindros los más usados en medios de transporte actuales son: En línea y en V. En la cara superior del bloque se aloja la culata o cabezote que por medio de la junta de culata realiza un sello hermético, permitiendo de esta manera tener una buena compresión de los gases en la cámara de combustión (Konrad, 2014).

### **2.3.9 Cárter**

En este se almacena todo el aceite lubricante existente en el motor, es el encargado de sellar la parte inferior del bloque motor, dando lugar al trabajo de la bomba de aceite para engrasar todos los componentes móviles internos del motor. Está elaborado en la gran mayoría de latón o aluminio (Konrad, 2014).



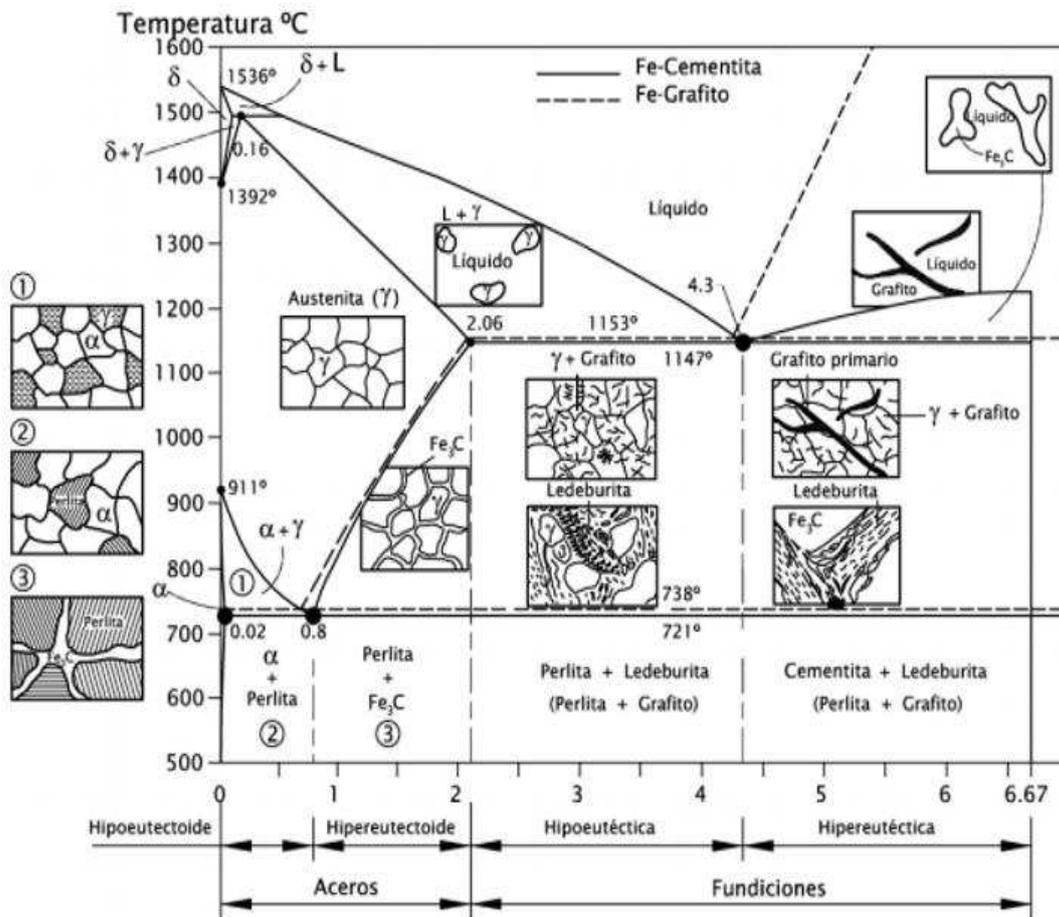
**Figura 2.15.** Cárter de un motor Hino 205

## **2.4 Materiales empleados en la construcción de piezas de un motor**

### **2.4.1 Hierro fundido**

Este material es uno de los metales más útiles debido a su gran abundancia en el planeta, el cual posee propiedades químicas y físicas muy apreciadas y con una amplia variedad. Las fundiciones de hierro son aleaciones de hierro y carbono, además contiene silicio del 2% al 4%, manganeso hasta 1%, bajo azufre y bajo fósforo (Budynas, 2012).

Un hierro fundido se encuentra en la familia de las aleaciones ferrosas, que contienen más del 2% y 6.67% de carbono (Budynas, 2012). En este se incluye al hierro gris, maleable, dúctil, blanco, con aleación y con grafito.



**Figura 2.16.** Diagrama de Hierro – Carbono  
Fuente: (Gil, 2002)

### 2.4.2 Clasificación del hierro fundido

El modo más eficaz de clasificar a un hierro fundido es considerando su estructura metalográfica, es decir, la microestructura de la fase matriz, las mismas que pueden ser, perlita, ferrita, bainita, austenita o martensita. Además, se debe tomar en cuenta algunas variables a considerar en las fundiciones del hierro, las cuales son: La cantidad de carbono, la cantidad de materiales aleantes e impurezas, el método de enfriamiento, durante y después del proceso, el tratamiento térmico.

### 2.4.3 Tipos de hierro fundido

Los hierros fundidos, como los aceros, son básicamente aleaciones de hierro y carbono, como lo muestra la figura 2.16 hierro vs carbón. Los hierros fundidos contienen más carbono que el necesario para saturar la austenita a la

temperatura eutéctica, por tanto, contienen entre 2 % y 6.7 % de carbono (Díaz, 2007).

Se puede distinguir cinco tipos de hierro fundido por la distribución del carbono en sus microestructuras como son: Hierro fundido gris, hierro fundido blanco, hierro fundido dúctil o nodular, hierro fundido maleable, hierros fundidos aleados.

#### **2.4.3.1 Hierro fundido gris**

El hierro fundido gris es uno de los materiales más utilizados, debido a su bajo costo, su facilidad de fundir en grandes cantidades y fácil maleabilidad. Una de las desventajas del hierro fundido gris es su fragilidad y debilidad a la tensión. Así como su alto contenido de carbón más del 1.7% o mayor del 2% (Budynas, 2012).

Este material además presenta un alto contenido de silicio, bajos porcentajes de azufre, manganeso y fósforo. El resultado de todas estas aleaciones se compone

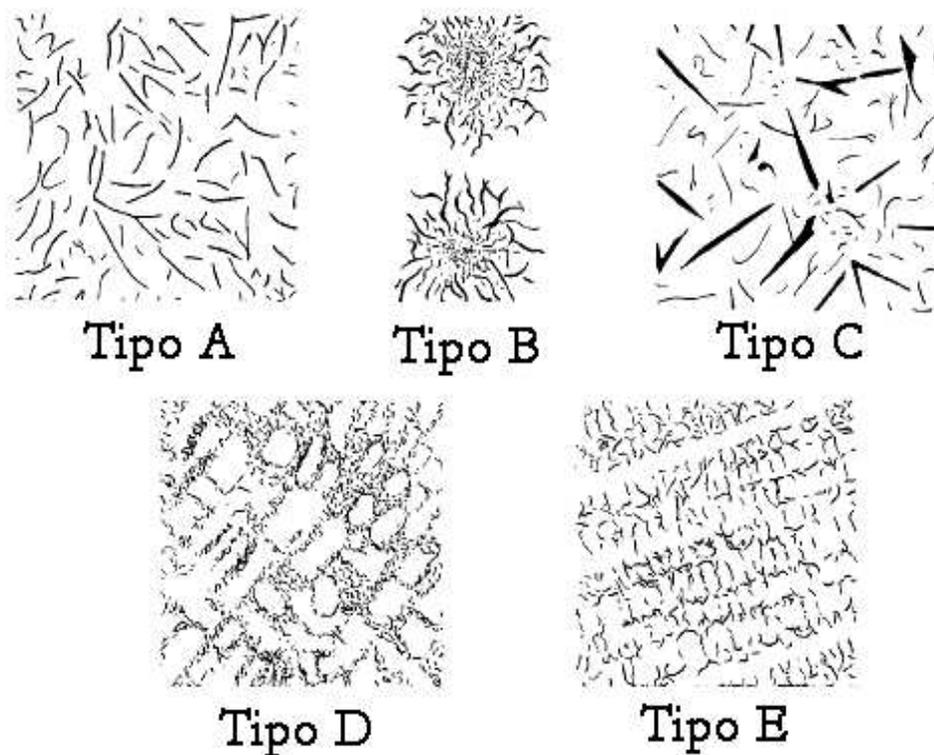


**Figura 2.17.** Micro estructura de la fundición gris  
**Fuente:** (Quilodrán, 2003)

de perlita, ferrita y grafito. La perlita puede descomponerse en grafito y ferrita, dando como resultado sólo ferrita y grafito (Budynas, 2012).

El grafito se distribuye en la forma de hojuelas delgadas de manera uniforme en toda la estructura, el cual lo oscurece; de aquí es que se denomina de hierro fundido gris.

Principalmente el grafito en las fundiciones grises se muestra en forma de láminas, dando un grafito tipo A. Por otra parte se debe tomar en cuenta la forma del grafito, tamaño y proporción, ya que es de gran importancia, dichos factores, los cuales influyen directamente en la resistencia mecánica de las fundiciones; así se tiene la resistencia a la tensión del hierro fundido gris varía de 100 MPa a 400 MPa (15 a 60 Ksi) y las resistencias a la compresión que son de tres a cuatro veces las resistencias a la tensión (Budynas, 2012).



**Figura 2.18.** Tipos de hojuelas de un hierro fundido gris.  
Fuente: (Gil, 2002)

Una característica de este tipo de fundición son las hojuelas, las mismas que adoptan distintos patrones irregulares o tipos. El tamaño y tipo de hojuela se establece de forma tradicional por comparación de acuerdo con la norma ASTM

A-247. Este procedimiento se realiza con ayuda de un microscopio óptico a 100X, hacia probetas pulidas a espejo.

En este caso se muestran 5 tipos de hojuelas, a las que se denomina de tipo A, B, C, D y E. Una de las normas ASTM A- 247, se refieren a ocho tamaños de hojuelas, las mismas que se asignan números del 1 al 8 de acuerdo con la tabla (Paredes Robalino, 2011).

**Tabla 2.2.** Tamaños de hojuelas de un hierro fundido

<b>Tamaño</b>	<b>Longitud de las hojuelas más largas en pul. A 100X (zoom)</b>
1	4 o mas
2	2 a 4
3	1 a 2
4	1/2 - 1
5	1/4 - 1/2
6	1/8 - 1/4
7	1/16 - 1/8
8	1/16 o menos

**Fuente:** (Paredes Robalino, 2011)

Por lo general en su mayoría se utilizan una estructura de hojuelas del tipo A de un pequeño tamaño, debido a que los tamaños grandes disminuyen la resistencia y ductibilidad del material. El hierro gris presenta una característica de fácil maquinado, por su contenido de carbono, pero a la vez tiene una gran resistencia a la soldadura (Budynas, 2012).

Este material es empleado extensamente para la fabricación de guarniciones y marcos de protección de máquinas peligrosas, como también se utilizan para la fabricación de cajas para engranes, carcasas para bombas, turbinas, monobloques para motor y otras piezas automotrices (Budynas, 2012).

En este tipo de fundición por lo general se encuentra formada por una matriz ferrítica, en la cual todo el contenido de carbono existente en la aleación se

encuentra en forma de grafito dicha fundición se caracteriza por contar con una alta resistencia y dureza a la tensión con respecto a otras fundiciones grises (Budynas, 2012).



**Figura 2.19.** Micro estructura de una matriz ferrítica de un hierro fundido gris  
Fuente: (Gil, 2002)

En una matriz perlítica su estructura está constituida por perlita y grafito. La perlita con un porcentaje de 0.8% de carbono (Budynas, 2012), por lo tanto, esta



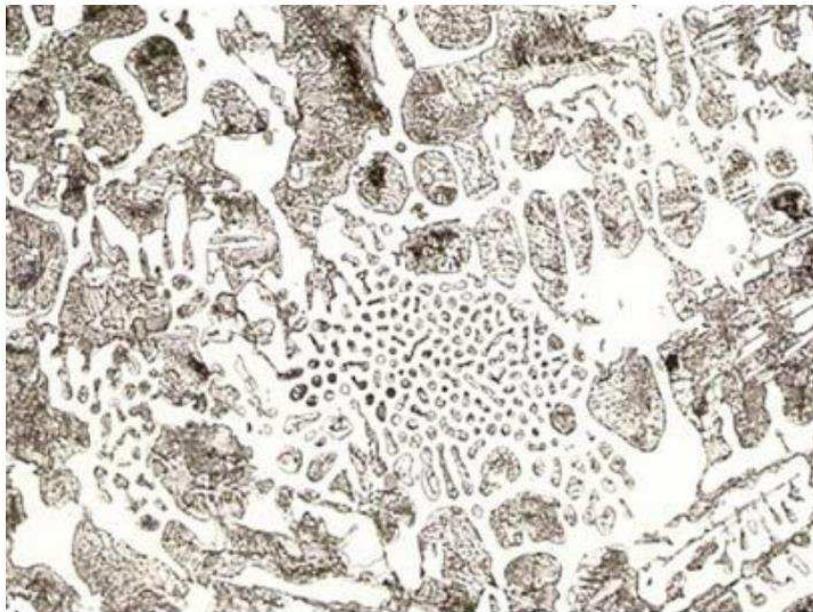
**Figura 2.20.** Micro estructura de una matriz perlítica de un hierro fundido gris  
Fuente: (Gil, 2002)

cantidad de carbono se obtiene en una fundición perlítica gris en forma fusionada y su restante se encuentra en forma de grafito.

Al tener esta matriz el material alcanza características mecánicas elevadas como son: un buen acabado superficial de las piezas, una alta capacidad de endurecimiento y una buena estanqueidad en la aplicación de trabajos de presión como componentes hidráulicos.

#### **2.4.3.2 Hierro fundido blanco**

En este tipo de fundición el carbono se encuentra en forma de cementita y perlita, con ausencia de grafito en el material, de esta manera la estructura resultante es blanca y se da el nombre de hierro fundido blanco. El proceso de enfriamiento del hierro fundido se realiza de forma rápida en su estado líquido (Budynas, 2012).



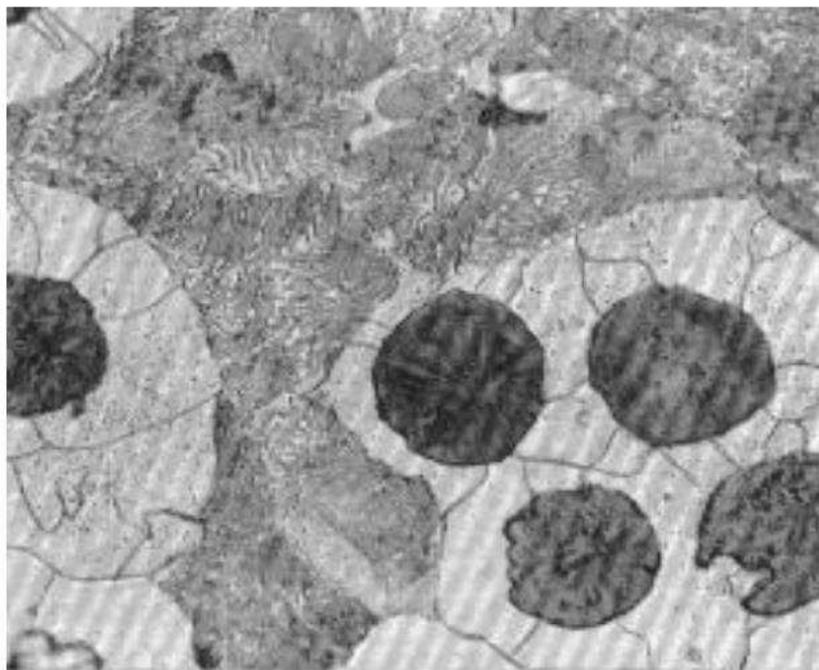
**Figura 2.21.** Micro estructura de una fundición blanca  
**Fuente:** (Juvinal, 2013)

Presenta un bajo contenido de carbono y silicio, por lo cual en materia resulta ser muy frágil y a la vez difícil de maquinar, pero tiene una gran resistencia al desgaste. Este proceso se encuentra clasificada bajo la norma ASTM A-532 y además consta de una dureza HB de 375 a 600, presentando una resistencia a la tensión que varía de 130 MPa y 500 MPa, y una resistencia a la compresión de 1.4 GPa y 1.7 GPa determinadamente (Juvinal, 2013). Este tipo de fundición

blanca se emplea en la construcción de elementos de molienda debido a su gran resistencia al desgaste y su rápida evacuación de temperatura (Budynas, 2012).

### 2.4.3.3 Fundición de hierro dúctil o nodular

Esta fundición es similar al hierro fundido maleable, ya que ambos contienen parte de grafito en forma de pequeñas esferas o esferoides. Esta fundición requiere de un enfriamiento lento, dando como resultado una mejor ductibilidad; a este tipo de hierro dúctil se hace agregándole Mg, Fe, y Si a la fusión (Budynas, 2012).



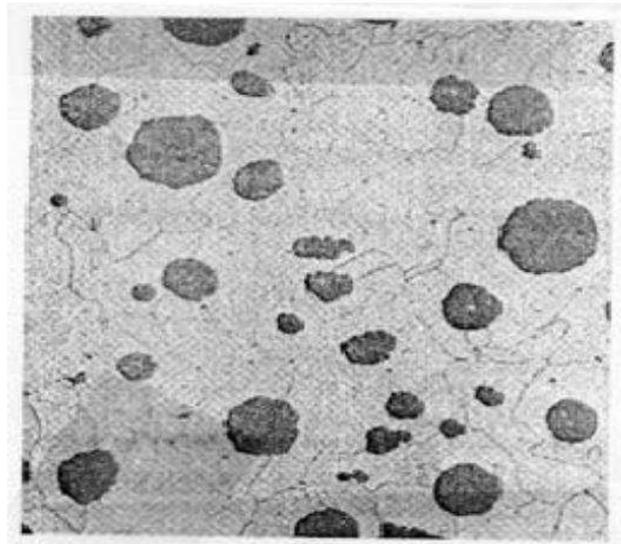
**Figura 2.22.** Micro estructura de una fundición dúctil  
Fuente: (Juvinal, 2013)

Consta de un índice alto de elasticidad de 172 GPa en comparación con el hierro fundido gris, este presenta características semejantes a la fundición gris, en la que tiene una alta resistencia a la compresión, la cual es mayor a la resistencia a la tensión (Budynas, 2012).

Una ventaja de estas fundiciones de los hierros perlíticos nodulares es que son más fuertes, pero a la vez menos dúctiles que las fundiciones de hierros ferríticos. Algunas principales aplicaciones con este tipo de función son: cigüeñales, pistones, y culatas de cilindros para vehículos diésel; en acerías, rodillos de trabajo, puertas para hornos rodetes de meza, cojinetes, llaves para

tuercas entre otros. Para este tipo de fundición se debe tomar en cuenta sus características mecánicas, de acuerdo con la norma ASTM A-536.

La matriz ferrítica se obtiene logrando controlar la composición química del material como también de la velocidad al momento de su refrigeración o enfriamiento, siendo esta lo más lenta posible con el fin de permitir la difusión y su total grafitización. Las propiedades de dicha estructura permiten obtener una máxima ductibilidad, maquinabilidad, elongación y una buena tenacidad (Budynas, 2012).



**Figura 2.23.** Micro estructura de una matriz ferrítica de un hierro fundido dúctil  
Fuente: (Gil, 2002)

La matriz perlítica se obtiene mediante un tratamiento térmico desde 870°C o principalmente por colado por adición de aleantes especiales (Juvinal, 2013).



**Figura 2.24.** Micro estructura de una fundición perlítica.  
Fuente: (Gil, 2002)

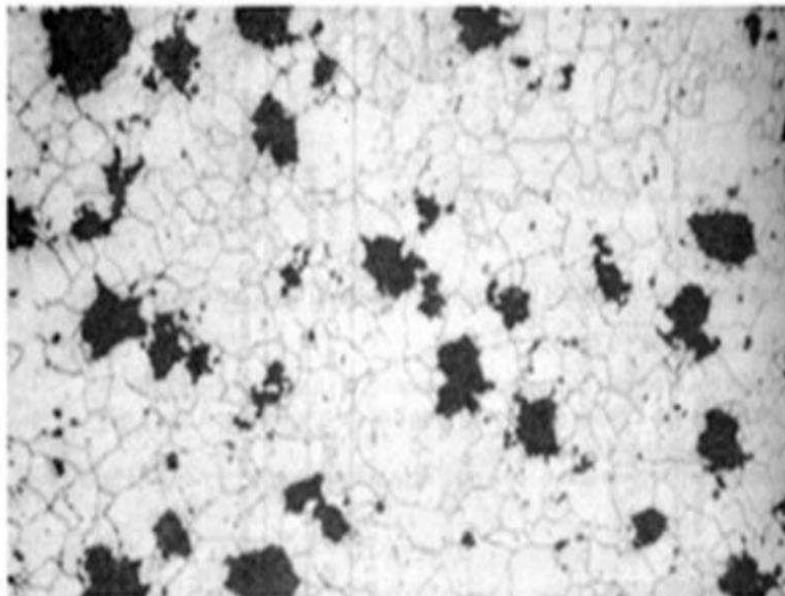
Dicha estructura proporciona una alta resistencia y tenacidad, pero convierte menos dúctil.

#### **2.4.3.4 Hierro fundido maleable**

Este tipo de fundición maleable es el resultado de tratamientos térmicos a los que se ha de someter a una fundición blanca, por lo que se puede decir que la materia prima para la obtención de dicha fundición es el hierro fundido blanco. Dando como resultado una microestructura de mejor consistencia proporcionando una buena maquinabilidad.

Una fundición maleable de buen grado muestra una gran resistencia a la tensión de más de 350 MPa o 50 Ksi, con una elongación de hasta 18% (Budynas, 2012).

Existen dos procesos importantes de maleabilización para este tipo de



**Figura 2.25.** Micro estructura de una fundición maleable.

**Fuente:** (Juvinal, 2013)

fundiciones: en el primer proceso se realiza la fase de recocido, la fundición blanca es sometida a una temperatura lenta que varía entre 840 y 980°C (Budynas, 2012). Mientras varía la temperatura el material perlítico sufre una transformación a austenita al momento de haber alcanzado la línea crítica inferior, de esta forma a medida que la temperatura siga elevándose, la austenita libera algo más de cementita en el proceso.

En el segundo proceso se realiza la fase de cambio de temperatura el cual consiste en un enfriamiento lento del material al atravesar el punto crítico donde existe la reacción eutécticoide.

De esta manera permite la descomposición de la austenita en las fases estables de grafito y ferrita, durante este proceso la estructura formada no tiende a sufrir cambios al momento de su enfriamiento a temperatura ambiente. Dando como resultado una constitución nodular de carbono de revenido, formando rosetas en la matriz ferrítica (Budynas, 2012).

Este tipo de materiales son similares a las fundiciones grises y nodulares, por lo que las fundiciones maleables tienden a cambiar sus matrices férricas o perlíticas. Estos hierros fundidos son un intermedio entre los hierros grises y nodulares, de esta manera los hierros maleables que poseen una matriz perlítica son más resistentes, pero menos dúctiles; constan de una gran resistencia al desgaste, al impacto térmico, una excelente maquinabilidad y con muy poca capacidad de soldadura.

Los hierros fundidos maleables de clase ferrítica son principalmente aplicados en equipos automotrices, agrícolas y ferroviarios, y para la forma perlítica en cajas para diferenciales, ejes, cigüeñales, entre otros (Budynas, 2012).

#### **2.4.3.5 Hierros fundidos aleados**

Las fundiciones aleadas son principalmente aquellas que comúnmente contienen Ni, Cr y Mo. El níquel es uno de los elementos más utilizados generalmente, este se agrega en proporciones de hasta 5%, mejorando la resistencia, densidad, desgasta y aumenta la maquinabilidad (Budynas, 2012). Si dicho elemento se aumenta en cantidades entre 10 y 18%, se obtiene una estructura austenítica por características de resistencia al calor y a la corrosión (Budynas, 2012). Mientras que con el cromo se obtiene más dureza y resistencia desgaste; si se agregan los elementos níquel y cromo a la vez se mejora la dureza y resistencia sin que afecte a la clasificación de la maquinabilidad. El molibdeno se puede agregar en cantidades de hasta 1.25% este proporciona más rigidez, dureza, resistencia a la tensión e impacto, por lo que lo hace un elemento muy utilizado (Budynas, 2012).

Estos elementos de aleación permiten modificar la microestructura de las fundiciones, dando como resultado una mejora en sus propiedades aumentando la dureza y resistencia, además se obtiene una variación en la templabilidad como se muestra en las tablas siguientes.

**Tabla 2.3.** Influencia de los materiales de aleación sobre la estructura del grafito y las características de su matriz

Elemento	Grafitización y coeficiente de grafitización	Efecto sobre los carburos a alta temperatura	Efecto en la estructura del grafito	Efecto en el carbono combinado de la perlita	Efecto que produce en la matriz
Carbono	Favorece	Decrece estabilidad	Engruesa	Decrece fuertemente	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Silicio	Favorece + 1	Decrece estabilidad	Engruesa	Decrece fuertemente	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Aluminio	Favorece + 0,5	Decrece estabilidad	Engruesa	Decrece fuertemente	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Titanio	Favorece + 0,4	Decrece estabilidad	Afina fuertemente	Decrece	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Níquel	Favorece + 0,35	Decrece ligeramente estabilidad	Afina ligeramente	Decrece y estabiliza la perlita	Afina la perlita y da dureza
Cobre	Favorece + 0,20	Indiferente	Indiferente	Decrece ligeramente	Da dureza
Manganeso	Favorece - 0,25	Estabiliza	Afina ligeramente	Aumenta	Afina la perlita y da dureza
Molibdeno	Favorece - 0,30	Indiferente	Afina fuertemente	Aumenta ligeramente	Afina la perlita y da resistencia
Cromo	Favorece - 1	Estabiliza fuertemente	Afina ligeramente	Aumenta	Afina la perlita y da dureza
Vanadio	Favorece - 2,5	Estabiliza fuertemente	Afina	Aumenta	Afina la perlita y da dureza

Fuente: (Paredes Robalino, 2011)

**Tabla 2.4.** Influencia de los materiales de aleación sobre los puntos críticos

que se produce						
Desplazamiento del punto eutéctico	Hacia la izquierda	Hacia la derecha	Hacia la izquierda	Hacia la izquierda		
Desplazamiento de la temperatura eutectoide	Hacia arriba	Hacia abajo	Hacia abajo	Hacia abajo	Hacia arriba	
Templabilidad		Aumenta		Aumenta		Aumenta
Desplazamiento del punto eutéctico	Hacia la izquierda					

Fuente: (Paredes Robalino, 2011)

Las modificaciones y alteraciones que sufren dichos materiales en su microestructura como en sus características se detallan a continuación:

El cromo en cantidades de 0.10% a 0.20% perfecciona la perlita y el grafito de su estado normal (Paredes Robalino, 2011).

El cromo en cantidades del 1% provoca la aparición de carburos con una gran dureza, y con una buena estabilidad en las altas temperaturas (Paredes Robalino, 2011).

El cromo en cantidades del 2% provoca la desaparición del grafito. Como también la fundición gris se transforma en una fundición blanca y la cantidad de carburos de cromo crece (Paredes Robalino, 2011).

El cromo en cantidades del 6% hacen que su matriz sea perlítica y los carburos presentes en su estructura son de gran importancia (Paredes Robalino, 2011).

El cromo en cantidades del 12% hacen que los carburos se perfeccionen y se establezcan en red austenita en su microestructura (Paredes Robalino, 2011).

El cromo en cantidades del 30% ya se puede decir que su matriz es ferrítica y en su interior existen pequeñas cantidades de ferrita y carburos de cromo (Paredes Robalino, 2011).

Este tipo de fundiciones no cuentan con puntos de transformación al someterles a temperatura, y la aparición de carburos de cromo fino introducidos en la matriz de su estructura.

Aquellas fundiciones con un alto porcentaje de cromo son resistentes a la corrosión como a la oxidación. Los hierros fundidos aleados se clasifican según el porcentaje de los materiales se pueden clasificar en dos grupos.

En esta familia aparecen las fundiciones de baja y media aleación, esta familia se caracteriza por contener pequeñas cantidades de Ni, Cr, Mo y Cu, en cantidades inferiores al 5%. Además, son fundiciones con una alta resistencia a la tracción, de 25 kgf/mm<sup>2</sup> a 50 kgf/mm<sup>2</sup> (Ramírez Cardona, 2017).

Este tipo de fundiciones cuentan con una estructura perlítica, bainítica y martensítica. A esta familia se unen las fundiciones de baja aleación con porcentajes del 1% al 2% de cromo con una resistencia al calor y fundiciones martensíticas con alta resistencia al desgaste (Ramírez Cardona, 2017).

A esta familia se les atribuye las fundiciones con una buena resistencia al desgaste, calor y a la corrosión. Su estructura acostumbra a ser austenítica o ferrítica.

Las fundiciones de baja y media aleación por lo general contienen cantidades de cromo, níquel, cobre y molibdeno en pequeños porcentajes que van del 1.5% (Ramírez Cardona, 2017). Las fundiciones de este tipo de gran resistencia, por lo general en los elementos aleados suelen contener una parte de cromo y dos o tres porciones de níquel.

Mientras que el molibdeno y el cobre, por lo general, se encuentran en porcentajes pequeños, pudiendo emplearse dichos elementos solos o acompañados con níquel o cromo, o ambos a la vez.

En ocasiones menos frecuentes, dichas fundiciones poseen pequeñas cantidades de vanadio y titanio, dichos elementos se añaden para conseguir una disminución en el tamaño de las láminas de grafito o mejorar la matriz, y a su vez mejorar la resistencia al desgaste.

Las fundiciones de alta resistencia a la tensión se incorporan una gran cantidad de fundiciones con diversos compuestos de alta resistencia a la tracción, con variables de 25 a 50 Kgf/mm<sup>2</sup> (Ramírez Cardona, 2017). A dicho grupo también se unen fundiciones al cromo, níquel, cobre y cromo-níquel entre otros.

En este tipo de fundiciones, una de sus principales ventajas es utilizar elementos de aleación, ya que estos ayudan a evitar formaciones de grandes láminas de grafito, aumentando así la resistencia en su matriz.

Es importante recalcar que el uso de estos elementos de aleación en las fundiciones permite aumentar tanto sus características como sus propiedades, con ello se consigue una alta resistencia y dureza del material dependiendo de los diferentes aspersores de las piezas.

Las fundiciones martensíticas resistentes al desgaste emplean fundiciones al níquel y al manganeso, ya que, para la fabricación de piezas de gran resistencia al desgaste, con alto índice de dureza y gran resistencia a altas presiones, es necesario la utilización de dichos elementos de aleación (Ramírez Cardona, 2017). Existen dos tipos de fundiciones martensíticas más utilizadas que son:

Fundiciones martensíticas blancas al níquel: Este tipo de fundiciones por lo general contienen 4.5% de níquel, 2% de cromo y porcentajes bajos de silicio 0.5%, con ello se alcanza durezas que varían de 500 HB a 700 HB (Ramírez Cardona, 2017).

Fundiciones martensíticas grises: Este tipo de fundiciones con su estructura martensítica, son aquellas que son sometidas a un enfriamiento simple en arena. También se las conoce como fundiciones autotemplables debido a su elevada dureza de 400 HB a 450 HB, adquiridas sin ningún tratamiento. Estas fundiciones no pueden ser mecanizadas fácilmente con equipos comunes, se requiere de equipos especiales (Ramírez Cardona, 2017).

Las fundiciones resistentes al calor con 1% de cromo son para el uso de fundiciones con altas temperaturas se emplean fundiciones austeníticas con porcentajes que varían del 15% a 20% de níquel.

Se debe tomar en cuenta que al momento de someterles a altas temperaturas que sobrepasen de los 700°C no se debe emplear elementos caros los más recomendables para este tipo de fundiciones pueden ser cromo y silicio en pequeñas cantidades, obteniendo buenos resultados (Ramírez Cardona, 2017).

El uso de dichos elementos como es el cromo que varían del 0.6% a 1.25%, el cual actúa como un material estabilizador de carburos, y el silicio en proporciones del 1.5% a 2% para restringir la grafitización, el cual es causante de las dilataciones (Ramírez Cardona, 2017).

Las fundiciones de alta dureza con 1 a 3% de cromo son fundiciones de alta dureza se emplean porcentajes de cromo que varían del 1% a 2%, dando como resultado fundiciones blancas de alta dureza, son empleadas en casos de gran resistencia al desgaste y abrasión sin importar la tenacidad del material (Ramírez Cardona, 2017).

Principalmente estas fundiciones se las utiliza en la fabricación de placas de blindaje, piezas de rozamiento, zapatas de freno, guías de rodadura, con cantidades de cromo del 2% a 3% con altas durezas variables de 400 HBN a 450 BHN (Paredes Robalino, 2011).

En las fundiciones aleadas al alto cromo existen dos familias muy importantes con porcentajes muy altos de cromo como son: Fundiciones de cromo con cantidades del 6% a 25%, las cuales se les considera como fundiciones blancas con una elevada dureza (Paredes Robalino, 2011).

Fundiciones de cromo con cantidades del 33%, formadas con una estructura ferrítica (Paredes Robalino, 2011). Resultando así la primera familia con una gran resistencia al desgaste y buena resistencia al calor; mientras que las segundas familias tienen una buena resistencia al óxido y elevadas temperaturas.

**Tabla 2.5.** Composiciones de algunas fundiciones aleadas al cromo y silicio.

<b>Fundiciones al Cromo</b>	<b>Carbono %</b>	<b>Silicio %</b>	<b>Cromo %</b>	<b>DUREZA %</b>
	3,25	1,75	0,5	275
	3,6	2	1	300
	3,6	2	1,75	350
	3,25	2,7	2,5	390
	1,75	1,75	6	390
	1,8	1,75	16	450
	1,8	1,75	25	450
	1	1,75	30	265
<b>Fundiciones al Silicio</b>	2,4	6,5		290
	0,7	1,5		500

**Fuente:** (Ramírez Cardona, 2017)

Las fundiciones aleadas con aluminio actualmente el empleo sigue siendo limitado, ya que su fabricación es muy difícil. La implementación del aluminio en proporciones superiores al 6.5% hace que el grafito desaparezca en dichas fundiciones, de esta manera se forma una matriz formada por ferrita y carburos complejos, de tal forma que sean resistentes al calor y sean inoxidable (Ramírez Cardona, 2017). Existen dos clases más importantes:

Fundiciones que utilizan un 7% de aluminio son muy resistentes al calor, pueden resistir hasta 950°C pudiendo ser fácil su maquinabilidad. De esta manera se consigue una buena resistencia a la tracción que puede ser 18Kgf/mm<sup>2</sup> y su dureza de 300 BHN (Ramírez Cardona, 2017).

Fundiciones con porcentajes superiores al 8% de aluminio, son muy resistentes a la oxidación y pueden resistir temperaturas hasta unos 1000°C. Su resistencia a la tracción es de 13Kgf/mm<sup>2</sup> y su dureza suele variar de 250 BHN a 500 BHN (Ramírez Cardona, 2017).

## **2.5 Ensayos de propiedades mecánicas de los materiales**

Todo tipo de pruebas que se pueden emplear a los materiales son realizadas con el fin de determinar cuáles son sus propiedades mecánicas, denominándose ensayos destructivos.

Es muy importante conocer las propiedades mecánicas de los materiales, al momento de trabajar con ellos, ya que es un factor muy importante debido a la variación de dichas propiedades puesto que se somete a altas temperaturas y la variación en función de la velocidad de deformación de los cuerpos a ensayar (Ramírez Cardona, 2017).

### **2.5.1 Propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas de los materiales expresan el comportamiento de los metales cuando son sometidos a esfuerzos y aplicación de cargas logrando alterar su forma, tales como compresión, tensión, impacto, fatiga o fuerzas a altas temperaturas. Para el control del comportamiento de los materiales las pruebas se pueden realizar directamente en la pieza inspeccionada o en piezas patrón.

Las principales propiedades mecánicas y sus correspondientes pruebas son: Dureza, resistencia, fragilidad, tenacidad, elasticidad, plasticidad, cohesión, resiliencia y fatiga (Ramírez Cardona, 2017).

Para comprobar estas propiedades existen varios procedimientos y métodos a emplear, principalmente se clasifican en ensayos destructivos y ensayos no destructivos.

### **2.5.2 Ensayos destructivos**

Los ensayos destructivos son aquellos que dañan a la pieza a ensayar, se debe tomar en cuenta el tipo de ensayo, pudiendo ser desde una simple marca, una deformación permanente, o su fractura parcial o total.

Existen tres tipos de ensayos destructivos:

- Ensayos estáticos.
- Ensayos dinámicos.

- Ensayos tecnológicos.

### **2.5.3 Ensayos estáticos**

A este tipo de ensayos principalmente se les denomina con este nombre debido a la carga que se aplica, pudiendo ser estáticas o progresivas, con los cuales se pueden determinar la dureza como también la resistencia a la compresión o tensión (Gil, 2002).

### **2.5.4 Dureza**

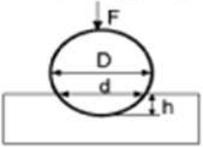
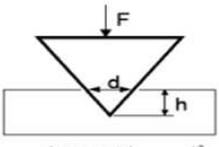
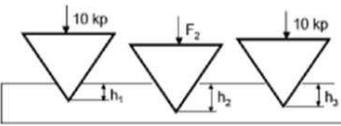
Es una propiedad que permite expresar el grado de deformación permanente que puede sufrir un metal, con respecto a la aplicación directa de una carga determinada. Se debe tomar en cuenta que existen dos clases de dureza: La dureza física y dureza técnica (Gil, 2002).

Por consiguiente, una dureza física es la resistencia que se opone a un cuerpo a ser rayado por un material más duro. Mientras que la dureza técnica es aquella resistencia que se opone a ser penetrada por otro más duro. La dureza se puede valorar en función de los resultados obtenidos de los distintos ensayos de rayado, penetración, o choque (Gil, 2002).

Para la obtención de dichos resultados el primer procedimiento se basa en la escala de Mohs, la cual consta de diez minerales ordenados de tal forma que cada uno de ellos sea rayado por el siguiente: Talco, yeso, calcita, Fluorita, apatito, feldespato, cuarzo, topacio, corindón, diamante (Gil, 2002).

Por lo tanto, para la determinación de la dureza de un material se inicia tratando de rayarlo con lo más blando hasta conseguir uno con el cual se logre. Los ensayos más utilizados para designar las durezas son aquellos ensayos de penetración, aplicando un penetrador (bola, cono o diamante) sobre la superficie del material, aplicando una presión y un tiempo determinado. Sin embargo, los métodos más empleados son los de Vickers, Rockwell y Brinell como se indica en siguiente tabla (Gil, 2002).

**Tabla 2.6.** Tipos de ensayos.

TIPO DE ENSAYO	BRINEL HB	VICKERS HV	ROCKWELL	
			HRB	HRC
Tipo de material	No muy duros	Muy duros	Blandos	Duros
Penetrador	Bola de acero templado	Pirámide regular de diamante	Bola de acero	Cono de Acero con punta de diamante
Medida	Superficie de la huella	Superficie de la huella	Profundidad de la huella	
Valor de dureza (resultado del ensayo)	$HB = F/S \text{ (Kp/mm}^2\text{)}$  $S = \pi D h = \pi D \frac{1}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$ Valor dureza igual sólo si $F = K \cdot D^2$	 $S = 4 \cdot \frac{d \cos 45^\circ \cdot h}{2} = \frac{d^2}{2 \sin 68^\circ}$	 $e = \frac{h_3 - h_1}{0,002} \text{ (} h_2 \text{ y } h_1 \text{ en mm)}$	
	Válido para la mayoría de los aceros. Si las deformaciones son pequeñas el margen de error es grande  Hay que medir con un microscopio la diagonal de la huella	Es más exacto que Brinell, pero más caro	Es el ensayo más rápido y sencillo, pero menos preciso (no mide superficie de la huella, sólo su profundidad) El aparato de medida suele dar ya el resultado (no hace falta medir profundidades)	

Fuente: (Gil, 2002)

## 2.6 Método Brinell

Este tipo de ensayo se puede determinar comprimiendo el material con la ayuda de un penetrador compuesto por una bola de acero, siendo normalmente de 5 mm de diámetro. Este ensayo se puede realizar por medio de dos sistemas: Comprobando la profundidad de la marca y comprobando el diámetro de la marca.

La carga más utilizada para este método es la 750 Kg (Gil, 2002). Dependiendo de los casos, se pueden emplear bolas de 2,5 y 10 mm para la penetración, de esta manera las cargas pueden oscilar en función de los diámetros con respecto al siguiente cuadro.

**Tabla 2.7.** Cargas y diámetros para ensayos Brinell.

<b>Ø esfera mm</b>	<b>D=10</b>				<b>D=5</b>				<b>D=2,5</b>			
<b>Carga P en Kg</b>	3000	1000	500	250	750	250	125	62,5	187,5	62,5	31,2	15,6
<b>Relación P/D<sup>2</sup></b>	30	10	5	2,5	30	10	5	2,5	30	10	5	2,5

Fuente: (Gil, 2002)

$$HB = \frac{P(Kg)}{Smm^2} \quad [2.1]$$

La superficie del casquete de la marca será S, siendo S:

$$S = \pi \times D \times f \quad [2.2]$$

$$f = 0,5 \times [D - \sqrt{D^2 + d^2}]$$

Siendo:

*d* = diámetro de la marca.

*D* = diámetro de la bola.

Con respecto al diámetro de la marca, la dureza Brinell se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$HB = \frac{P}{1,5808 \times [D - \sqrt{D^2 + d^2}]}$$

Con respecto a la medición de la profundidad de la marca la fórmula será:

$$HB = \frac{P}{3,1416 \times [D \times h]}$$

Este método Brinell se utiliza perfectamente en piezas con un perfil grueso de hierro o acero, debido a que las marcas que dejan son muy claras y sus contornos muy limpios. El tiempo que debe emplearse en los ensayos oscilan entre 30 a 3 minutos para materiales muy blandos.

## 2.7 Método Rockwell

Este ensayo consiste en comprimir la superficie del material, con la ayuda de un penetrador, el cual puede ser de bola con un radio de 0,2 mm o un cono de 120° (Gil, 2002).

Las cargas utilizadas son de 60, 100 y 150 Kg para materiales gruesos y de 15, 30, 45 Kg para materiales delgados (Gil, 2002). La dureza se puede designar mediante la utilización del símbolo HR seguido de una letra minúscula, siendo estas las escalas B y C como se indica en la tabla.

**Tabla 2.8.** Escalas de dureza Rockwell

Escala	Indentador	Carga Total	Color de escala	Aplicaciones
A	Cono diamante	60	Negro	Metales duros, superficies templadas, chapa fina (<0,4 mm)
D	Cono diamante	100	Negro	Piezas con superficies templada de dureza media, chapas
C	Cono diamante	150	Negro	Aceros templados
F	Bola de Ø 1/16"	60	Rojo	Aleaciones cobre recocido. Chapa fina metálica (>0,6mm)
B	Bola de Ø 1/16"	100	Rojo	Aceros blandos, de construcción, metales no ferrosos
G	Bola de Ø 1/16"	150	Rojo	Bronce, cobre-berilio, cobre-níquel, fundición maleable
H	Bola de Ø 1/8"	60	Rojo	Aluminio, zinc, plomo
E	Bola de Ø 1/8"	100	Rojo	Fundición, aleaciones Al-Mg, metales antifricción
K	Bola de Ø 1/8"	150	Rojo	Metales antifricción o de dureza muy baja, Ebonita (ASTM D 530-59T), madera laminada (ASTM D 805-52) materiales sintéticos (ASTM D 785-60T) otros materiales muy blandos o muy finos
L	Bola de Ø 1/4"	60	Rojo	
M	Bola de Ø 1/4"	100	Rojo	
P	Bola de Ø 1/4"	150	Rojo	
R	Bola de Ø 1/2"	60	Rojo	
S	Bola de Ø 1/2"	100	Rojo	
V	Bola de Ø 1/2"	150	Rojo	

Fuente: (Ramírez Cardona, 2017)

El penetrador unificado se conforma de una bola de acero templado con una dureza mínima de 850 HV y con un diámetro de 1/16 de pulgada (1,5857 mm). Se debe tomar en cuenta que ningún diámetro de la bola, supere una tolerancia de  $\pm 0,0035$  mm, del diámetro nominal (Gil, 2002).

Para realizar ensayos sobre materiales muy suaves o débiles y para ensayos especiales, se puede utilizar penetradores con bolas de diámetros distintos, que pueden ser: 1/8 de pulgada (3,175 ± 0,005 mm), 1 / 4 de pulgada (6,35 ± 0,006 mm), 1 / 2 de pulgada (12,7 ± 0,008 mm) (Gil, 2002).

Para realizar una medición de la vasta gama de durezas, se debe tener en cuenta las características del medio y los métodos de medida Rockwell, de esta manera han adaptado distintas combinaciones de penetradores y cargas las cuales ayuden a medir todas las medidas necesarias con el mismo margen de error. Así mismo se tiene distintas escalas de dureza más utilizadas, que pueden agruparse en dos grandes grupos, según su clase de penetración: Escalas Rockwell superficiales (para piezas ligeras) y las escalas Rockwell normales (para piezas de espesor elevado)

## 2.8 Método Vickers

Este tipo de método Vickers solo se emplea para piezas nitruradas para aquellos procesos superficiales de endurecimiento del material, con espesores mínimos de 0,2 mm y generalmente para piezas ligeras (Gil, 2002).

El ensayo consiste en la siguiente forma: La superficie del material se comprime mediante un penetrador con la punta de diamante en forma de pirámide recta y con su base cuadrada, midiendo la longitud media de las dos diagonales de la marca dejada por el penetrador.

Las cargas que se utilizan son de 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100 y 120 Kg, con preferencias para el de 30 kg. El tiempo para mantener la carga oscila entre los 10 a 30 segundos, siendo el más empleado el de 15 segundos (Gil, 2002). La dureza Vickers se calcula por la relación que existe entre la carga de prueba y el área de la marca, por medio de la fórmula siguiente:

Dureza Vickers:

$$2 \frac{P}{d^2} \operatorname{sen} \frac{130^\circ}{2} = 1,1854 \left( \frac{P}{d^2} \right) \quad [2.3]$$

Donde:

$P$  = carga aplicada sobre el penetrador en kilogramos

$d$  = semisuma de las diagonales de la marca en milímetros.

Los valores de la dureza Vickers se los expresa en  $\text{Kg/mm}^2$  y se representa con el símbolo HV dependiendo de las condiciones del ensayo (carga y duración aplicada, siendo el período que transcurre entre cuando alcanza el valor máximo y el momento en que es eliminada).

Para los ensayos de dureza Vickers se debe tomar en cuenta la tolerancia que es de  $\pm 1\%$ . Este tipo de ensayos pueden realizarse tanto en superficies planas como también en superficies curvas, las cuales deben tener radios de curvatura 5 mm (Gil, 2002).

### **2.8.1 Elasticidad**

Es la capacidad de un cuerpo elástico para recuperar su forma inicial al terminar la causa que lo ha deformado. De esta manera se llama límite elástico a la carga máxima que puede soportar un metal sin que su deformación sea permanente. Se debe tener en cuenta que todo tipo de piezas trabajan por debajo del límite elástico de deformación, normalmente se expresa en  $\text{Kg/mm}^2$  (Gil, 2002).

## **2.9 Temperatura y dilatación térmica**

### **2.9.1 Dilatación térmica de sólidos y líquidos**

#### **2.9.1.1 Dilatación Lineal**

Consideremos una barra cuya sección es muy pequeña comparada con su longitud inicial ( $L_0$ ). Al incrementar la temperatura en un valor  $\Delta T$ , la longitud de la barra aumenta en una cantidad  $\Delta L$ . Experimentalmente se observa que esta variación es variación es aproximadamente lineal con la temperatura (Gere, 2009).

$$\Delta L = \alpha \times L_0 \times \Delta T \quad [2.4]$$

La constante de proporcionalidad  $\alpha$  se denomina coeficiente de dilatación lineal. Como se puede comprobar despejando  $\alpha$  de la ecuación, tiene dimensiones de temperatura. En el sistema internacional de unidades se mide en  $\text{K}^{-1}$  (equivalentemente en  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ). La dependencia de  $\alpha$  con la temperatura no es muy

importante, por lo que se suele suponer que  $\alpha$  es constante en primera aproximación (Gere, 2009).

Si se desprecia su dependencia con la temperatura, el coeficiente de dilatación lineal es una propiedad de cada sustancia. La diferencia de valor que presenta para cada material puede explotarse para la fabricación de termómetros y termostatos: si se disponen dos hilos o láminas de dos metales distintos soldados entre sí, al variar la temperatura éstos se curvarán, en mayor o menor medida dependiendo de la temperatura (Gere, 2009).

### 2.9.1.2 Dilatación Superficial

Sea una lámina rectangular homogénea e isotrópica cuyo espesor sea muy pequeño comparado con su superficie inicial  $S_0 = L_a \times L_b$ . Un incremento de temperatura  $\Delta T$  provocará un incremento en la superficie (Gere, 2009).

$$\Delta S = S - S_0 \quad [2.5]$$

$$\Delta S = (L_a + \Delta L_a)(L_b + \Delta L_b) - L_a L_b$$

$$\Delta S = \Delta L_a \Delta L_b + \Delta L_a L_b + \Delta L_a \Delta L_b$$

$$\approx L_a \Delta L_b + L_b \Delta L_a$$

Suponiendo que  $\Delta L_a \ll L_a$  y  $\Delta L_b \ll L_b$ , introduciendo en la ecuación  $\Delta L = \alpha \times L_0 \times \Delta T$  se obtiene:

$$\Delta S = 2\alpha \times S_0 \times \Delta T \quad [2.6]$$

El factor  $2\alpha$  recibe el nombre de coeficiente de dilatación superficial.

**Tabla 2.9.** Temperatura y dilatación térmica

Sustancias	Coeficiente de dilatación	
	$\alpha(10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1})$	$3\alpha(10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1})$
Vidrio Pyrex	3	9
Madera, en dirección paralela a las fibras	2-9	
Granito	8	24
Vidrio ordinario	9	27
Ladrillo	9	27
Hierro	11,6	35

Acero	11-12	33-36
Hormigón	12	36
Latón	19	57
Aluminio	25	75
Madera, en dirección transversal a las fibras	32-66	
Poliestireno	85	255
Agua	316,6	950
Gasolina	366,6	1100

Fuente: (Cruz, 2014)

### 2.9.1.3 Dilatación Cubica

Siguiendo un razonamiento similar, un volumen paralelepédico homogéneo e isótropo de volumen inicial  $V_0 = L_a \times L_b \times L_c$ , sometido a un incremento de temperatura  $\Delta T$  sufrirá un incremento de volumen (Gere, 2009).

$$\Delta V = V - V_0 \quad [2.7]$$

$$\Delta V = (L_a + \Delta L_a)(L_b + \Delta L_b)(L_c + \Delta L_c) - L_a L_b L_c$$

$$\approx L_a L_b \Delta L_c + L_a L_c \Delta L_b + L_b L_c \Delta L_a$$

Suponiendo que  $\Delta L_a \ll L_a$ ,  $\Delta L_b \ll L_b$  y  $L_c$  introduciendo en la ecuación

$\Delta L = \alpha \times L_0 \times \Delta T$  se obtiene:

$$\Delta V = 3\alpha \times V_0 \times \Delta T \quad [2.8]$$

El factor  $3\alpha$  recibe el nombre de coeficiente de dilatación cúbica.

La dilatación de los líquidos suele ser mayor que la de los sólidos. Por lo general, los coeficientes de dilatación son positivos. Un caso excepcional es el agua cuyo volumen disminuye si la temperatura aumenta de 0 °C a 4 °C. Para incrementos de temperatura a partir de 4 °C el volumen aumenta (Gere, 2009).

## 2.9.2 Esfuerzos Térmicos

### 2.9.2.1 Esfuerzos térmicos en la dilatación lineal

Cuando los extremos de una barra o bloque de cierto material se fijan rígidamente y se varía su temperatura, aparecen grandes esfuerzos de compresión o de tracción

que se llaman esfuerzos térmicos. Éstos podrían llegar a provocar deformaciones importantes, e incluso la ruptura del material considerado.

Por esta razón, habrá que tener precaución en el diseño de cualquier elemento o estructura que vaya a estar sometido a cambios de temperatura (tuberías de conducción de agua caliente y vapor, armaduras metálicas, puentes, entre otros) (Gere, 2009).

$$\Delta L = \alpha \times L_0 \times \Delta T$$

Por otro lado, en teoría de la elasticidad se obtiene que al aplicar una fuerza de modulo  $F$  sobre una barra de longitud  $L_0$  y sección transversal  $S$ , la barra se dilata o contrae (Gere, 2009).

$$\Delta L = \frac{1}{E} \times L_0 \times \frac{F}{S}$$

Donde  $E$  es una constante característica de la sustancia que constituye la barra, que se llama módulo de Young. Es fácil comprobar que  $E$  tiene dimensiones de fuerza / superficie o, equivalente de presión. Comprobando las dos expresiones se obtiene que la magnitud del esfuerzo  $F/S$  debido a un incremento de temperatura  $\Delta T$  viene dado por:

$$\frac{F}{S} = \alpha \times E \times \Delta T$$

La magnitud de los esfuerzos térmicos es muy elevada. Así, por ejemplo, un aumento de 30°C en una viga de acero de 25cm x 25cm de sección dará lugar a una fuerza expansiva de  $4,16 \times 10^{-6}$  N (Gere, 2009).

### **2.9.2.2 Esfuerzos térmicos en la dilatación volumétrica**

Si un material dilatante de volumen  $V_0$  se encuentra limitado completamente por una superficie muy rígida de forma que su volumen no pueda variar, cuando aumente la temperatura aparecerán esfuerzos térmicos consistentes en un incremento de presión (o lo que es lo mismo, una fuerza normal por unidad de superficie) que el volumen encerrado ejercerá sobre la superficie que lo rodea. Si estuviera permitida

la variación de volumen, el incremento de volumen  $\Delta V$  que experimentaría el material al aumentar la temperatura en una cantidad  $\Delta T$  (Gere, 2009).

$$\Delta V = 3\alpha \times V_0 \times \Delta T$$

Por otra parte, cuando un volumen de cierto material se somete a un incremento de presión  $\Delta p$  en toda su superficie su volumen varía en la cantidad.

$$\Delta V = -\frac{\Delta p \times V_0}{B}$$

Donde B es el llamado módulo de compresibilidad isoterma, que es una constante característica de cada sustancia. El signo menos en esta expresión indica que un aumento de presión lleva aparejada una disminución de volumen. De las ecuaciones se deduce que para evitar el incremento de volumen  $\Delta V$  que sufrirá el material cuando se eleva la temperatura una cantidad  $\Delta T$ , sobre las paredes debe aparecer un incremento de presión  $\Delta p$  tal que (Gere, 2009).

$$3\alpha \times V_0 \times \Delta T - \frac{\Delta p \times V_0}{B} = 0$$

Donde:

$$\Delta V = 3\alpha \times B \times \Delta T$$

## **CAPÍTULO III**

### **3 Desarrollo de la propuesta.**

Esta etapa se basa en la realización de investigaciones acerca del funcionamiento y comportamiento térmico del motor Hino 205 ciclo Diésel, recopilando de esta manera información acerca de parámetros que faciliten el análisis del sobrecalentamiento en dicho motor. Una vez obtenido los parámetros mencionados anteriormente se realizará el despiece total del mismo, luego se procederá a la observación de las piezas afectadas por el exceso de temperatura, tratando de encontrar posibles deformaciones y desgastes existentes en la culata de cilindros y junta de culata, mismas piezas que son motivo de análisis.

Por otra parte, se realizará ensayos a muestras extraídas de la culata de cilindros, como son: composición química, dureza, tracción y metalográficos. Los mismos que permitan conocer su composición, estructura, dureza y resistencia del material, para posteriormente realizar un análisis comparativo de los resultados de dichos ensayos con respecto a las normas establecidas para la fabricación de dichos materiales, logrando de esta manera encontrar posibles causas que ocasionan el sobrecalentamiento en dicho motor.

#### **3.1 Desmontaje del motor Hino 205**

##### **3.1.1 Despiece de las partes fijas y móviles del motor.**

Al comenzar el trabajo práctico, se procedió al despiece total de las partes fijas y móviles del motor, utilizando las debidas herramientas y las respectivas normas de seguridad para evitar inconvenientes y accidentes laborales. Para realizar el despiece es necesario tener en cuenta los pasos a seguir según la descripción del manual o fabricante.

De esta manera se procedió a extraer los líquidos, tanto refrigerantes como lubricantes del motor los mismos que fueron recolectados en distintos depósitos logrando de esta manera evitar derrames de sustancias químicas en el lugar de trabajo.

### **3.1.1.1 Desmontaje de la culata de cilindros.**

Para el desmontaje de la culata de cilindros se procedió a la extracción de la tapa de las válvulas, la misma que se encuentra sujeta por 14 pernos y estos están sujetos a la culata de cilindros, dicha acción se realiza utilizando un dado número 12mm, un acople y una palanca de fuerza.

Una vez realizada esta acción, se procedió al desmontaje del sistema de alimentación aire-combustible, desmontando principalmente al inyector con su respectiva cañería, los mismos que están sujetos por 2 pernos por cada uno de ellos, para esta tarea se empleó una llave número 19mm y un dado número 12mm. Por último, se realizó el retiro de los pernos de la culata de cilindros, los cuales están sujetos al bloque de cilindros, la culata está conformada por 24 pernos de dado número 17mm, para el retiro de dichos pernos se debe tener en cuenta el procedimiento de despiece de la culata, el cual consiste en el retiro de los pernos que se alojan a los extremos de dicha culata siguiendo una secuencia de las manecillas del reloj para el resto de los pernos.

Posteriormente se desmontaron la toma de agua, las mismas que están alojadas en la parte frontal del motor, dichas tomas están sujetas al bloque y culata por 4 pernos de numeración 14mm. De esta manera se procedió al retiro total de la culata de cilindros del bloque motor. A la misma que se le desmontaron los colectores de admisión-escape, y sus válvulas con los respectivos muelles.

### **3.1.1.2 Desmontaje del cárter.**

Este componente se encuentra alojada en la parte inferior de motor, la misma que se emplea como recipiente del aceite lubricante del motor. Para el retiro del cárter se emplea un dado número 12mm, un acople y una palanca, el mismo que está sujeto al bloque motor por 32 pernos. En su interior se encuentra la coladera o cernidero, sujeta al bloque motor por 3 pernos de numeración 12mm.

### **3.1.1.3 Desmontaje de los pistones.**

Se procedió a desacoplar la cabeza de la biela, la cual está sujeta al codo del cigüeñal, esta acción se debe hacer para cada uno de los pistones con la ayuda de un

dado número 17mm estrellada. De esta manera se realiza la extracción del conjunto (biela pistón) de cada uno de los cilindros del bloque motor.

#### 3.1.1.4 Desmontaje del sistema de la distribución.

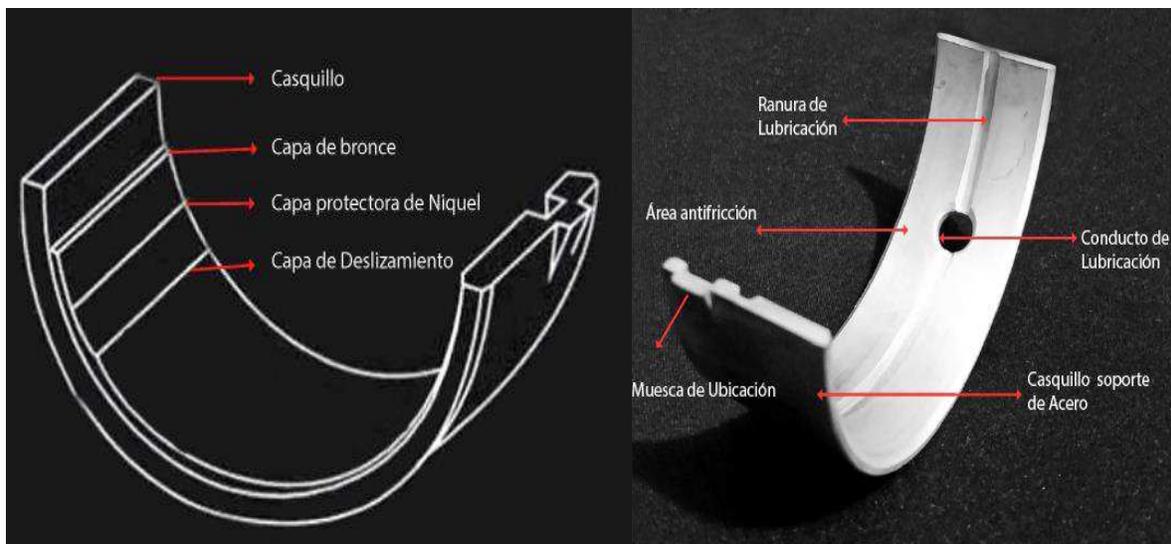
Principalmente se desmonta la tapa del conjunto de piñones de la distribución, la misma que consta de 15 pernos de numeración 12mm; en su interior existe un juego de 4 piñones acoplados directamente con el cigüeñal en forma sincronizada. Posteriormente se realiza la extracción de los piñones como son: Piñón del variador de encendido el cual consta de 2 pernos de numeración 12mm, árbol de levas con su respectivo piñón sujetado por dos pernos de numeración 12mm, tercer piñón se queda alojado en el bloque motor y cuarto se encuentra alojado en el cigüeñal.

### 3.2 Análisis de desgastes de los elementos móviles y fijos del motor

#### 3.2.1 Desgaste en los cojinetes de biela y bancada.

Los cojinetes son los encargados de permitir que se deslice libremente el cigüeñal, así como también depende de ellos la presión del aceite en el sistema; ya que si existe desgaste en alguno de ellos la presión de aceite disminuye y sería perjudicial para el desempeño del motor.

Los cojinetes se encuentran elaborados por una base o casquillo que es la parte



**Figura 3.1.** Materiales y partes del cojinete de bancada de un motor ciclo diésel más resistente de toda la pieza, está fabricada de acero de 1 a 10mm de espesor,

y 3 capas adicionales las cuales son: Capa de bronce al plomo o aluminio, capa protectora de níquel de un espesor de 0,002mm, capa de deslizamiento de un espesor aproximado de 0,02mm (Amador Patiño, 2016).

### **3.2.1.1 Zonas de desgastes en los cojinetes de bancada y biela**

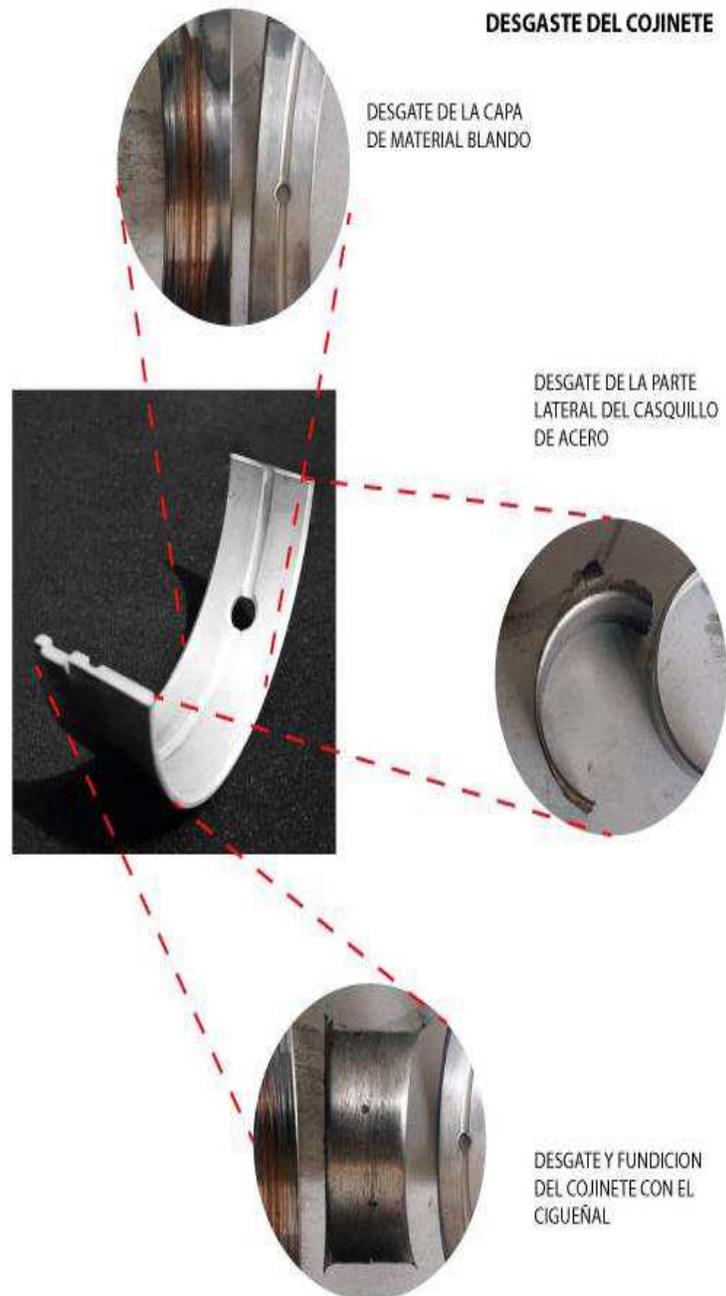
Por lo general el material que más sufre desgaste es la capa deslizante que se encuentra en contacto con el cigüeñal, ya que al sufrir cambios bruscos de temperatura el lubricante no logra proteger lo suficiente.

De esta manera se produce el roce entre el cojinete y el codo del cigüeñal, dando como resultado pérdida del material del cojinete, al ser un material más maleable que del cigüeñal. En caso de que se pierdan las 3 capas del cojinete el cigüeñal tendrá contacto directo con el casquillo, presentándose el desgaste abrasivo del cigüeñal e incluso la ruptura.

Según la figura 3.2 se puede reconocer los diferentes tipos de desgastes que sufre un cojinete al momento del sobrecalentamiento del motor, dando de esta manera averías muy graves en el sistema de lubricación.

Debido a la presencia de desgaste en los cojinetes de bancada, provoca la pérdida de presión de aceite en todo el sistema de lubricación ocasionado que el líquido lubricante no alcance a engrasar los componentes situados en la parte superior del motor, presentando así un aumento de temperatura en el sistema de refrigeración.

Uno de los daños más comunes y graves que ocasiona dicho aumento de temperatura es que la junta de cilindros se deforme, incitando a producirse fisuras en la cara plana de la misma la cual se encuentra en contacto con las separaciones de los cilindros del bloque motor y a su vez el daño total de turbo compresor.



**Figura 3.2.** Zonas donde se produce el desgaste del cojinete de bancada

### 3.2.1.2 Desgaste de la capa del material blando

Esta capa es la más susceptible a sufrir desgaste cuando existe excesiva temperatura dentro de los sistemas tanto de refrigeración como de lubricación, el lubricante no solo se encarga de engrasar las partes móviles del motor también es encargado de evacuar la temperatura.

Al no ser disipado el calor del sistema por medio del líquido refrigerante como del lubricante; este incremento de temperatura hace que se produzca un roce directo con los muñones o codos del cigüeñal perdiendo de esta manera todas sus propiedades dicha capa.

#### **3.2.1.3 Desgaste de la parte lateral del casquillo de acero**

Este desgaste se produce luego de que la capa blanda haya perdido sus propiedades deslizantes, teniendo de esta manera el aumento de la película de aceite existente entre el cojinete y el cigüeñal, dando lugar a que la biela tenga juego entre los laterales del cigüeñal y los laterales de la biela produciendo una fricción perjudicial para el cojinete.

#### **3.2.1.4 Desgaste y fundición del cojinete con el cigüeñal**

Este fenómeno se presenta cuando todas las capas que le recubren al casquillo se encuentran desaparecidas y existe el contacto directo del casquillo de acero con el codo del cigüeñal elevando de esta manera la temperatura entre el muñón del cigüeñal y la cabeza de la biela, llegando al punto de fusionarse la biela con el codo del cigüeñal causando el desgaste de la biela y el cigüeñal.

### **3.2.2 Desgaste en las bielas**

La biela sufre desgaste en la parte inferior llamado pie de biela ya que en este sitio consta de un buje de bronce, que al estar sometido a presión y a altas temperaturas tiende a presentar deformaciones que con el trascurso del tiempo se afloja y se desgasta produciendo de esta manera una avería muy grave para el motor.

La figura 3.3 muestra los diferentes puntos donde se produce desgastes a causa de la temperatura existente en el motor diésel, el exceso de calor en el sistema es muy perjudicial para la biela ya que se encuentra sometida a compresión, tracción y torsión, con alta temperatura la biela fácilmente puede llegar a sufrir deformaciones.



**Figura 3.3.** Zonas donde se produce el desgaste en la biela

### 3.2.2.1 Desgaste de la cabeza de biela

Este desgaste se presenta cuando el motor se encuentra trabajando a temperaturas altas las cuales hacen que el aceite pierda sus propiedades de lubricar y refrigerar, dando lugar a que el cojinete de biela se deslice en la cabeza de la biela venciendo las ranuras de seguridad, teniendo de esta manera (girado de chaqueta) que produce el golpeteo de la biela con el cigüeñal y en ocasiones la ruptura de la cabeza produciendo una fractura en el bloque motor.

### **3.2.2.2 Torcedura del pie de la biela**

En este punto de la biela es donde más esfuerzo existe y al momento de tener temperatura alta en el motor tiende a deformarse ya que se encuentra unida al pistón.

Es la parte encargada de hacer que el pistón se deslice en el cilindro por medio del giro del cigüeñal, dando lugar a una pérdida de potencia del motor ya que al tener la deformación no podrá cumplir con los ciclos del motor.

### **3.2.2.3 Desgaste del bocín de biela**

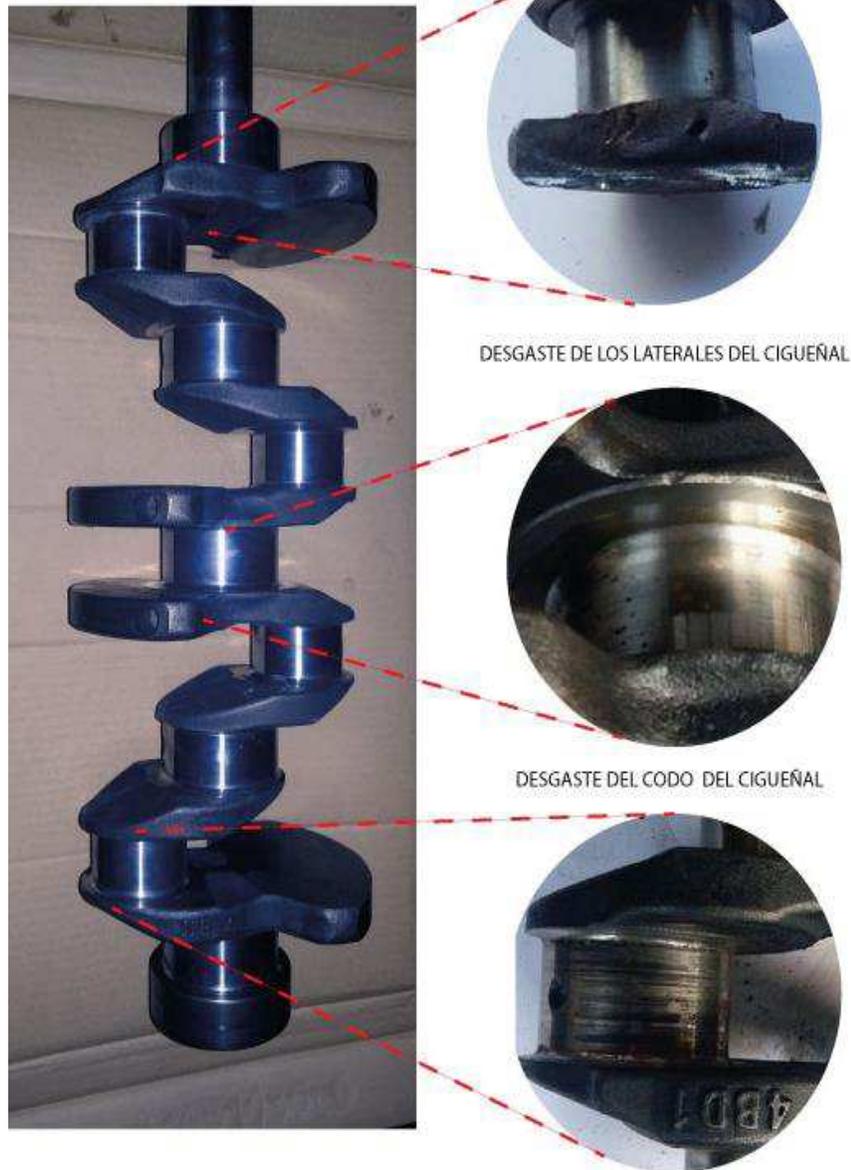
Es un elemento que se encuentra alojado en el pie de la biela, al presentarse una sobrecarga de temperatura este bocín tiende a aflojarse y girarse en el pie de la bancada dando como resultado un desgaste del bulón o pasador del pistón y del pie de la biela.

### **3.2.3 Desgaste en el cigüeñal**

Por lo general las zonas donde más existe desgaste son en las muñequillas y muñones del cigüeñal, las mismas que se encuentran sometidas a grandes cargas, esfuerzos y altas temperaturas, así como también el contacto o roce de los cojinetes del cigüeñal, donde se puede dar la posibilidad de que algún cojinete se encuentre deteriorado ocasionando la presencia de rayaduras y en casos extremos hasta la rotura del cigüeñal.

En los motores diésel no es recomendable efectuar una rectificación del cigüeñal ya que son diseñados para soportar altas compresiones, cargas y grandes revoluciones de giro. Por lo que, al someter a dicha rectificación el cigüeñal pierde material y a su vez disminuye la resistencia a los esfuerzos presentes en el mismo dejándoles débiles y por ende ocasionando su rotura.

La figura 3.4 demuestra los daños que ocasiona el sobrecalentamiento en un motor diésel, especialmente en el cigüeñal que es el encargado de realizar los movimientos para que dicho motor cumpla con sus ciclos.



**Figura 3.4.** Zonas donde se produce el desgaste en el cigüeñal

### 3.2.3.1 Desgaste del codo del cigüeñal

Este tipo de desgaste se produce cuando el motor se encuentra trabajando en altas revoluciones y temperaturas muy elevadas, esto da lugar a que las fricciones existentes entre las partes móviles del motor empiecen a rozar, teniendo así un desgaste excesivo en los codos del cigüeñal tanto de biela como de bancada, los cojinetes de biela van a sufrir más desgaste que los de bancada.

### **3.2.3.2 Desgaste de los laterales del cigüeñal**

Los laterales del cigüeñal se desgastan cuando el lubricante tiende a perder su viscosidad, ocasionando daños en la media luna del cigüeñal, teniendo como consecuencia un gripado en el centro del cigüeñal donde gira la media luna, dicho desgaste produce que el cigüeñal tienda a jugar horizontalmente y por ende exista el deterioro en sus demás piezas móviles.

### **3.2.3.3 Rotura del cigüeñal**

Esta rotura se presenta cuando los cojinetes han tenido demasiado desgaste, por ende, el cigüeñal presenta vibraciones en las bancadas del bloque motor y en la cabeza de la biela, por lo que al encontrarse en altas revoluciones y con este tipo de vibraciones el cigüeñal se rompe.

### **3.2.4 Desgaste en los pistones**

Al alcanzar temperaturas muy elevadas el primer elemento que sufre daños es el pistón por la expansión que se produce en el interior del cilindro, debido a que la separación existente entre el cilindro y el pistón es muy pequeña, por ende, tiende a sufrir desgaste las ranuras de los segmentos (rines) y las faldas del pistón permitiendo de esta manera la fuga de compresión de la cámara hacia la parte inferior del motor.

La figura 3.5 indica los cambios que presentan los pistones al tener un exceso de temperatura, dichos pistones al ser fabricados de aluminio con la temperatura tienden a expandirse perdiendo de esta manera la película de aceite existente entre el pistón y la camisa teniendo de esta manera desgastes.

#### **3.2.4.1 Rotura de la cabeza del pistón**

La rotura de esta pieza se produce cuando la temperatura es excesivamente alta y el pistón tiende a trabarse en la camisa de cilindros llegando al límite de un desprendimiento tanto la cabeza como la falda del pistón.

DAÑOS POR EXCESO DE TEMPERATURA EN EL PISTÓN

ROTURA DE LA CABEZA DEL PISTÓN



**Figura 3.5.** Zonas de desgaste del pistón

### 3.2.4.2 Recalentamiento de la falda del pistón

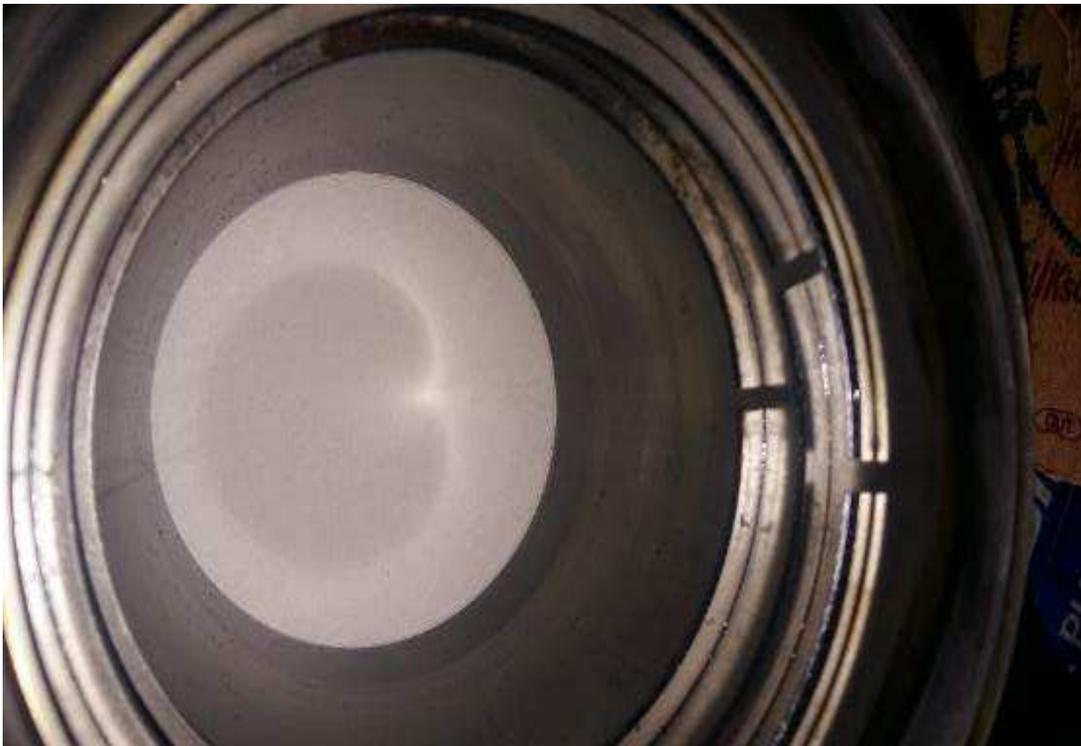
La temperatura hace que el cilindro tienda a sufrir deformaciones en las paredes dando lugar a la pérdida de lubricante entre la falda del pistón y la camisa produciendo rayaduras en la falda del pistón, dichas rayaduras permiten que la compresión comience a fugar desde la cámara de combustión hacia el recipiente del lubricante, provocando de esta manera la pérdida de lubricante en el motor.

### **3.2.4.3 Deformación de las ranuras de los rines**

Estas ranuras tienden a deformarse por la temperatura que alcanza el material al momento de impulsar los rines tanto del punto muerto superior al punto muerto inferior, al tener desgaste en este lugar el aceite puede pasar hacia la cámara de combustión y esto hace que estos canales se acumulen de carbonilla y puedan sufrir una rotura.

### **3.2.5 Desgaste de las camisas y segmentos**

El desgaste se produce entre los rines y la superficie de las camisas siendo que ambas piezas se encuentran en contacto directo, al poseer escasa refrigeración en el sistema y una baja película de aceite, se produce un desgaste en la parte lisa de la camisa teniendo de esta manera la pérdida de lubricante y a la vez pérdida de potencia del motor, por otra parte, es recomendable dar mantenimiento preventivo al sistema de alimentación, para evitar la presencia de impurezas en la cámara.



**Figura 3.6.** Zonas de desgaste de los segmentos

En la figura 3.7 se encuentra los desgastes que se pueden presentar en las camisas o cilindros del motor al existir un sobrecalentamiento, se tiene el desgaste en las paredes y en la parte superior de la camisa ya que al tener elevada temperatura y elevada compresión en la cámara los materiales tienden a perder su propiedad y llega a sufrir averías.



**Figura 3.7.** Zonas de desgaste de los segmentos y camisas

### **3.2.5.1 Rotura de la ceja de la camisa**

Esta ceja se rompe debido al exceso de temperatura entre la culata de cilindros y el bloque motor, ya que dicha temperatura produce que la junta de la culata se queme y permita el paso del líquido refrigerante y de la compresión a este punto de la camisa teniendo así un escape de compresión en el sistema.

### **3.2.5.2 Fisura de las paredes de la camisa**

En este tipo de motor se tiene camisas secas que se encuentran en contacto permanente con las paredes del bloque motor, el material de las camisas es un acero muy resistente y a la vez muy frágil.

Por otro lado, el bloque motor se encuentra fabricado de hierro fundido por lo cual su evacuación de temperatura va a ser más ligera dando lugar a que la camisa tienda a fisurarse.

### **3.2.5.3 Rotura de camisa**

La camisa se llega a romper cuando existe exceso de temperatura y el pistón tiende a perder sus rangos de tolerancia, existiendo el contacto más directo entre los segmentos con la camisa y de esta manera la camisa presenta una rotura a lo largo de la pared.

### **3.2.6 Desgaste en la culata de cilindros**

La culata se encuentra sometida a grandes temperaturas y esfuerzos de compresión ocasionando diversas averías en la culata de cilindros, entre las más comunes son: Fisuras como deformaciones de la cara liza inferior de la misma.

Rajaduras: Al momento de un sobrecalentamiento en la culata de cilindros se presenta fisuras alrededor del anillo o asiento de válvula, fisuras en la camisa del inyector, fisuras entre la separación de anillos de válvulas, fisuras de las vías del sistema de refrigeración situadas en el alojamiento de los colectores, admisión y escape.

Deformaciones: Se presentan en la cara inferior de la culata ocasionando el desgaste de la junta de cilindros, se puede tener deformación de las válvulas con su respectivo asiento, deformación de la guía de válvulas.

La figura 3.8 indica las averías que puede sufrir el cabezote al momento de un sobrecalentamiento ya que es la parte donde más temperatura alcanza el motor y por lo cual sus componentes tienden a sufrir deformaciones.



**Figura 3.8.** Culata de cilindros de un motor Hino 205

### 3.2.6.1 Fisura en el conducto de refrigeración.

Alrededor de los orificios de los pernos de la culata de cilindros se encuentran los conductos del líquido refrigerante, un mal apriete de los tornillos podría producir una fisura en el conducto de refrigeración, dando lugar a la pérdida del líquido refrigerante.

### **3.2.6.2 Daños en los anillos de válvula de admisión y escape.**

Estos anillos se encuentran en el cabezote ubicados en cada una de las perforaciones de las válvulas como son las de admisión y escape respectivamente, los mismos que son colocados a presión. El exceso de temperatura hace que tiendan a aflojarse y salirse de su asiento provocando daños en la cámara del pistón y en las válvulas.

### **3.2.6.3 Daño en el orificio de la varilla de empuje.**

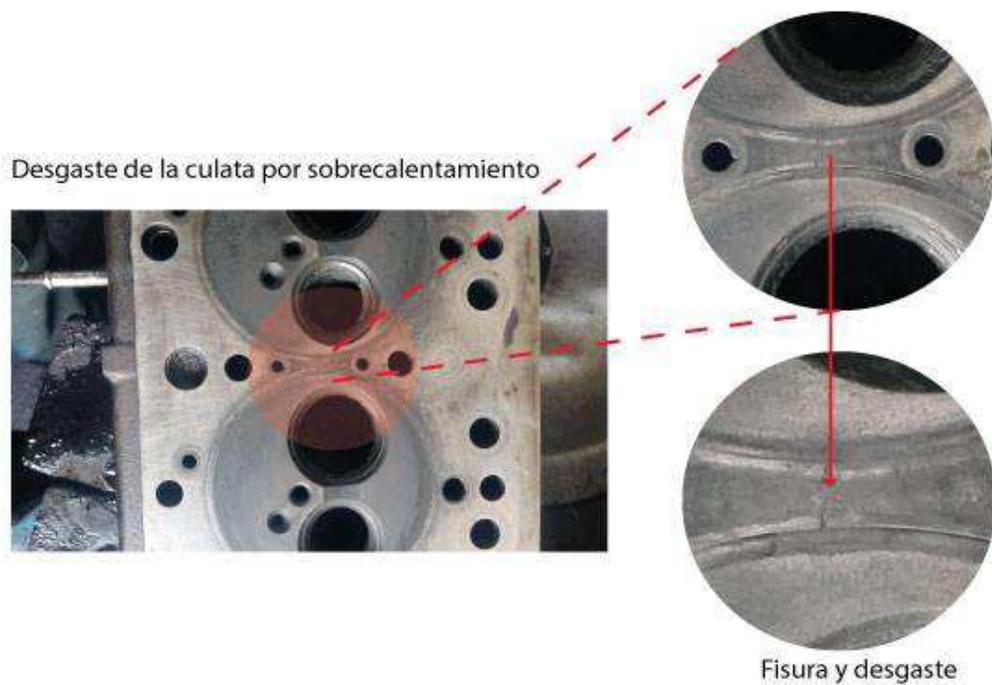
Este orificio se encuentra aislado por un buje de bronce el cual al tener una temperatura alta de trabajo tiende a deformarse permitiendo el ingreso de líquido refrigerante al sistema de lubricación.

Debido al daño producido hace que provoque la pérdida del sello hermético que realiza la junta entre el bloque y culata; como consecuencia se tiene la mezcla de lubricante con líquido refrigerante, al mezclarse estos dos líquidos tienden hacer muy perjudiciales para el motor.

### **3.2.6.4 Taponamiento de los conductos de refrigeración.**

Se debe tomar en cuenta que el hierro fundido al tener exceso de temperatura elimina partículas en el líquido refrigerante, esas partículas obstruyen los conductos de refrigeración ocasionando la pérdida de refrigeración en lugares puntuales de la culata de cilindros ocasionando el aumento excesivo de la temperatura en el motor.

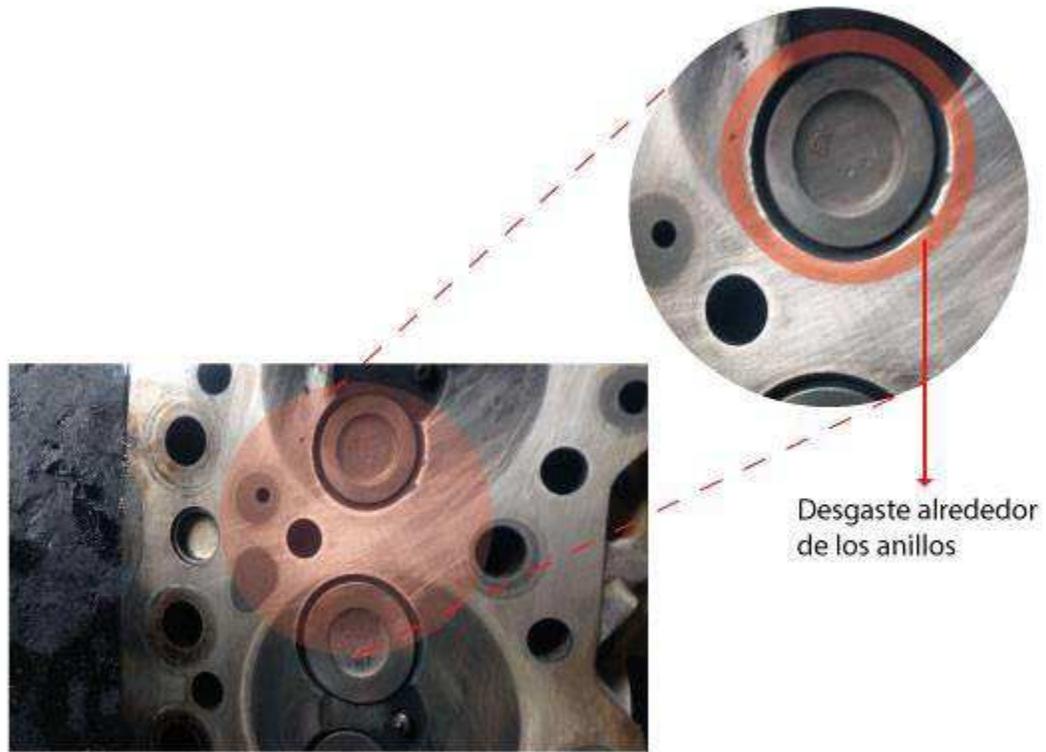
La figura 3.9 indica el desgaste y la fisura que se produce en la cara superior de la culata, es aquí donde la junta de cilindros pierde sus propiedades permitiendo el paso de la compresión hacia el sistema de refrigeración por medio de las cejas que se producen en la culata, la fisura se presenta cuando la temperatura sobrepasa los límites normales de funcionamiento.



**Figura 3.9.** Desgaste entre los anillos de la culata de un motor Hino 205

En el caso del estudio realizado a los motores Hino diésel de 6 cilindros se puede argumentar que por lo general este tipo de motores tienden a sufrir fisuras en las partes internas como muestra la figura 3.10, como puede ser en los anillos de la culata o en las camisas de los inyectores, en el motor Hino 205 se notó que sufría un desgaste entre las camisas de cilindros quinta y sexta formando una ceja en la cara de la culata dando lugar al sobrecalentamiento del motor y a la pérdida periódica del líquido refrigerante.

Esta ceja permite que la junta de cilindros se deforme permitiendo de esta manera el paso del líquido refrigerante hacia la cámara de combustión y a su vez la compresión que genera el cilindro al sistema de refrigeración teniendo de esta manera la expulsión del líquido refrigerante por el radiador; por otro lado, es posible rectificar esta avería realizándole una cepilladura en la cara de la culata, pero al realizar este proceso se produce una disminución del volumen en la cámara de combustión de motor, aumenta su compresión y por ende su temperatura.

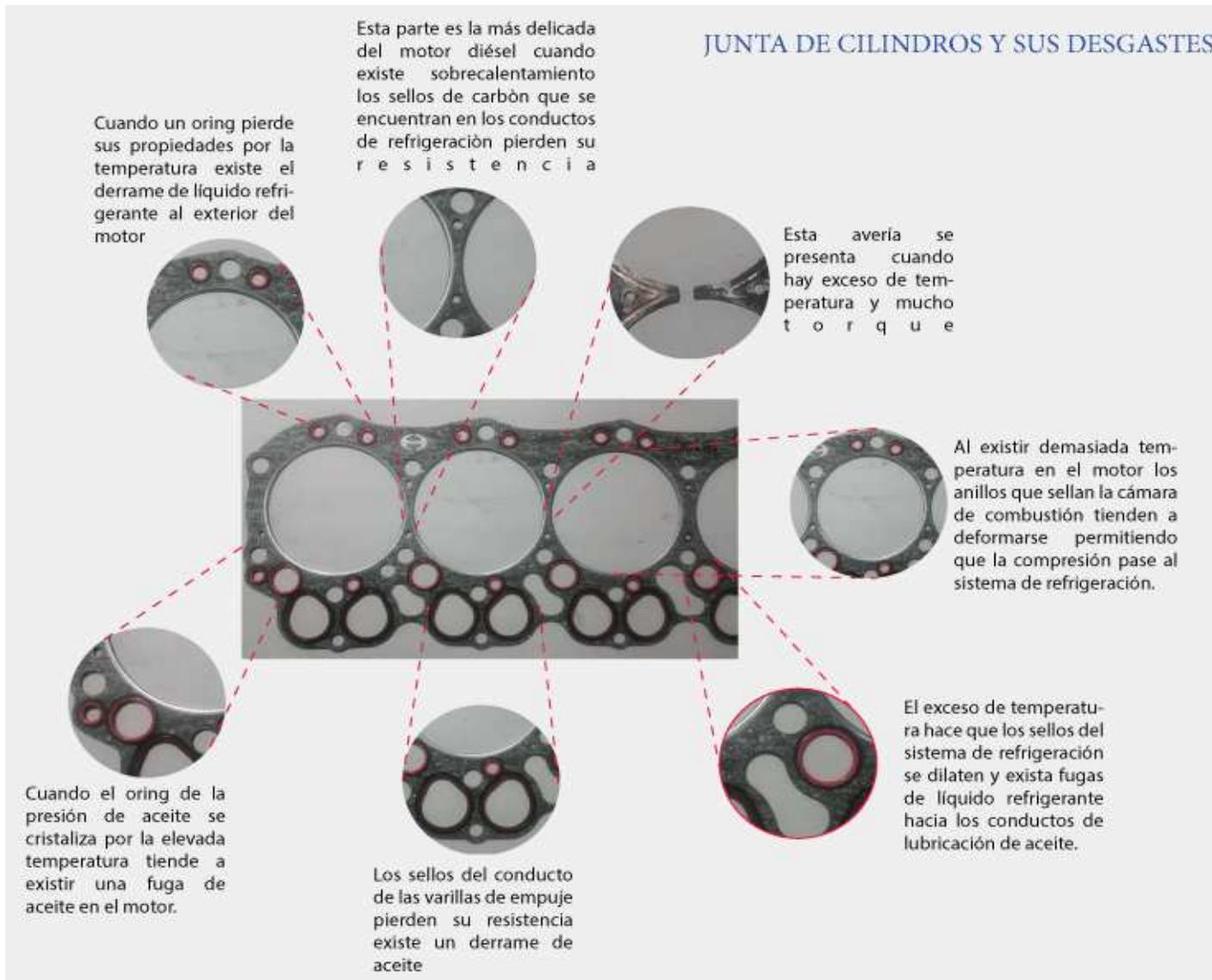


**Figura 3.10.** Desgaste de los anillos de válvulas de la culata de un motor Hino 205

### **3.2.7 Desgaste en la junta de culata**

La junta de cilindros dependiendo de la marca del vehículo está constituida de diferentes materiales, en caso del análisis del HINO se encuentra constituida de amianto con láminas de acero; al sobrepasar el límite de temperatura el material tiende a cristalizarse y romperse permitiendo de esta manera que las láminas de acero sufran una deformidad, de esta manera ocasiona la sopladura del cabezote y los daños a este.

También este tipo de juntas consta de sellos de carbón que se encuentran ubicados en los conductos del líquido refrigerante, al sobrepasar la temperatura en el motor dichos sellos pierden sus propiedades y permiten que el líquido refrigerante ingrese a la cámara de combustión. En la figura 3.11 se detalla los diferentes desgastes que se producen en la junta de culata por el exceso de temperatura.



**Figura 3.11.** Zonas donde se produce el desgaste en la junta de culata de un motor Hino 205



### 3.3 Ensamblaje del motor Hino 205

Para ejecutar el proceso de reparación del motor se ha considerado los siguientes pasos.

#### 3.3.1 Asentamiento del cigüeñal en el bloque de cilindros

##### 3.3.1.1 Lavado del bloque motor y pulida del cigüeñal

Al comenzar el trabajo práctico, se procedió principalmente a la limpieza externa e interna del bloque motor y cigüeñal, al mismo tiempo se efectúa la pulida a cada uno de los muñones de bancada y biela del cigüeñal con la ayuda de una lija número 320 mm, con la finalidad de desprender rebabas o abultamientos existentes en cada uno de sus codos.



**Figura 3.12.** Lavado del bloque motor y pulida cigüeñal de un motor Hino 205

El lavado consiste en tres diferentes fases:

Como primera fase se tiene la utilización de combustible ya sea gasolina o diésel, los mismos que permitirán remover todo tipo de impurezas impregnadas en las paredes y conductos de las distintas piezas que se van a lavar. La segunda fase consiste en darles un lavado total empleando agua a presión observando que no quede ningún tipo de impurezas incrustadas en las piezas.

La tercera fase consiste en el empleo de aire comprimido, con la finalidad de remover impurezas dentro de los conductos de aceite del bloque motor y cigüeñal, de esta manera se asegura que el bloque y el cigüeñal estén completamente libres de impurezas.

### **3.3.1.2 Comprobación de rayaduras en los cojinetes**

Posteriormente se continúa con la comprobación de rayones en los cojinetes de bancada como de biela, esto se logra por medio de un producto químico denominado “azul mecánico”, el cual se coloca en todos los muñones de bancada y codos del cigüeñal, con el objetivo de observar marcas o raspones en los cojinetes, considerando que deben estar previamente montados dichos cojinetes en sus respectivas bancadas tanto del bloque motor y sus tapas.



**Figura 3.13.** Comprobación de rayaduras en los cojinetes de bancada

### **3.3.1.3 Comprobación del ajuste de la película de aceite**

Esta acción se realiza con ayuda de un hilo plástico llamado “plastigage” (color rojo), el cual se coloca de forma horizontal en los muñones de bancada del cigüeñal, este procedimiento se realiza con la finalidad de observar el apriete adecuado en dichos elementos.

De esta forma se procede a colocar cada una de las bancadas numeradas respetando su orden de montaje con sus respectivos cojinetes previamente montados en las piezas; por otro lado, hay que tener en cuenta que al momento de

llegar al montaje de la bancada número 4 se debe colocar las medias lunas, las mismas que conforman el conjunto de cojinetes del cigüeñal.

Se debe tener en cuenta que el ajuste de cada uno de los pernos de las bancadas es de 110 lb/pie. Una vez ajustadas todas las bancadas del cigüeñal, el siguiente paso consiste en desmontar nuevamente cada una de ellas con la finalidad observar y medir el ajuste de la película de aceite en cada uno de los muñones de bancada, siendo este el mismo para todos, esta acción se realiza con ayuda del plastigage donde viene marcados los distintos ajustes, en nuestro caso el ajuste adecuado que debe mostrar es de 0.003 in o de 0.076 mm aproximadamente.

De la misma manera siguiendo el mismo procedimiento se procede a la medición del ajuste de la película de aceite en los codos de biela, el ajuste para los pernos de las bielas es de 80 lb/pie, mientras que el ajuste de la película de aceite debe marcar 0.003 in o 0.076 mm aproximadamente.



**Figura 3.14.** Comprobación del ajuste de la película de aceite en los muñones de bancada

#### **3.3.1.4 Colocación de los bujes del árbol de levas en el bloque motor**

Para la ejecución del cambio de bujes del árbol de levas se debe considerar que el orificio de lubricación tanto del buje como del bloque motor donde se van a alojar los mismos deben estar perfectamente alineados. Para conseguir dicha acción se debe emplear un kit de herramientas adecuadas las cuales proporcionan diferentes

diámetros de cabezas de acuerdo con el buje que se vaya a montar, una vez seleccionada dicha cabeza se procede a colocar el primer buje de la parte delantera del motor, seguidamente realizando la misma operación para el resto de los bujes. Una vez terminada esta labor se debe comprobar que el árbol de levas pueda girar libremente sobre los bujes montados en el bloque motor.



**Figura 3.15.** Colocación de bujes del árbol de levas en el motor Hino 205

### **3.3.2 Montaje del cigüeñal**

Principalmente, se debe asegurar que el bloque este completamente libre de impurezas utilizando aire comprimido, posteriormente se colocan cada uno de los cojinetes de la parte inferior del bloque, una vez montados, se realiza una pequeña aplicación de lubricante (SAE 15W-40) sobre dichos cojinetes, con la finalidad de un fácil asentamiento del cigüeñal.

De la misma manera se procede a colocar dicho lubricante en los cojinetes de la parte superior del cigüeñal para proceder a la colocación de cada una de las bancadas, para este procedimiento se debe observar la numeración de las mismas, de este modo se coloca teniendo una secuencia numérica, empezando de la parte frontal del bloque motor.



**Figura 3.16.** Montaje del cigüeñal en bloque motor de un motor Hino 205

Una vez que todas las bancadas estén colocadas en su lugar se procede al ajuste de todos los pernos con un torque adecuado mediante la utilización de un torquímetro el cual se ajusta en la posición de 110 lb/pie, las mismas que serán aplicadas en cada uno de los pernos de las bancadas del cigüeñal.

### **3.3.3 Montaje de las camisas del bloque motor**

Es muy importante limpiar la zona de los cilindros del bloque ya que puede afectar a las camisas al momento de su montaje debido a sucios o impurezas que pueden estar impregnadas en las paredes de los cilindros. De esta manera se procede a introducir las camisas una a una ejerciendo una leve presión en la parte superior de las mismas, esto se realiza sin un orden determinado.



**Figura 3.17.** Montaje de las camisas del bloque motor de un Hino 205

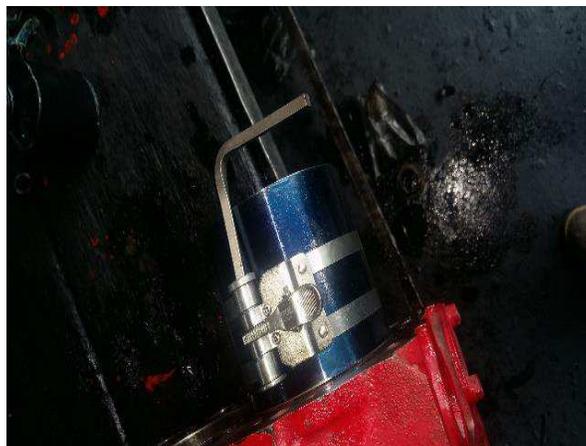
### 3.3.4 Montaje del conjunto pistón biela

En esta parte del montaje del conjunto, como primer paso se procede a introducir los debidos rines o segmentos en las ranuras del pistón, teniendo en cuenta que existen diferencias en mencionados segmentos como son: Segmentos de fuego, segmentos de compresión y segmentos de lubricación de aceite.

En la colocación de los anillos se debe verificar que las aberturas sean de  $120^\circ$  tanto del anillo de fuego como el anillo de compresión estén posicionadas opuestamente uno al otro, mientras que la abertura del anillo ondulado debe estar alineado con respecto al primer anillo, y los anillos de aceite deben formar un ángulo de  $45^\circ$  aproximadamente con respecto al segundo anillo (Sanz, 2017).

Al terminar dicha acción se procede al acople del pistón y la biela, esto se logra por medio de un pasador o bulón con sus respectivos seguros, de igual manera se montan los respectivos cojinetes, tanto en la biela como en sus tapas.

Una vez finalizado este proceso, se debe comprimir los anillos, esto se logra con la ayuda de un compresor de anillos, el cual facilita la introducción del conjunto biela pistón en el cilindro. Siguiendo el procedimiento del montaje de los pistones en los cilindros, es necesario tener en cuenta que cada una de las bielas del conjunto están numeradas de tal modo que la biela número uno corresponde al primer cilindro, tomando como referencia de la parte frontal del sistema de distribución del bloque motor.



**Figura 3.18.** Montaje del conjunto pistón biela del motor Hino 205

De igual forma los codos del cigüeñal deben estar totalmente alineados y en correcta posición, ya que la cabeza de la biela tendrá que acoplarse con cada uno de los codos del cigüeñal.

Posteriormente proceder a colocar las tapas de biela con sus respectivas tuercas, las mismas que serán ajustadas con la ayuda de un torquímetro que proporcione unas 80 lb/pie aproximadamente.

### **3.3.5 Montaje y sincronización del sistema de distribución**

Al momento de proceder armar el sistema de distribución se debe tomar en cuenta los diferentes tipos de engranajes o piñones que contiene el sistema de distribución del motor, los cuales suelen ser piñón del cigüeñal, piñón del árbol de levas, piñón loco, y piñón de la bomba de inyección los mismos que pueden estar marcados mediante señales o números dependiendo del motor, en este caso se ha considerado números impregnados en los piñones.

Una vez identificados todos los mencionados engranes del sistema de distribución, el paso a efectuar principalmente es el deslizamiento del pistón al PMS, el mismo que se aloja en el primer cilindro de la parte frontal del bloque motor, de esta forma se procede a la colocación del piñón denominado loco que lleva impreso los siguientes números 1, 2, y 3 correspondientes a cada uno de los otros piñones.

Dicho piñón debe ser montado número con número con respecto al piñón del cigüeñal el mismo que tiene impreso el número 1, de este modo se continúa con la puesta del árbol de levas con su respectivo piñón que lleva marcado el número 2, el mismo que debe encajar número con número con el piñón loco, finalmente se coloca el piñón de la bomba de inyección que tiene como referencia el número 3 encajando de igual forma con el piñón loco, quedando así totalmente alineada o puesta a punto el encendido del motor.

Posteriormente se debe encajar o acoplar la bomba de aceite en su respectivo eje del piñón, la misma que es sujeta contra el bloque motor por medio de tres pernos de 14mm.

### **3.3.6 Montaje de las carcasas del bloque motor**

Terminado el proceso de sincronización del sistema de distribución, se coloca las tapas o carcasas tanto en la parte frontal como la posterior del bloque motor. Para el montaje de la tapa delantera es necesario colocar un retén de aceite, el mismo que encaja en la salida del eje del cigüeñal, quedando de esta manera cubierto y sellado el sistema de distribución, posteriormente se coloca la tapa trasera del bloque en la cual se aloja el volante motor, el mismo que se encuentra sujetado por 8 pernos de llave 19mm con un torque de 120lb/pie aproximadamente.

### **3.3.7 Montaje del cárter**

Para la colocación del cárter y poder sellar la parte inferior del bloque motor se debe primero montar el colador o cernidor el mismo que se conecta con la bomba de aceite, dando paso a montar el cárter que lleva su pertinente empaque, quedando de este modo sellado la parte inferior del bloque motor.



**Figura 3.19.** Montaje del cárter de un motor Hino 205

### **3.3.8 Armada y montaje de la culata de cilindros**

Antes de realizar el montaje de la culata de cilindros al bloque motor, lo primero que se debe hacer es un lavado total del mismo siguiendo el mismo procedimiento de lavado mencionado anteriormente.

Es necesario verificar todas las guías de las válvulas, si al comprobarlas dichas guías se nota una holgura demasiada grande con respecto al vástago de las válvulas lo recomendable es remplazarlas. Posteriormente se alistan cada una de

las válvulas de admisión y escape, las mismas que deben contener sus respectivos muelles, pastillas, cauchos de válvulas y chavetas. Para la colocación de este conjunto es necesario la utilización de una prensa válvulas, de esta manera se procede a colocarlas una a una según el número que se les haya marcado al momento de su desmontaje, de esta manera el número uno corresponde a las válvulas de la parte frontal de la culata de cilindros tomando como referencia el alojamiento de la toma de agua.



**Figura 3.20.** Armada y montaje de la culata de cilindros

Para el montaje de la culata es necesario la utilización de una junta de culata, la misma que se inserta entre en bloque y la culata, ayudando a mantener la hermeticidad de la compresión entre ambas piezas; el ajuste de los pernos de la culata se realiza mediante el procedimiento de montaje, el cual consiste en ajustar los pernos que se alojan en la parte central siguiendo una secuencia de las manecillas del reloj para el resto de los pernos, a los cuales se debe proporcionar un torque de 120lb/pie aproximadamente.

De la misma manera se procede a la colocación de los colectores tanto de admisión como de escape y a su vez se montan la toma de agua, dichas piezas se deben colocar con sus respectivas juntas.

### 3.3.9 Montaje del tren de balancines e inyectores

Principalmente se realiza un lavado externo del conjunto de balancines antes de ser colocado en su respectivo lugar, de este modo se procedió a la colocación de sus 12 varillas sobre los propulsores previamente montados en el interior de bloque motor. Dicho tren de balancines es sujetado sobre la culata de cilindros, de modo que los balancines se conecten de manera directa contra las pastillas de las válvulas que son colocadas en parte superior del vástago.

El tren de balancines cuenta con 12 pernos de llave número 17mm, 6 de los cuales sobrepasan hacia el bloque motor con un torque de 120lb/pie, mientras que los otros 6, ajustan contra la culata de cilindros con un torque de 80lb/pie aproximadamente.

Realizado este proceso de ajuste del tren de balancines el paso siguiente que se realizó es la calibración de las válvulas con la ayuda de un calibrador de láminas, es necesario saber que las medidas de calibración son distintas para las válvulas de admisión como de escape, de igual forma se debe tomar en cuenta el orden de encendido del motor para realizar dicha acción.

Como primer paso es hacer girar el cigüeñal con el propósito de poder observar el



**Figura 3.21.** Montaje del tren de balancines e inyectores a un motor Hino 205 cruce de válvulas correspondientes al primer cilindro, de este modo las válvulas a

calibrar serán las del cilindro número 6 en donde la válvula de admisión será calibrada con la lámina de número 30mm, mientras que la válvula de escape será calibrada con la lámina de número 45mm.

Siguiendo de esta manera una sucesión para el resto de las válvulas, de acuerdo con el orden de encendido del motor, para posteriormente colocar la tapa válvulas con su empaque correspondiente.

### **3.3.10 Montaje de las cañerías de la bomba de inyección**

Continuando con la reparación del motor se procede a la colocación de las cañerías de la bomba de inyección a los inyectores anticipadamente montados sobre el cabezote en donde se conserva una secuencia ascendente, es decir de adelante hacia atrás del motor.

### **3.3.11 Montaje del turbo compresor**

En el montaje del turbo es recomendable realizarlo de manera cuidadosa debido a que pueden ingresar partículas o impurezas al interior de sus carcasas, de esta manera se procede a ensamblar dicho turbo con su respectivo empaque metálico sobre la base situada encima del colector de escape, mientras que la otra salida será acoplada al tubo de escape de igual forma con su empaque.

Para la conexión de la entrada de aire con respecto a la sección compresor del turbo, se debe conectar las dos entradas de aire, una de ellas se acopla directamente con una toma de aire la cual cuenta con un filtro de aire, mientras que la otra entrada será conectada directamente al colector de admisión.

Todas aquellas conexiones que se realiza entre las salidas del turbo y sus respectivas partes de acoples se las realiza con la ayuda de mangueras las mismas que son ajustadas con la ayuda de abrazaderas.

### 3.4 Determinación de la dilatación superficial y volumétrica de la culata

#### 3.4.1 Cálculo de áreas y volúmenes existentes en la superficie de la culata

Según el Manual de fórmulas técnicas de Kurt Gieck, enuncia las siguientes fórmulas para el cálculo de superficies.

##### Formulas:

- **Área de un círculo:**

$$\text{Área} = \pi \times r^2 = \pi \times \frac{D^2}{4} \quad [3.1]$$

- **Área de un triángulo:**

$$\text{Área} = b \times h \quad [3.2]$$

- **Volumen de un cilindro:**

$$\text{Volumen} = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h \quad [3.3]$$

- **Volumen de un rectángulo:**

$$\text{Volumen} = a \times b \times c \quad [3.4]$$

##### 3.4.1.1 Cálculo de áreas

- **Cálculo de áreas en las perforaciones de la válvula de admisión:**

$$\text{Área} = \pi \times r^2$$

$$\text{Área} = \pi \times (19,605)^2$$

$$\text{Área} = 1207,49 \text{ mm}^2$$

El valor resultante se debe multiplicar por 6 debido al número de perforaciones de las válvulas de admisión existentes en la culata:

$$\text{Área} = 1207,49 \times 6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = 7244,94 \text{ mm}^2$$

- **Cálculo de áreas en las perforaciones de la válvula de escape:**

$$\text{Área} = \pi \times r^2$$

$$\text{Área} = \pi \times (17,995)^2$$

$$\text{Área} = \mathbf{1017,31 \text{ mm}^2}$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 6 debido al número de perforaciones de las válvulas de escape existentes en la culata:

$$\text{Área} = 1017,31 \times 6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = \mathbf{6103,86 \text{ mm}^2}$$

- **Cálculo de áreas en las perforaciones de la tobera de admisión:**

$$\text{Área} = b \times h$$

$$\text{Área} = 41,04 \times 56,41$$

$$\text{Área} = \mathbf{2315,06 \text{ mm}^2}$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 6 debido al número de perforaciones de las toberas de admisión existentes en la culata:

$$\text{Área} = 2315,06 \times 6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = \mathbf{13890,36 \text{ mm}^2}$$

- **Cálculo de áreas en las perforaciones de la tobera de escape:**

$$\text{Área} = \pi \times r^2$$

$$\text{Área} = \pi \times (19,605)^2$$

$$\text{Área} = \mathbf{1207,49 \text{ mm}^2}$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 6 debido al número de perforaciones de las toberas de escape existentes en la culata:

$$\text{Área} = 1207,49 \times 6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = 7244,94 \text{ mm}^2$$

- **Cálculo de áreas en las perforaciones de los inyectores:**

$$\text{Área} = \pi \times r^2$$

$$\text{Área} = \pi \times (1,5)^2$$

$$\text{Área} = 7,06 \text{ mm}^2$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 6 debido al número de perforaciones de los inyectores existentes en la culata:

$$\text{Área} = 7,06 \times 6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área Total} = 42,41 \text{ mm}^2$$

- **Cálculo de áreas en las perforaciones de las bujías:**

$$\text{Área} = \pi \times r^2$$

$$\text{Área} = \pi \times (1)^2$$

$$\text{Área} = 3,14 \text{ mm}^2$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 6 debido al número de perforaciones de las bujías existentes en la culata:

$$\text{Área} = 3,14 \times 6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = 18,84 \text{ mm}^2$$

- **Cálculo de áreas en las perforaciones de los taqués:**

$$\text{Área} = \pi \times r^2$$

$$\text{Área} = \pi \times (6,5)^2$$

$$\text{Área} = 132,73 \text{ mm}^2$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 12 debido al número de perforaciones de los taqués existentes en la culata:

$$\text{Área} = 3,14 \times 12 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = 1592,78 \text{ mm}^2$$

- **Cálculo de áreas en las perforaciones del líquido refrigerante:**

$$\text{Área} = \pi \times r^2$$

$$\text{Área} = \pi \times (2,5)^2$$

$$\text{Área} = 19,63 \text{ mm}^2$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 6 debido al número de perforaciones del líquido refrigerante existentes en la culata:

$$\text{Área} = 19,63 \times 6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = 117,80 \text{ mm}^2$$

- **Cálculo de áreas en las perforaciones del líquido refrigerante:**

$$\text{Área} = \pi \times r^2$$

$$\text{Área} = \pi \times (1)^2$$

$$\text{Área} = 3,14 \text{ mm}^2$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 24 debido al número de perforaciones del líquido refrigerante existentes en la culata:

$$\text{Área} = 3,14 \times 24 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = 75,36 \text{ mm}^2$$

- **Cálculo de áreas en las perforaciones de los pernos de sujeción:**

$$\text{Área} = \pi \times r^2$$

$$\text{Área} = \pi \times (8,5)^2$$

$$\text{Área} = 226,98 \text{ mm}^2$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 26 debido al número de perforaciones de los pernos de sujeción existentes en la culata:

$$\text{Área} = 226,98 \times 26 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = \mathbf{5901,48 \text{ mm}^2}$$

- **Cálculo de áreas en las perforaciones de los pernos de sujeción:**

$$\text{Área} = \pi \times r^2$$

$$\text{Área} = \pi \times (6)^2$$

$$\text{Área} = \mathbf{113,09 \text{ mm}^2}$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 6 debido al número de perforaciones de los pernos de sujeción existentes en la culata:

$$\text{Área} = 113,09 \times 6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = \mathbf{678,58 \text{ mm}^2}$$

### **3.4.1.2 Cálculo de volúmenes**

- **Cálculo de los volúmenes en las perforaciones de los inyectores:**

$$\text{Volumen} = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h$$

$$\text{Volumen} = \frac{\pi}{4} \times (23,97 \text{ mm})^2 \times 90 \text{ mm}$$

$$\text{Volumen} = \mathbf{40613,31 \text{ mm}^3}$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 6 debido al número de perforaciones de los inyectores existentes en la culata:

$$\text{Volumen} = 40613,31 \times 6 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen} = \mathbf{243679,90 \text{ mm}^3}$$

- **Cálculo de los volúmenes en las perforaciones de los taques:**

$$Volumen = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h$$

$$Volumen = \frac{\pi}{4} \times (13 \text{ mm})^2 \times 95 \text{ mm}$$

$$Volumen = 12609,56 \text{ mm}^3$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 12 debido al número de perforaciones de los taques existentes en la culata:

$$Volumen = 12609,56 \times 12 \text{ mm}^3$$

$$Volumen = 151314,81 \text{ mm}^3$$

- **Cálculo de los volúmenes en las perforaciones de las bujías:**

$$Volumen = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h$$

$$Volumen = \frac{\pi}{4} \times (10 \text{ mm})^2 \times 90 \text{ mm}$$

$$Volumen = 7068,58 \text{ mm}^3$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 6 debido al número de perforaciones de las bujías existentes en la culata:

$$Volumen = 7068,58 \times 6 \text{ mm}^3$$

$$Volumen = 42411,48 \text{ mm}^3$$

- **Cálculo de los volúmenes en las perforaciones de los pernos de sujeción:**

$$Volumen = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h$$

$$Volumen = \frac{\pi}{4} \times (17 \text{ mm})^2 \times 95 \text{ mm}$$

$$Volumen = 21563,10 \text{ mm}^3$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 26 debido al número de perforaciones de los pernos de sujeción existentes en la culata:

$$Volumen = 21563,10 \times 26 \text{ mm}^3$$

$$\mathbf{Volumen = 560640,77 \text{ mm}^3}$$

- **Cálculo de los volúmenes en las perforaciones de los pernos de sujeción:**

$$Volumen = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h$$

$$Volumen = \frac{\pi}{4} \times (12 \text{ mm})^2 \times 95 \text{ mm}$$

$$\mathbf{Volumen = 10744,24 \text{ mm}^3}$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 6 debido al número de perforaciones de los pernos de sujeción existentes en la culata:

$$Volumen = 10744,24 \times 26 \text{ mm}^3$$

$$\mathbf{Volumen = 64465,48 \text{ mm}^3}$$

- **Cálculo de los volúmenes en las perforaciones de los colectores de escape:**

$$Volumen = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h$$

$$Volumen = \frac{\pi}{4} \times (39,21 \text{ mm})^2 \times 47,5 \text{ mm}$$

$$\mathbf{Volumen = 57355,77 \text{ mm}^3}$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 6 debido al número de perforaciones de los colectores de escape existentes en la culata:

$$Volumen = 57355,77 \times 26 \text{ mm}^3$$

$$\mathbf{Volumen = 344134,66 \text{ mm}^3}$$

- **Cálculo de los volúmenes en las perforaciones de las guías de válvula:**

$$Volumen = \frac{\pi}{4} \times h \times (D^2 - d^2) \quad [3.5]$$

$$Volumen = \frac{\pi}{4} \times (61 \text{ mm}) \times (16 \text{ mm}^2 - 9 \text{ mm}^2)$$

$$Volumen = \frac{\pi}{4} \times (61 \text{ mm}) \times (7 \text{ mm}^2)$$

$$\mathbf{Volumen = 335,36 \text{ mm}^3}$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 12 debido al número de perforaciones de las guías de válvula existentes en la culata:

$$Volumen = 335,36 \times 12 \text{ mm}^3$$

$$\mathbf{Volumen = 4024,32 \text{ mm}^3}$$

- **Cálculo del volumen en la perforación de la toma de agua:**

$$Volumen = a \times b \times c$$

$$Volumen = 65 \text{ mm} \times 185 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$$

$$\mathbf{Volumen = 60125 \text{ mm}^3}$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 12 debido al número de perforaciones de las guías de válvula existentes en la culata:

$$Volumen = 335,36 \times 12 \text{ mm}^3$$

$$\mathbf{Volumen = 4024,32 \text{ mm}^3}$$

- **Cálculo de los volúmenes en las perforaciones en los colectores de admisión:**

$$Volumen = a \times b \times c$$

$$Volumen = 41,04 \text{ mm} \times 56,41 \text{ mm} \times 47,5 \text{ mm}$$

$$\mathbf{Volumen = 109965,65 \text{ mm}^3}$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 6 debido al número de perforaciones de los colectores de admisión existentes en la culata:

$$Volumen = 109965,65 \times 6 \text{ mm}^3$$

$$Volumen = 659793,9 \text{ mm}^3$$

### 3.4.2 Cálculo del área superficial de la culata de cilindros

Para el cálculo del área superficial, se tomó como referencia los datos obtenidos de las dimensiones de la culata. En este caso se asume q la culata es como un bloque macizo para obtener el dato resultante.

$$\text{Área} = b \times h$$

$$\text{Área} = 785 \times 215$$

$$\text{Área} = 168775 \text{ mm}^2$$

#### 3.4.2.1 Sumatoria de áreas existentes en cara inferior de la culata

Para obtener el área neta, es necesario aplicar una sumatoria en donde se incluyen todas las áreas existentes en la cara inferior de la culata, para posteriormente efectuar una diferencia o resta entre el resultado obtenido de la sumatoria y el área total.

$$\sum_{i=1}^n i = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 \dots \quad [3.6]$$

$$\begin{aligned} \sum \text{Área} = & 7244,94 + 5901,48 + 678,58 + 117,80 + 1592,78 + 18,84 + 92,41 \\ & + 6103,86 + 75,36 \end{aligned}$$

$$\sum \text{Área} = 21776,05 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = 168775 - 21776,05 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = 146998,95 \text{ mm}^2$$

### 3.4.3 Cálculo del volumen de la culata de cilindros

Para el cálculo del volumen, se tomó como referencia los datos obtenidos de las dimensiones de la culata. En este caso se asume q la culata es como un bloque macizo para obtener el dato resultante.

$$Volumen = a \times b \times c$$

$$Volumen = 785 \text{ mm} \times 215 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$$

$$Volumen = 16033625 \text{ mm}^3$$

#### 3.4.3.1 Sumatoria de volúmenes existentes en la culata

Para obtener el área neta, es necesario aplicar una sumatoria en donde se incluyen todas las áreas existentes en la cara inferior de la culata, para posteriormente efectuar una diferencia o resta entre el resultado obtenido de la sumatoria y el área total.

$$\sum_{i=1}^n i = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 \dots$$

$$\sum Volumen = 560640,77 + 243679,90 + 151314,81 + 42411,48 + 64465,48 \\ + 4024,32 + 60125 + 659793,9 + 344134,66$$

$$\sum Volumen = 2130590,32 \text{ mm}^3$$

$$Volumen = 168775 - 21776,05 \text{ mm}^2$$

$$Volumen = 13903034,68 \text{ mm}^3$$

### 3.5 Cálculo del esfuerzo térmico

Según la Mecánica de materiales de James M. Ger, enuncia las siguientes ecuaciones para el cálculo del esfuerzo térmico.

$$\Delta L = L_0 \times \alpha \times \Delta T$$

$$\Delta_s = S_0 \times \beta \times \Delta T$$

$$\Delta_v = V_0 \times \gamma \times \Delta T$$

Donde:

$\Delta L$  = Variación de la longitud.

$S_0$  = Longitud inicial.

$\alpha$  = Coeficiente de dilatación.

$\Delta T$  = Variación de la temperatura.

### 3.5.1 Cálculo del esfuerzo térmico en dilatación superficial de la culata

Para el cálculo del esfuerzo térmico superficial, se tomó como referencia el dato obtenido del área neta de la culata que es 146998,95 mm<sup>2</sup>. De igual manera las temperaturas óptimas de funcionamiento que pueden alcanzar este tipo de motores son de 700°C a 1250°C, con un coeficiente de dilatación térmica para el hierro fundido de: 11,7×10<sup>-6</sup>°C<sup>-1</sup> (Cruz, 2014). Por otra parte, se debe tener en cuenta que para el cálculo en dilatación superficial  $\beta$  es igual a 2  $\alpha$ .

$$\Delta_s = S_0 \times \beta \times \Delta T \Rightarrow \Delta_s = S_0 \times 2\alpha \times \Delta T$$

- **Cálculo del esfuerzo térmico de 20°C – 700°C**

$$\Delta_s = S_0 \times 2\alpha \times \Delta T$$

$$\Delta_s = 146998,95 \times 2(11,7 \times 10^{-6}C^{-1}) \times (700C - 20C)$$

$$\Delta_s = 146998,95 \times 2,34 \times 10^{-5}C^{-1} \times 680C)$$

$$\Delta_s = 2339,04 \text{ mm}^2 \Rightarrow \Delta_s = 1,59 \%$$

- **Cálculo del esfuerzo térmico de 20°C – 900°C**

$$\Delta_s = S_0 \times 2\alpha \times \Delta T$$

$$\Delta_s = 146998,95 \times 2(11,7 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}) \times (900^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$\Delta_s = 146998,95 \times 2,34 \times 10^{-5} \text{C}^{-1} \times 880^\circ\text{C}$$

$$\Delta_s = 3027,00 \text{ mm}^2 \Rightarrow \Delta_s = 2,05 \%$$

- **Cálculo del esfuerzo térmico de 700°C – 900°C**

$$\Delta_s = S_0 \times 2\alpha \times \Delta_T$$

$$\Delta_s = 146998,95 \times 2(11,7 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}) \times (900^\circ\text{C} - 700^\circ\text{C})$$

$$\Delta_s = 146998,95 \times 2,34 \times 10^{-5} \text{C}^{-1} \times 200^\circ\text{C}$$

$$\Delta_s = 687,95 \text{ mm}^2 \Rightarrow \Delta_s = 0,46 \%$$

- **Cálculo del esfuerzo térmico de 700°C – 1250°C**

$$\Delta_s = S_0 \times 2\alpha \times \Delta_T$$

$$\Delta_s = 146998,95 \times 2(11,7 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}) \times (1250^\circ\text{C} - 700^\circ\text{C})$$

$$\Delta_s = 146998,95 \times 2,34 \times 10^{-5} \text{C}^{-1} \times 550^\circ\text{C}$$

$$\Delta_s = 1891,87 \text{ mm}^2 \Rightarrow \Delta_s = 1,28 \%$$

### 3.5.2 Cálculo del esfuerzo térmico en dilatación volumétrica de la culata

Para el cálculo del esfuerzo térmico volumétrico, se tomó como referencia el dato obtenido del área neta de la culata que es 13903034,68 mm<sup>3</sup>. De igual manera las temperaturas óptimas de funcionamiento que pueden alcanzar este tipo de motores son de 700°C a 1250°C, con un coeficiente de dilatación térmica para el hierro fundido de: 11,7×10<sup>-6</sup>°C<sup>-1</sup> (Cruz, 2014). Por otra parte, se debe tener en cuenta que para el cálculo en dilatación volumétrica  $\gamma$  es igual a 3  $\alpha$ .

$$\Delta_v = V_0 \times \gamma \times \Delta_T \Rightarrow \Delta_v = V_0 \times 3\alpha \times \Delta_T$$

- **Cálculo del esfuerzo térmico de 20°C – 700°C**

$$\Delta_v = V_0 \times 3\alpha \times \Delta_T$$

$$\Delta_v = 13903034,68 \times 3(11,7 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}) \times (700^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$\Delta_v = 13903034,68 \times 3,51 \times 10^{-5} \text{C}^{-1} \times 680^\circ\text{C}$$

$$\Delta_v = \mathbf{331837,63 \text{ mm}^3} \Rightarrow \Delta_v = \mathbf{2,38 \%}$$

- **Cálculo del esfuerzo térmico de 20°C – 900°C**

$$\Delta_v = V_0 \times 3\alpha \times \Delta_T$$

$$\Delta_v = 13903034,68 \times 3(11,7 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}) \times (900^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$\Delta_v = 13903034,68 \times 3,51 \times 10^{-5} \text{C}^{-1} \times 880^\circ\text{C}$$

$$\Delta_v = \mathbf{429436,91 \text{ mm}^3} \Rightarrow \Delta_v = \mathbf{3,08 \%}$$

- **Cálculo del esfuerzo térmico de 700°C – 900°C**

$$\Delta_v = V_0 \times 3\alpha \times \Delta_T$$

$$\Delta_v = 13903034,68 \times 3(11,7 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}) \times (900^\circ\text{C} - 700^\circ\text{C})$$

$$\Delta_v = 13903034,68 \times 3,51 \times 10^{-5} \text{C}^{-1} \times 200^\circ\text{C}$$

$$\Delta_v = \mathbf{97599,30 \text{ mm}^3} \Rightarrow \Delta_v = \mathbf{0,70 \%}$$

- **Cálculo del esfuerzo térmico de 700°C – 1250°C**

$$\Delta_v = V_0 \times 3\alpha \times \Delta_T$$

$$\Delta_v = 13903034,68 \times 3(11,7 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}) \times (1250^\circ\text{C} - 700^\circ\text{C})$$

$$\Delta_v = 13903034,68 \times 3,51 \times 10^{-5} \text{C}^{-1} \times 550^\circ\text{C}$$

$$\Delta_v = \mathbf{268398,08 \text{ mm}^3} \Rightarrow \Delta_v = \mathbf{1,93 \%}$$

### 3.5.3 Cálculo del esfuerzo térmico en dilatación superficial de la junta de culata

Para el cálculo del esfuerzo térmico superficial, se tomó como referencia el dato obtenido del área neta de la junta de la culata que es 86826,46 mm<sup>2</sup>. De igual manera las temperaturas óptimas de funcionamiento que pueden alcanzar este tipo de motores son de 700°C a 900°C, con un coeficiente de dilatación térmica para el latón de: 18,8×10<sup>-6</sup> °C<sup>-1</sup> (Meinel, 1982).

#### 3.5.3.1 Cálculo del área superficial de la junta de culata

Para el cálculo del área superficial, se tomó como referencia los datos obtenidos de las dimensiones de la junta de culata. En este caso se asume que la junta de culata es como un cuerpo macizo para obtener el dato resultante.

$$\text{Área} = b \times h$$

$$\text{Área} = 785 \times 215$$

$$\text{Área} = 168775 \text{ mm}^2$$

- **Cálculo de áreas en las perforaciones de los cilindros:**

$$\text{Área} = \pi \times r^2$$

$$\text{Área} = \pi \times (56,5)^2$$

$$\text{Área} = 10028,74 \text{ mm}^2$$

Este valor resultante se debe multiplicar por 6 debido al número de perforaciones de los cilindros existentes en la junta de culata:

$$\text{Área} = 10028,74 \times 6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = 60172,49 \text{ mm}^2$$

- **Sumatoria de áreas existentes en la junta de culata:**

Para obtener el área neta, es necesario aplicar una sumatoria en donde se incluyen todas las áreas existentes en la junta de culata, para posteriormente efectuar una diferencia o resta entre el resultado obtenido de la sumatoria y el área total.

$$\sum_{i=1}^n i = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 \dots$$

$$\sum \text{Área} = 60172,49 + 21776,05$$

$$\sum \text{Área} = 81948,54 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = 168775 - 81948,54 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área} = 86826,46 \text{ mm}^2$$

- **Cálculo del esfuerzo térmico de 700°C – 900°C**

$$\Delta_s = S_0 \times 2\alpha \times \Delta_T$$

$$\Delta_s = 146998,95 \times 2(18,8 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}) \times (900^\circ\text{C} - 700^\circ\text{C})$$

$$\Delta_s = 146998,95 \times 3,76 \times 10^{-5} \text{C}^{-1} \times 200^\circ\text{C}$$

$$\Delta_s = 1105,43 \text{ mm}^2 \Rightarrow \Delta_s = 0,75 \%$$

- **Cálculo del esfuerzo térmico de 700°C – 1250°C**

$$\Delta_s = S_0 \times 2\alpha \times \Delta_T$$

$$\Delta_s = 146998,95 \times 2(18,8 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}) \times (1250^\circ\text{C} - 700^\circ\text{C})$$

$$\Delta_s = 146998,95 \times 3,76 \times 10^{-5} \text{C}^{-1} \times 550^\circ\text{C}$$

$$\Delta_s = 3039,93 \text{ mm}^2 \Rightarrow \Delta_s = 2,06 \%$$

### 3.6 Análisis de la culata de cilindros de un motor Hino 205

#### 3.6.1 Obtención de muestras para el ensayo de tracción

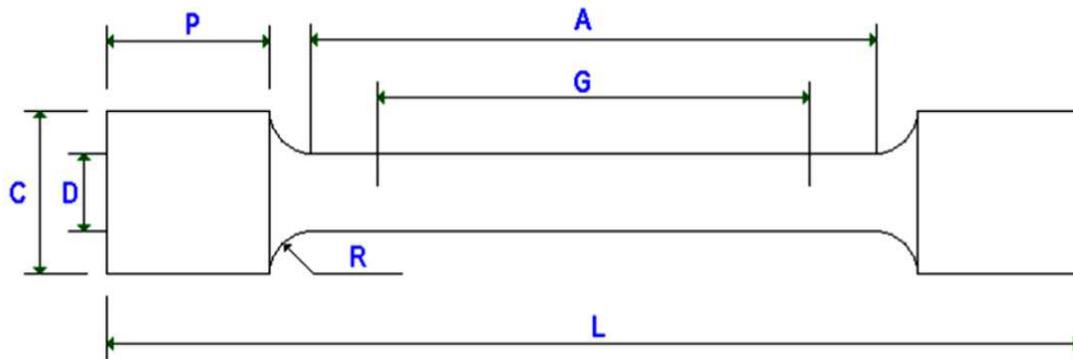
Para la obtención de las probetas se debe tomar en cuenta la norma ASTM E-8, la cual indican las dimensiones con las que deben contar las muestras a ensayar. Dichas piezas que son motivo de ensayo deben ser normadas, es decir, debe contar con todas las especificaciones internacionales de acuerdo con el modelo o diseño de la pieza que será sometida a una tensión.

Una de las normas más importantes que presiden este ensayo es la mencionada anteriormente, donde se utilizan piezas cilíndricas con una longitud de trabajo de 2 in, por otro lado, también pueden ensayarse piezas rectangulares o láminas de diferentes materiales con calibres muy delgados como el papel (Atacusí, 2013). En la figura 3.22 se presenta una probeta para ensayos de tracción con las dimensiones estandarizadas conforme a la norma ASTM E-8

**Tabla 3.1.** Dimensiones estandarizadas conforme a la norma ASTM E-8

DIMENSIONES	NORMAL	MÁS PEQUEÑAS PROPORCIONALES A LA NORMA
G = Longitud Calibrada	50 ± 0,10 mm	35 ± 0,10 mm; 25 ± 0,10 mm; 16 ± 0,10 mm; 10 ± 0,10 mm
D = Diámetro Sección Calibrada	13 ± 0,25 mm	8,8 ± 0,18 mm; 60 ± 0,10 mm; 4,0 ± 0,8 mm; 2,5 ± 0,05 mm
R = Radio zona de Transición	10 mm	6 mm; 5 mm; 4 mm; 2 mm
A = Longitud de la Sección Reducida	60 mm	45 mm; 32 mm; 19 mm; 16 mm
L = Longitud total Aproximada	125 mm	APROX. DEBE PENETRAR 2/3 O MÁS EN LA MORDAZA
P = Longitud zona de Sujeción	35 mm	
C = Diámetro zona de Sujeción	20 mm	

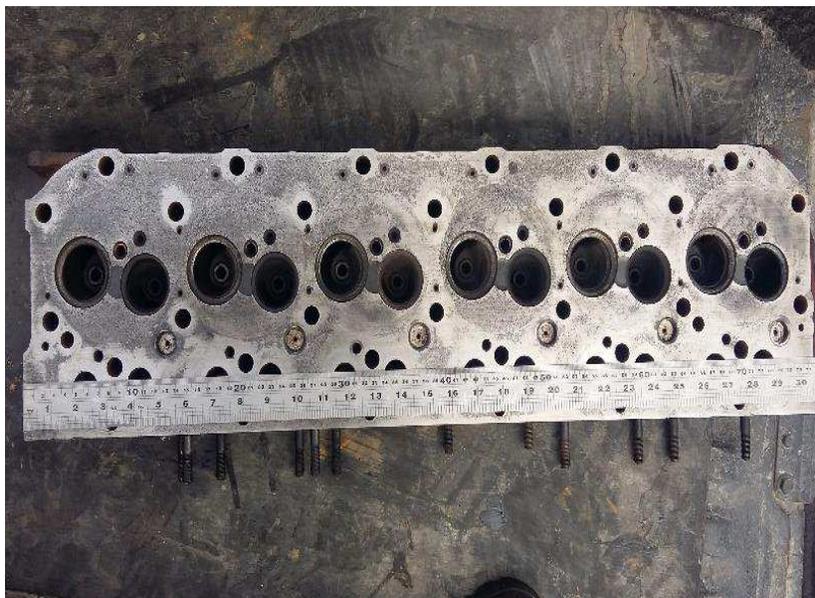
Fuente: (Atacusí, 2013)



**Figura 3.22.** Probeta para ensayos de tracción según la norma ASTM E-8  
**Fuente:** (Atacusi, 2013)

### 3.6.1.1 Mediciones tomadas de una culata de cilindros Hino 205

Para la obtención de las probetas detalladas anteriormente se aplicó un proceso de simetría a la culata de cilindros la misma que permitió definir datos reales referentes al largo, ancho, grosor, perforaciones entre otros. En la tabla número 3.2 se especifican los datos reales obtenidos de la simetría de la culata.



**Figura 3.23.** Medición de la culata de cilindros de un motor Hino 205

**Tabla 3.2.** Dimensiones de la culata de cilindros de un motor Hino 205

Largo de la Culata	785 mm
Ancho de la Culata	215 mm
Grosor de la Culata	95 mm
Diámetro de la cámara de la válvula de admisión	39,21 mm
Diámetro de la cámara de la válvula de escape	35,99 mm
Diámetro del orificio de la tobera de entrada de aire	Ancho = 41,04 mm Largo = 56,41 mm
Diámetro del orificio de la tobera de salida de los gases	39,21 mm
Diámetro externo de la guía de válvulas	16 mm
Diámetro interno de la guía de válvulas	9 mm
Largo de la guía de válvulas	61 mm
Diámetro del orificio del inyector	23,97 mm
Diámetro del anillo de admisión	42 mm
Diámetro del anillo de escape	37 mm
Diámetro exterior de la guía de válvulas	16 mm
Diámetro interno de la guía de válvulas	9 mm
Largo de la guía de válvulas	61 mm

### 3.6.1.2 Medición y corte de las muestras.

En base de la norma ASTM E-8 previamente propuesta se procedió a realizar trazos sobre la superficie plana de la culata, para posteriormente efectuar los cortes necesarios en la misma y de esta manera obtener dichas muestras mencionadas.



**Figura 3.24.** Diseño y extracción de la probeta para el ensayo de tracción

## 3.6.2 Resultados de los ensayos

### 3.6.2.1 Registro del ensayo de tracción

El ensayo de tracción es uno de los más utilizados e importantes en la medición de las propiedades mecánicas de los materiales, dentro de las cuales la de mayor importancia es la resistencia a la tracción de metales y aleaciones.

En este tipo de ensayo la probeta se deforma constantemente hasta producirse la fractura debido que el material se encuentra expuesto a una fuerza de tracción uniaxial, a lo largo de todo el eje longitudinal de la probeta. Las probetas generalmente se encuentran diseñadas por una sección transversal circular, en el caso de estudio se las diseñó de forma rectangulares, manteniendo las dimensiones planteadas por la norma ASTM E-8.

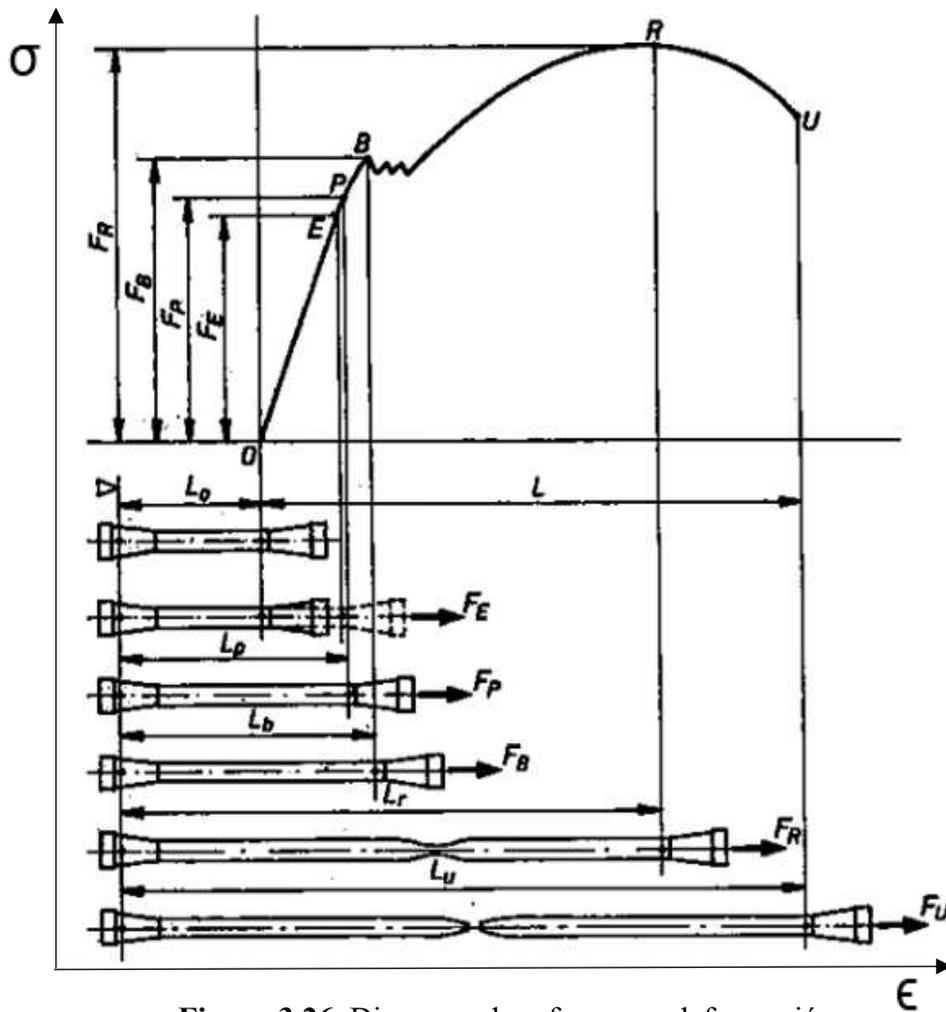


**Figura 3.25.** Muestra para el ensayo de tracción

Una vez diseñada la probeta se procedió a colocar en la máquina de ensayos, la misma que la sujeta por sus extremos con la ayuda de mordazas, las cuales ejercen una tensión a velocidad constante, permitiendo de esta forma poder medir la carga aplicada y la elongación resultante instantáneamente por dicho equipo.

Durante el proceso de tensión, principalmente la deformación se encuentra en la zona central más pequeña, la misma que cuenta con una sección transversal uniforme a lo ancho de toda su longitud. De igual forma los datos de la carga aplicada pueden presentarse como datos de tensión (tracción) los cuales pueden

ser simulados en una gráfica de deformación vs tensión como la que se muestra a continuación.



**Figura 3.26.** Diagrama de esfuerzo vs deformación  
Fuente: (Martínez, 2015)

**Donde:**

**E:** Límite de elasticidad.

**P:** Límite de proporcionalidad.

**B:** Límite aparente de elasticidad o límite de fluencia.

**R:** Límite de rotura.

**U:** Rotura efectiva.

### 3.6.2.2 Medidas de las probetas modificadas para el ensayo de tracción

En la tabla número 3.3 se indica las modificaciones que se debió realizar a las medidas de las probetas, las mismas que fueron elaboradas de acuerdo con la normativa ASTM E-8, por lo cual se optó a modificar las longitudes de las muestras manteniendo los parámetros que establece la norma, ya que el diseño y construcción de la culata de cilindros no cuenta con zonas adecuadas para la extracción de dichas muestras.

**Tabla 3.3.** Medidas de las probetas modificadas

Probeta #	Espesor menor (mm)	Ancho menor (mm)	Longitud inicial (mm)	Longitud final (mm)
T1	8,95	9,37	50	50
T2	8,86	8,88	50	50

### 3.6.2.3 Resultados obtenidos del ensayo de tracción

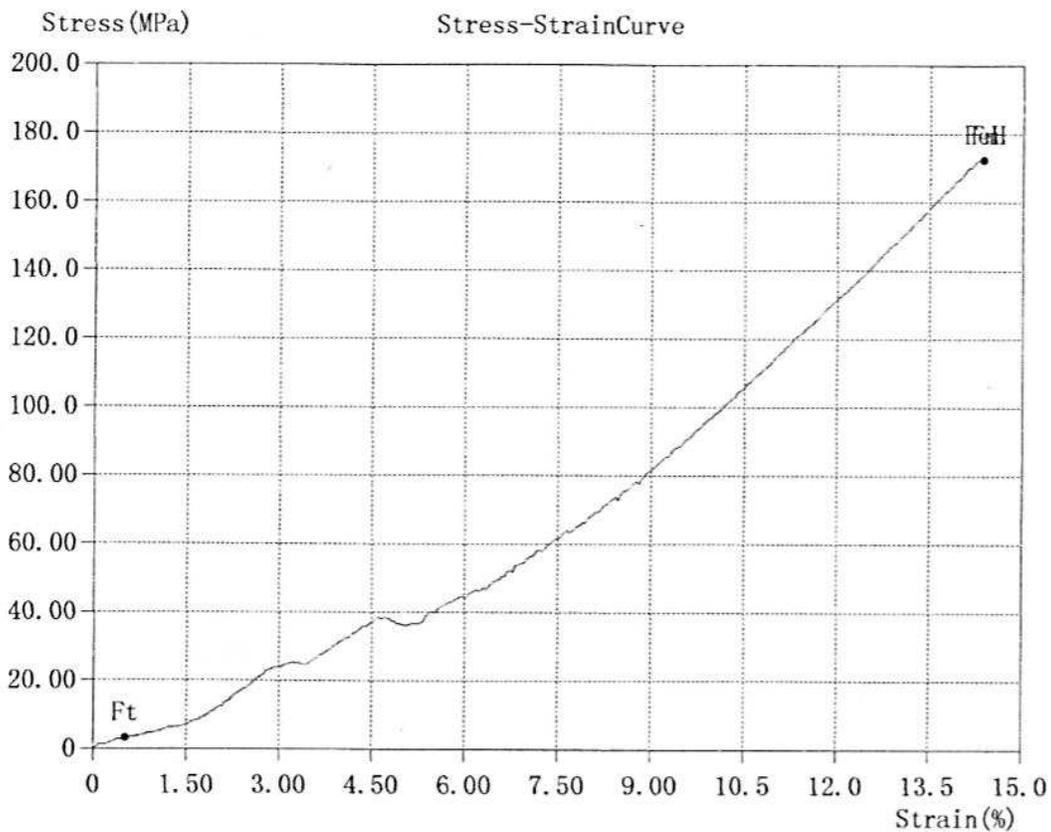
Una vez realizado el ensayo de tracción los datos y gráficos obtenidos variaron de acuerdo con las dos probetas sometidas a prueba, las cuales son impresas sobre un papel de registro como se muestra a continuación en la tabla.

**Tabla 3.4.** Medidas del ensayo de tracción.

Probeta #	Área	Carga de Fluencia	Límite de Fluencia (Sy)		Carga de Rotura	Límite de Rotura (Sut)		Elongación (50 mm)	Localización de Rotura
	mm <sup>2</sup>		KN	Ksi		MPa	KN		
T1	83,86	NA	NA	NA	14,46	25,01	172	0	NA
T2	78,68	NA	NA	NA	13,08	24,11	166	0	NA

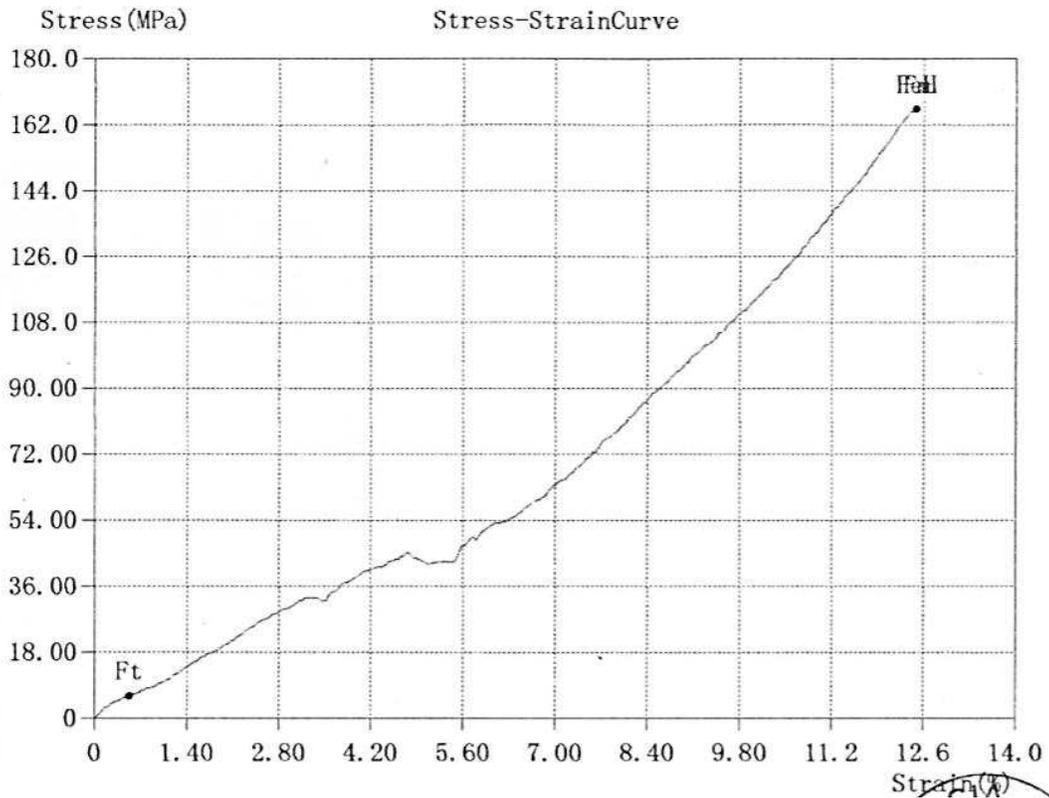
### 3.6.2.4 Gráficas registradas en el ensayo de tracción

En la figura 3.28 se puede apreciar la curva de esfuerzo que presentó la probeta T1, donde se puede notar que existe una variación de deformación con respecto a la tensión aplicada a dicha probeta. De esta manera se aplicó una carga inicial de 1KN la cual fue variando gradualmente hasta llegar a una carga de rotura de 14,46 KN y un límite alcanzado de rotura de 172 MPa respectivamente de acuerdo con la siguiente gráfica.



**Figura 3.27.** Diagrama de la probeta T1. Esfuerzo vs deformación

En la figura 3.29 se puede apreciar la curva de esfuerzo que presentó la probeta T2, donde se puede notar que existe una variación de deformación con respecto a la tensión aplicada a dicha probeta. De esta manera se aplicó una carga inicial de 1KN la cual fue variando gradualmente hasta llegar a una carga de rotura de 13,08 KN y un límite alcanzado de rotura de 166 MPa respectivamente de acuerdo con la siguiente gráfica.



**Figura 3.28.** Diagrama de la probeta T2. Esfuerzo vs deformación

### 3.6.2.5 Registro del ensayo de composición química mediante espectrometría de emisión óptica por chispa

Este tipo de ensayo de espectrometría principalmente es usado para el análisis de elementos metálicos en muestras sólidas, por ende, se realizó con la intención de analizar la composición química de un hierro fundido gris, para lo cual se optó por utilizar el tipo de espectrometría de emisión óptica por chispa siendo esta la más adecuada para el tipo de material anteriormente mencionado. Este método consiste en detectar las longitudes de onda características de cada elemento cuando sus electrones son excitados mediante una chispa.

Al realizar el ensayo correspondiente de la composición química del material y considerando los parámetros mencionados anteriormente, se determinó que está constituido por 19 elementos químicos, los mismos que se encuentran distribuidos con diferentes porcentajes que varían desde el 0,1% hasta el 93%, de acuerdo con el grado de importancia, obteniendo así un hierro fundido gris.

Los porcentajes que indica la muestra permite observar la importancia que tienen cada uno de los elementos (C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo, Ni, Cu, Al, Co, Mg, Nb, Ti, V, W, Fe, Sn, B) en la constitución de dicha fundición, cabe recalcar que al modificar un porcentaje ya sea el incremento o disminución de cualquier elemento se vería afectada de forma directa su estructura metalográfica dando como resultado otro tipo de hierro fundido.

En la tabla 3.5 se puede apreciar que los elementos presentes en la culata de cilindros de un motor Hino 205 con mayor porcentaje e importancia de un hierro fundido gris son: Fe=93,03%; C=4,158%; Si=2,017%, los mismo que permiten determinar el comportamiento del mismo al ser sometida a altas temperaturas y compresiones en su desempeño.

**Tabla 3.5.** Porcentajes de los elementos presentes en la culata de cilindros de un Hino 205

Equipo	Bruker Q2ION ENS -11
Temperatura	20 ± 3 °C
Humedad	60 ± 10 %
Elemento	Porcentaje
P	0,026
Si	2,017
Mn	0,558
C	4,158
S	0,077
Cr	0,046
Mo	0,015
Ni	0,013
Cu	0,054
Al	< 0,005
Co	< 0,005
Mg	< 0,005
Nb	< 0,005
Ti	0,0051
V	< 0,005
W	< 0,1
Fe	93,03
Sn	0
B	0

Por otra parte, el carbono es un elemento muy efectivo y eficiente como aleante, por lo que en aceros al ser enfriados lentamente tiende a formarse carburo de hierro y cementita, que con la ferrita puede formarse perlita. Mientras que al ser enfriados rápidamente el acero puede mostrar un endurecimiento superficial.

De la misma manera el silicio es un metaloide que puede disolverse en ferrita consiguiendo aumentar la resistencia del acero y sin afectar con mayor proporción a su ductilidad. Así también tiende a dar una alta solidez a las piezas fundidas, siendo un elemento esencial en los aceros fundidos.

### 3.6.2.6 Registro del ensayo de dureza

El ensayo Rockwell permitió calcular la dureza del material, la misma que se calcula midiendo la profundidad ante una penetración ocasionada por una bola de acero. Principalmente para este tipo de ensayo mecánico se cuenta con diferentes variables, como puede ser la dureza al rallado, la dureza por indentación y la dureza dinámica, por ende, la dureza resultante se expresa como una energía de impacto.

**Tabla 3.6.** Escalas de dureza Rockwell

Escala	Indentador	Carga Total	Color de escala	Aplicaciones
A	Cono diamante	60	Negro	Metales duros, superficies templadas, chapa fina (<0,4 mm)
D	Cono diamante	100	Negro	Piezas con superficies templada de dureza media, chapas
C	Cono diamante	150	Negro	Aceros templados
F	Bola de Ø 1/16"	60	Rojo	Aleaciones cobre recocido. Chapa fina metálica (>0,6mm)
B	Bola de Ø 1/16"	100	Rojo	Aceros blandos, de construcción, metales no ferrosos
G	Bola de Ø 1/16"	150	Rojo	Bronce, cobre-berilio, cobre-níquel, fundición maleable
H	Bola de Ø 1/8"	60	Rojo	Aluminio, zinc, plomo
E	Bola de Ø 1/8"	100	Rojo	Fundición, aleaciones Al-Mg, metales antifricción
K	Bola de Ø 1/8"	150	Rojo	Metales antifricción o de dureza muy baja, Ebonita (ASTM D 530-59T), madera laminada (ASTM D 805-52) materiales sintéticos (ASTM D 785-60T) otros materiales muy blandos o muy finos
L	Bola de Ø 1/4"	60	Rojo	
M	Bola de Ø 1/4"	100	Rojo	
P	Bola de Ø 1/4"	150	Rojo	
R	Bola de Ø 1/2"	60	Rojo	
S	Bola de Ø 1/2"	100	Rojo	
V	Bola de Ø 1/2"	150	Rojo	

Fuente: (ASTM E.-1. , 2017)

Para realizar dicho ensayo en cualquiera de las escalas Rockwell se debe tener en cuenta el tipo de material al cual se someterá dicho ensayo, en el caso de estudio se cuenta con un hierro fundido, por lo que se optó por elegir la escala de dureza Rockwell B, ya que fue la más apropiada para este tipo de material el mismo que es motivo de ensayo.

Se realizó el ensayo en este tipo de escala debido a que la lectura de dureza que se obtiene se muestra directamente en la pantalla del equipo utilizado, además de minimizar el margen de error que se alcanza con otras escalas.

El proceso que se debe seguir para la escala Rockwell B principalmente es colocar la muestra en el durómetro, para posteriormente seleccionar la escala y poder ajustar el durómetro en el número 100 de la carga indicada en la escala, generando de esta manera la lectura de dureza deseada directamente en la pantalla del durómetro.

Realizado el ensayo de dureza se obtuvo diferentes medidas las cuales variaron de acuerdo con las probetas sometidas a prueba, en donde se realizó cálculos para determinar tanto la dureza promedio como la desviación estándar de dichas probetas.

**Tabla 3.7.** Medidas obtenidas del ensayo de dureza

Probeta 1= 92,00 HRB
Probeta 2= 89,50 HRB
Probeta 3= 90,50 HRB
Probeta 4= 91,00 HRB
Probeta 5= 90,00 HRB
<b>Dureza promedio = 90,60 HRB</b>
<b>Desviación estándar = 0,96 HRB</b>

Esta notación indica una dureza Rockwell de 90,60 unidades en la escala B (bola de acero Ø 1/ 16", carga total de 100kg). Es importante recalcar que el valor obtenido de 90,60 HRB es un valor normal para este tipo de material.

Dónde: ***n* HR Letra**

- **N** = Es el valor de dureza obtenido.
- **HR** = Es el indicador del ensayo Rockwell.
- **Letra**= Va a continuación de **HR** y es la letra correspondiente a la escala usada.

**Cálculos:**

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X-X')^2}{N-1}} \quad [3.7]$$

$$S = \sqrt{\frac{(92,00 - 90,60)^2 + (89,50 - 90,60)^2 + (90,5 - 90,60)^2 + (91,00 - 90,60)^2 + (90,00 - 90,60)^2}{5 - 1}}$$

$$S = 0,96 \text{ HRB}$$

La desviación estándar del ensayo Rockwell B es de 0,96 HRB, lo que muestra la separación de medidas de dureza que se obtuvieron mediante pruebas realizadas.

### **3.6.2.7 Registro de resultados del ensayo metalográfico**

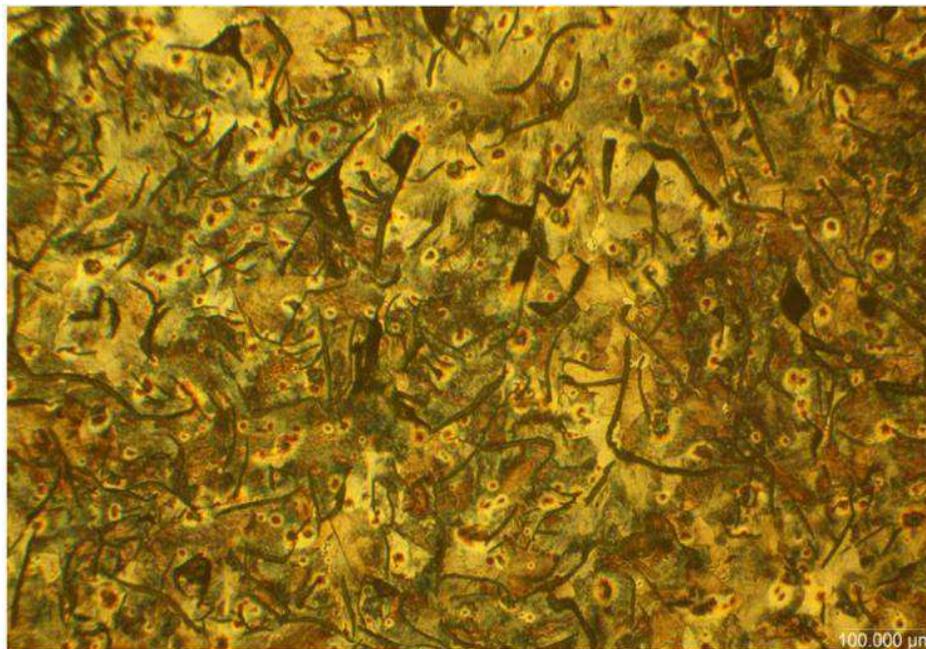
El ensayo metalográfico se realizó con el propósito de poder analizar su microestructura de las muestras de un hierro fundido gris y de esta manera visualizar microscópicamente el porcentaje de ferrita y perlita con el que cuenta dicho material.

Este tipo de ensayo micrográfico de un metal se realizó sobre una probeta pulida a espejo a la misma que se ataca con un reactivo. Cada una de las muestras metalográficas contienen una determinada velocidad de reacción de acuerdo al reactivo de ataque, por lo tanto, los componentes menos atacables son aquellos que proporcionaran más brillo y por ende irradiaran mayor cantidad de luz en el microscopio siendo más clara su visualización, por lo cual permite detectar y

determinar su tamaño, proporción, distribución entre otros; de acuerdo a su estructura metalográfica del metal.

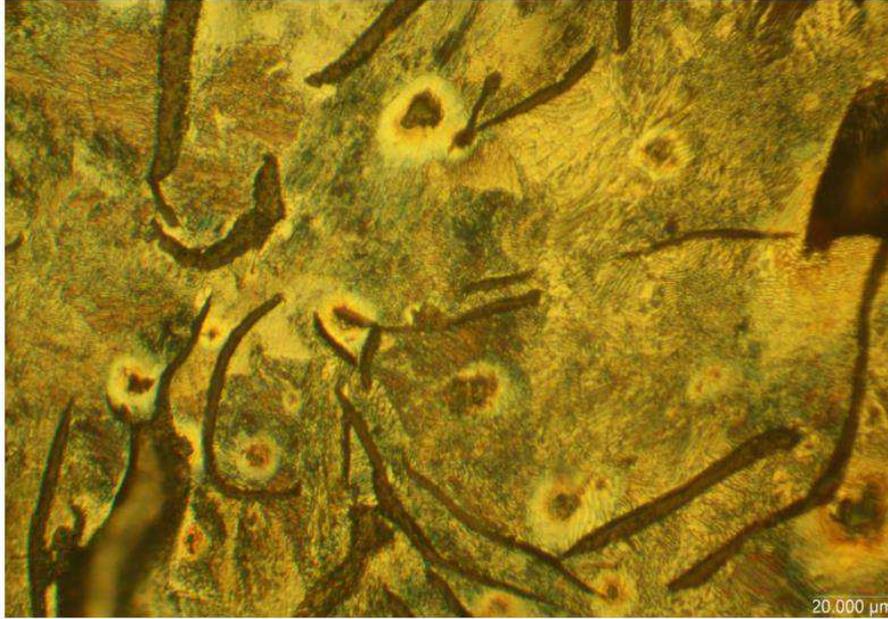
Una vez realizado el ensayo metalográfico se obtuvo tres tipos de gráficos respectivamente, debido a los aumentos (zoom) realizados por medio del microscopio, los cuales permitieron visualizar de forma clara y precisa la forma, tamaño y tipo de dicha fundición a la que pertenecía las muestras sometidas a dicho ensayo.

Como se muestra en la figura 3.29 el primer aumento que se efectuó es de 100X (zoom), el mismo que permitió reconocer el tipo de material y su forma al cual pertenece, logrando de esta manera identificar a este como un hierro fundido gris con grafito de forma VII.



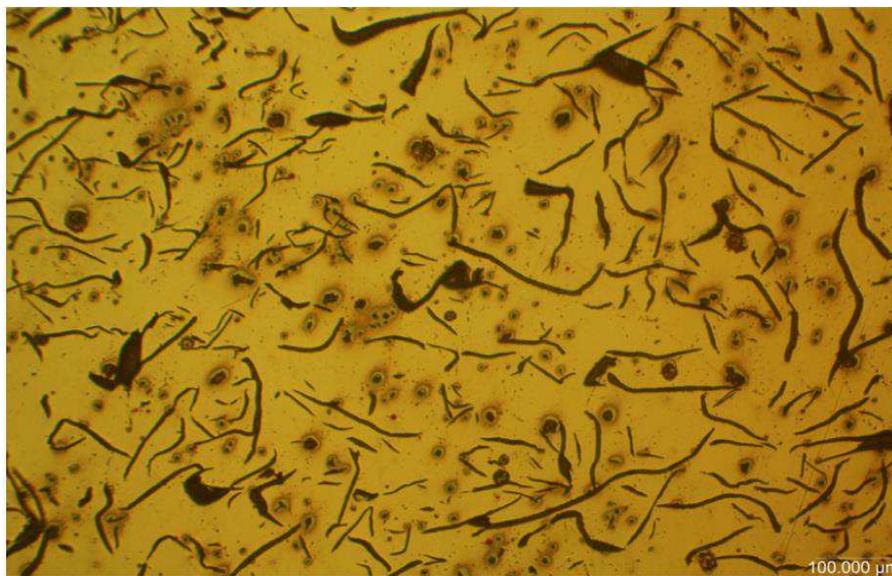
**Figura 3.29.** Visualización metalográfica del material a 100X

Como se muestra en la figura 3.30 el segundo aumento que se efectuó es de 500X (zoom), el mismo que permitió reconocer el tamaño al cual pertenece, logrando de esta manera identificar a este con un tamaño de hojuela correspondiente a un número 2.



**Figura 3.30.** Visualización metalográfica del material a 500X

Como se muestra en la figura 3.31 el tercer aumento que se efectuó es de 100X. Sin ataque (zoom), el mismo que permitió reconocer el tipo al cual pertenece, logrando de esta manera identificar a este con un tipo de hojuela correspondiente al espécimen C.



**Figura 3.31.** Visualización metalográfica del material a 100X. Sin ataque

## CAPÍTULO IV

### 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Resultados del ensayo de tracción

En la tabla 4.1 se indica las dimensiones de las probetas (T1 y T2) según la normativa ASTM E-8, con las que se debe contar al momento de aplicar el ensayo de tracción.

**Tabla 4.1.** Dimensiones de las probetas norma ASTM E-8

Probeta #	Espesor menor (mm)	Ancho menor (mm)	Longitud inicial (mm)	Longitud final (mm)
T1	8,95	9,37	50	50
T2	8,86	8,88	50	50

#### 4.1.1 Límites de rotura obtenidos del ensayo de tracción

En la tabla 4.2 se indican los resultados obtenidos del ensayo de tracción, donde se señala los diferentes parámetros, cargas y límites que puede soportar este tipo de material; donde se puede destacar que la probeta número 1 soporta una carga de 14,46 KN con un límite máximo de rotura de 172 MPa, mientras que a la probeta número 2 resistió una carga de 13,08KN con un índice de rotura máxima de 166MPa.

**Tabla 4.2.** Datos generales del ensayo de tracción

Probeta #	Área	Carga de Fluencia	Límite de Fluencia (Sy)		Carga de Rotura	Límite de Rotura (Sut)		Elongación (50 mm)	Localización de Rotura
	mm <sup>2</sup>		KN	Ksi		MPa	KN		
T1	83,86	NA	NA	NA	14,46	25,01	172	0	NA
T2	78,68	NA	NA	NA	13,08	24,11	166	0	NA

Con respecto a la normativa ASTM A-48 la misma que indica la clasificación de los distintos tipos de fundiciones grises como también los límites de dureza, tracción y su estructura molecular en condiciones mecánicas, los mismos que se indican a continuación.

**Tabla 4.3.** Clasificación del hierro gris norma ASTM A-48

ASTM A - 48 Clase	Resistencia a la tracción (MPa)	Dureza Brinell (HB)	Estructura
20	138	130 - 180	F, P
30	207	170 - 210	F, P, G
40	276	210 - 260	P, G
50	345	240 - 280	P, G
60	414	260 - 300	B, G
<b>Nota:</b> F=ferrita; P=perlita; G=grafito; B=bainita			

Fuente: (ASTM A.-4. , 2016)

De acuerdo con la normativa que se muestra en la tabla número 4.3 y los resultados ya obtenidos de los distintos ensayos realizados a las muestras, se puede argumentar que este tipo de material corresponde a un hierro fundido gris que se encuentra formado por una matriz ferrítica-perlítica, perteneciendo a la clase 20, con una resistencia a la tracción de 138 MPa, una dureza Brinell HB de 130-180 respectivamente conforme nos presenta la norma.

**Tabla 4.4.** Comparación de valores del material

ASTM A - 48		Ensayo de Tracción	
Clase	Resistencia a la Tracción (MPa)	Probeta #	Límite de Rotura (MPa)
20	138	T1	172
Estructura: F, P		T2	166

Considerando la tabla 4.4 tanto de los resultados obtenidos del ensayo de tracción como los datos establecidos en la normativa ASTM A-48, fue posible realizar un análisis comparativo en cuanto a la resistencia a la tracción soportada por el material, logrando afirmar que las muestras ensayadas (T1, T2), presentaron índices de resistencia a la tracción de 172 MPa y 166 MPa respectivamente, los

mismos valores que sobrepasan el nivel de resistencia a la tracción presente en la norma mencionada anteriormente la cual es de 138 MPa. De esta manera se puede testificar que el material empleado para la construcción de la culata de cilindros de un motor Hino 205 es adecuado para resistir altas temperaturas y elevadas presiones en condiciones de funcionamiento a las cuales se encuentra sometida dicha culata.

#### 4.2 Resultados del ensayo de composición química mediante espectrometría de emisión óptica por chispa

En la tabla 4.5 se observa los resultados de la composición química realizadas a una muestra de una culata de cilindros; considerando que los porcentajes con mayor relevancia son el **Si= 2,017%**; **C= 4,158%**, los mismos que constituyen la parte fundamental para la obtención de un hierro fundido.

**Tabla 4.5.** Porcentajes de elementos químicos de un hierro fundido gris

Equipo	Bruker Q2ION ENS -11
Temperatura	20 ± 3 °C
Humedad	60 ± 10 %
Elemento	Porcentaje
P	0,026
<b>Si</b>	<b>2,017</b>
Mn	0,558
<b>C</b>	<b>4,158</b>
S	0,077
Cr	0,046
Mo	0,015
Ni	0,013
Cu	0,054
Al	< 0,005
Co	< 0,005
Mg	< 0,005
Nb	< 0,005
Ti	0,0051
V	< 0,005
W	< 0,1
<b>Fe</b>	<b>93,03</b>
Sn	0
B	0

De acuerdo con la normativa ASTM E415-17, la cual consta de 21 elementos químicos con sus respectivos porcentajes presentes en un hierro fundido estándar como se muestran a continuación en la tabla 4.6.

**Tabla 4.6.** Porcentajes de elementos de un hierro fundido estándar

Elemento	Rango aplicable	Rango cuantitativo
Aluminio	0 a 0,093 %	0,006 a 0,093 %
Antimonio	0 a 0,027 %	0,006 a 0,027 %
Arsénico	0 a 0,1 %	0,003 a 0,1 %
Boro	0 a 0,007 %	0,0004 a 0,007 %
Calcio	0 a 0,003 %	0,002 a 0,003 %
Carbón	0 a 1,1 %	0,02 a 1,1 %
Cromo	0 a 0,08,2 %	0,007 a 8,14 %
Cobalto	0 a 0,20 %	0,006 a 0,20 %
Cobre	0 a 0,5 %	0,006 a 0,5 %
Manganeso	0 a 2,0 %	0,03 a 2,0 %
Molibdeno	0, 1,3 %	0,007 a 1,3 %
Níquel	0 a 5,0 %	0,006 a 5,0 %
Niobio	0 a 0,12 %	0,003 a 0,12 %
Nitrógeno	0 a 0,015 %	0,01 a 0,055 %
Fosforo	0 a 0,085 %	0,006 a 0,085 %
Silicio	0 a 1,54 %	0,02 a 1,54 %
Azufre	0 a 0,055 %	0,001 a 0,055 %
Estaño	0 a 0,061 %	0,005 a 0,061 %
Titanio	0 a 0,2 %	0,001 a 0,2 %
Vanadio	0 a 0,3 %	0,003 a 0,3 %
Circonio	0 a 0,05 %	0,01 a 0,05 %

Fuente: (ASTM, 2017)

En este caso es posible notar las diferencias que existen entre un hierro gris de alto contenido de carbono y silicio de una culata de cilindros y un hierro fundido estándar que presenta la normativa, donde se aprecia una variación de porcentajes en los elementos como es el **C= 1,1%**; **Si= 1,54%**, así como también existe una variación de porcentajes en el resto de los elementos presentes en la normativa.

Dentro de la normativa ASTM E415-17 y el ensayo realizado a las muestras extraídas de una culata de cilindros, fue posible realizar un análisis comparativo de los porcentajes presentes en un hierro fundido gris de una culata de cilindros vs un hierro fundido estándar presentado por la normativa, de igual manera se puede afirmar que el resto de los elementos contenidos en una fundición destacan valores que se encuentran por encima del 0% los cuales no alteran en gran magnitud su estructura molecular en la fundición, como se puede apreciar en la tabla 4.7.

**Tabla 4.7.** Comparación de valores del material

ASTM E 415-17			Ensayo de composición química	
Elemento	Rango aplicable	Rango cuantitativo	Elemento	Porcentaje
Aluminio	0 a 0,093 %	0,006 a 0,093 %	P	0,026
Antimonio	0 a 0,027 %	0,006 a 0,027 %	Si	2,017
Arsénico	0 a 0,1 %	0,003 a 0,1 %	Mn	0,558
Boro	0 a 0,007 %	0,0004 a 0,007 %	C	4,158
Calcio	0 a 0,003 %	0,002 a 0,003 %	S	0,077
Carbón	0 a 1,1 %	0,02 a 1,1 %	Cr	0,046
Cromo	0 a 08,2 %	0,007 a 8,14 %	Mo	0,015
Cobalto	0 a 0,20 %	0,006 a 0,20 %	Ni	0,013
Cobre	0 a 0,5 %	0,006 a 0,5 %	Cu	0,054
Manganeso	0 a 2,0 %	0,03 a 2,0 %	Al	< 0,005
Molibdeno	0, 1,3 %	0,007 a 1,3 %	Co	< 0,005
Níquel	0 a 5,0 %	0,006 a 5,0 %	Mg	< 0,005
Niobio	0 a 0,12 %	0,003 a 0,12 %	Nb	< 0,005
Nitrógeno	0 a 0,015 %	0,01 a 0,055 %	Ti	0,0051
Fosforo	0 a 0,085 %	0,006 a 0,085 %	V	< 0,005
Silicio	0 a 1,54 %	0,02 a 1,54 %	W	< 0,1
Azufre	0 a 0,055 %	0,001 a 0,055 %	Fe	93,03
Estaño	0 a 0,061 %	0,005 a 0,061 %	Sn	0
Titanio	0 a 0,2 %	0,001 a 0,2 %	B	0
Vanadio	0 a 0,3 %	0,003 a 0,3 %		
Circonio	0 a 0,05 %	0,01 a 0,05 %		

Por otro lado, se afirma que los elementos de mayor porcentaje e importancia son el carbono y el silicio los mismos que permiten dar una mayor fluidez al hierro fundido obteniendo así una mejor compactación en los espacios pequeños presentes en el diseño de la culata.

Es importante recalcar que es un material el cual no es soldable en caso de procesos de soldabilidad debido a su composición química, los cuales no admiten ningún tipo de soldadura.

### 4.3 Resultados del ensayo de dureza

En la tabla 4.8 según la normativa de la escala de dureza Rockwell (ASTM E 18-03), se señala el material, equipo y las condiciones que se debe tener en cuenta al momento de aplicar un ensayo de dureza.

**Tabla 4.8.** Datos generales del ensayo de dureza

<b>Elemento medido</b>	Cabezote
<b>Temperatura</b>	21 ± 3 °C
<b>Humedad</b>	60 ± 10 %
<b>Escala de dureza</b>	Rockwell B
<b>Equipo</b>	Durómetro ENS-01Banco
<b>Tipo de penetrador</b>	Bola de acero Ø 1/16" (1,5857 mm)
<b>Carga inicial</b>	10 kg
<b>Carga total</b>	100 kg

Considerando lo que menciona dicha normativa, se optó en emplear la escala de dureza Rockwell B, debido a que el material a ensayar presentaba características adecuadas para este tipo de escala, en donde la punta del penetrador está formada por una bola de acero de 1/16 de pulgada (1,5857mm) y una dureza mínima de 850 HV, a la cual se aplica una carga inicial de 10kg hasta llegar a una carga final o total de 100kg.

En la tabla 4.9 se indican los resultados obtenidos del ensayo de dureza, donde se señala las cinco medidas diferentes obtenidas respectivamente, así como también la medida promedio y la desviación estándar de los valores obtenidos de las muestras ensayadas.

**Tabla 4.9.** Medidas del ensayo de dureza Rockwell B

Probeta 1= 92,00 HRB
Probeta 2= 89,50 HRB
Probeta 3= 90,50 HRB
Probeta 4= 91,00 HRB
Probeta 5= 90,00 HRB
<b>Dureza promedio = 90,60 HRB</b>
<b>Desviación estándar = 0,96 HRB</b>

De acuerdo con la norma ASTM A-48, la misma que indica un rango mínimo y máximo de dureza propuesta en la escala de Brinell HB de 130-180 HB, para un hierro fundido gris, el mismo que pertenece a una clase 20 con una microestructura formada de ferrítica-perlítica, como se indica en la tabla 4.10 a continuación.

**Tabla 4.10.** Clasificación de las fundiciones grises norma ASTM A-48

<b>Resistencia a la tracción (MPa)</b>	<b>Dureza Brinell (HB)</b>	<b>Estructura</b>
138	130 - 180	F, P
207	170 - 210	F, P, G
276	210 - 260	P, G
345	240 - 280	P, G
414	260 - 300	B, G

**Fuente:** (ASTM A.-4. , 2016)

En la tabla 4.10 se muestra el intervalo de medidas de dureza tanto para la escala Rockwell B como para la escala Brinell HB de acuerdo a la norma ASTM A-48 para hierros grises de clase 20. De esta manera fue posible realizar un análisis comparativo entre las dos escalas, en donde la escala de dureza Rockwell B contiene un intervalo de medidas de dureza que varían entre 72-89 HBR respectivamente, mientras que en la escala de dureza Brinell HB indica un intervalo que varía entre 130-180 respectivamente.

De esta manera se pudo aseverar que el rango de dureza obtenido del ensayo realizado es de 90,60 HBR en la escala Rockwell B, el mismo que excede los niveles de dureza presentados por dicha norma, el mismo que se encuentra entre un intervalo de 90-91 HBR en la escala Rockwell B; mientras que en la escala Brinell HB se encuentra en un intervalo que varía entre 185-190 HB, como se aprecia en la siguiente tabla 4.11.

**Tabla 4.11.** Intervalos de dureza norma ASTM A-48

ASTM A-48 Clase	Dureza Brinell HB	Dureza Rockwell B	Estructura
Clase 20	190	91	F, P
	185	90	
	180	89	
	176	88	
	172	87	
	169	86	
	165	85	
	162	84	
	159	83	
	156	82	
	153	81	
	150	80	
	147	79	
	144	78	
	141	77	
	139	76	
	137	75	
	135	74	
	132	73	
130	72		

Fuente: (ASTM A.-4. , 2016)

#### 4.4 Resultados del ensayo metalográfico

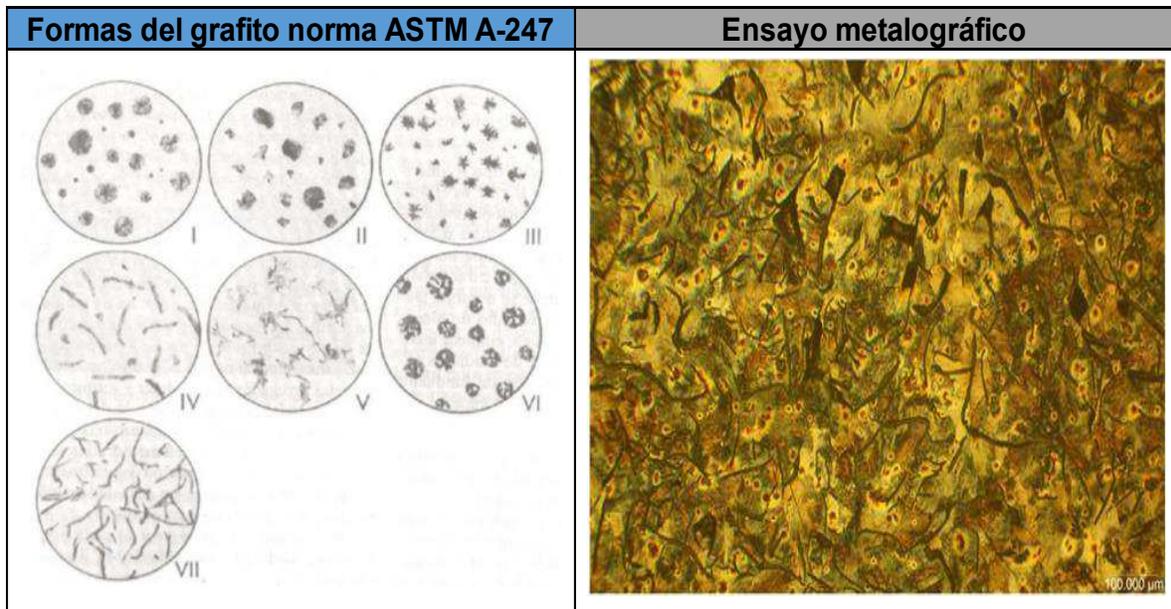
En la tabla 4.12 se muestra los resultados del ensayo metalográfico realizado a una muestra extraída de una culata de cilindros, se indica el tamaño, forma y tipo de la estructura molecular del hierro respecto a la norma ASTM A-247.

**Tabla 4.12.** Datos generales del ensayo metalográfico norma ASTM A-247

Equipo	ENS-07 microscopio metalográfico micros
Temperatura	21 ± 3 °C
Humedad	60 ± 10 %
Trabajo	Ensayos cabezote
Aumento	100 X Canon
<b>De acuerdo ASTM A-247</b>	
Forma	VII
Tamaño	2
Tipo	C

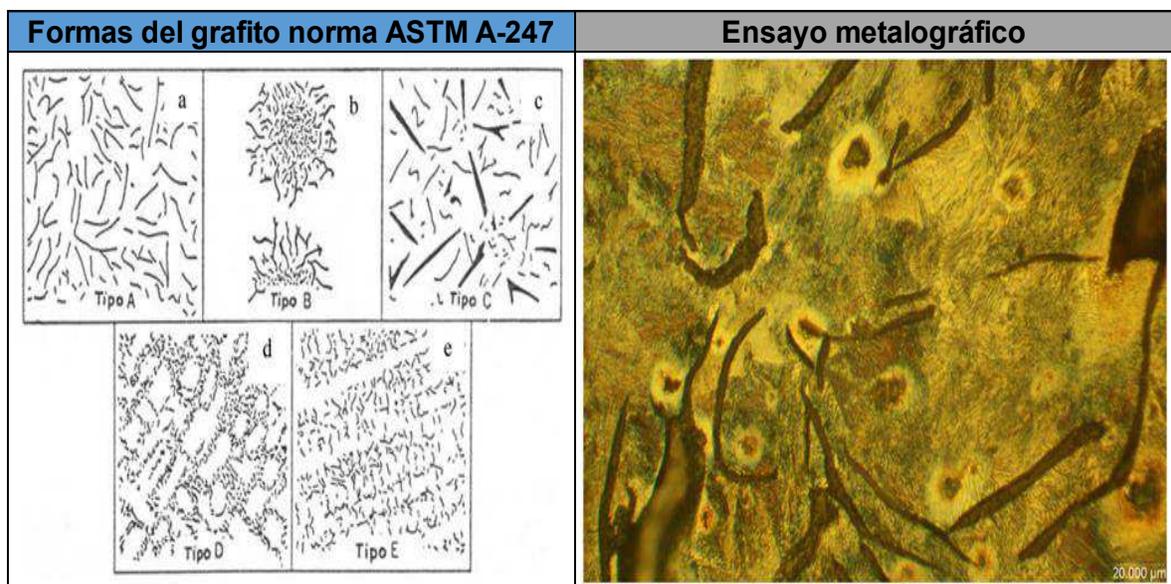
De acuerdo con el ensayo realizado y las imágenes obtenidas del mismo se puede decir que este tipo de fundición está formada por una matriz ferrítica-perlítica, donde se puede apreciar la ferrita, la perlita y los nódulos de grafito, logrando de esta manera visualizar la forma, tamaño y tipo de dicha fundición, tomando como referencia la normativa anteriormente mencionada, la misma que servirá para realizar la debida comparación de ambos resultados.

Con respecto a la normativa ASTM A 247 la cual indica las diferentes formas que pueden adoptar la perlita, ferrita y el grafito se ha llegado a identificar mediante este ensayo metalográfico que pertenece a la forma VII debido a la alta concentración de grafito a diferencia de la perlita y ferrita como se muestra en la figura 4.1 a continuación.



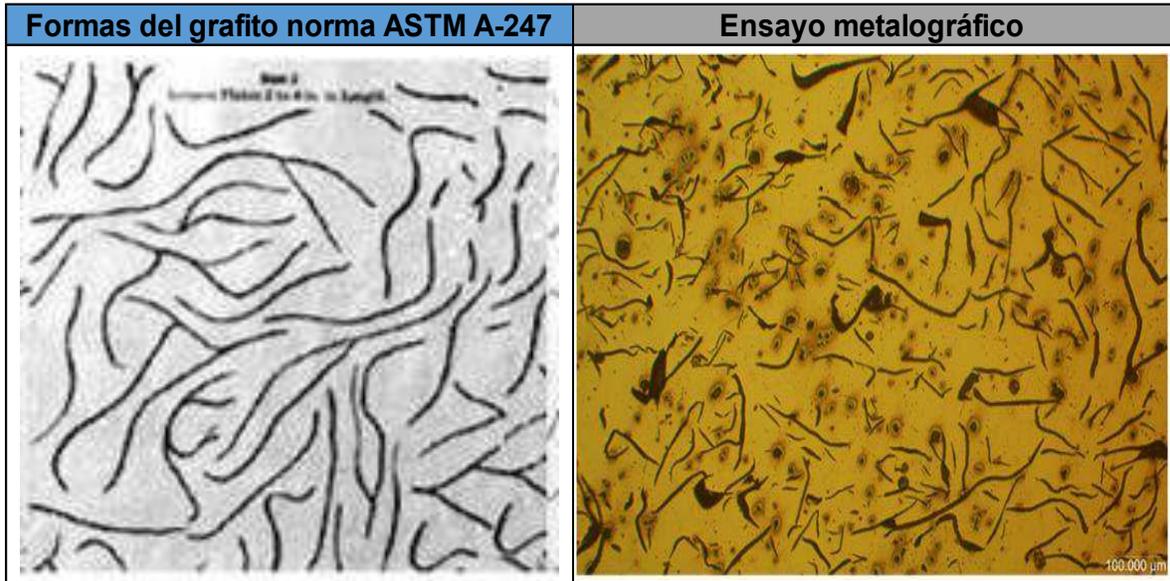
**Figura 4.1.** Comparación de formas del grafito norma ASTM A-247 vs Ensayo metalográfico 100X (zoom)

Como se muestra en la figura 4.2 al aumentar el zoom a 500X se puede apreciar de forma más exacta la distribución de la composición química del material siendo el tono oscuro la perlita y el tono más claro la ferrita, apuntando directamente según la normativa al tipo C.



**Figura 4.2.** Comparación de formas del grafito norma ASTM A-247 vs Ensayo metalográfico 500X (zoom)

En la siguiente figura 4.3 se muestra el tamaño de hojuela, mediante un proceso de aumento de 100X de zoom sin ataque, siendo posible visualizar el tamaño de las hojuelas que abarca el grafito; en este caso corresponde a un tamaño de hojuela de 2 a 4 pulgadas, conforme a la normativa anteriormente mencionada.



**Figura 4.3.** Comparación de formas del grafito norma ASTM A-247 vs Ensayo metalográfico 100X (zoom) sin ataque

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones.

Según la normativa ASTM E415-17, se realizó el ensayo de composición química del material a muestras tomadas de una culata Hino 205, mediante lo cual se logró verificar que está compuesto por 19 elementos químicos entre los más notables el carbono  $C=4,158$  y silicio  $Si=2,017$ , en proporciones considerables.

Mediante los estudios ejecutados se determinó que el sobre calentamiento que se genera en la culata de cilindros es debido a la concentración de un 4.15% de carbono lo cual determina la dureza del material, y no tener un rango de elasticidad con la finalidad de evitar grietas en el elemento mecánico a su vez volverlo frágil teniendo como consecuencia la falta de disipación de calor en la culata de cilindros.

Para el ensayo de tracción se empleó dos probetas T1 y T2, las mismas que fueron sometidas a una fuerza de tensión donde se obtuvieron datos tanto de su carga de rotura  $T1 = 14,46$  KN y  $T2 = 13,08$  KN, como también su límite de rotura siendo sus valores los siguientes:  $T1 = 172$  MP y  $T2 = 166$  MP respectivamente.

Para el ensayo de dureza se optó en utilizar la escala de dureza Rockwell B, ya que es la escala adecuada para este tipo de hierro fundido. Al aplicar dicha escala de dureza se obtuvo una medida promedio de 90.60 HRB, y una desviación estándar de 0,96 HRB de acuerdo con las 5 muestras ensayadas.

Mediante el análisis de distintas vistas previas generadas por el microscopio se capturaron imágenes con un alto y bajo aumento (100X sin ataque; 100X, 500X zoom), las mismas que fueron ejecutadas en el laboratorio. De esta manera se obtuvo imágenes que corresponden a una fundición de hierro gris con grafito de forma VII, tipo C y de tamaño 2, las mismas que fueron tabuladas y comparadas mediante imágenes obtenidas tanto de la normativa ASTM A 247 como de los ensayos metalográficos realizados.

## **5.2 Recomendaciones**

En los motores HINO 205, se debe tomar en cuenta los límites de temperatura óptima de funcionamiento que oscilan entre 700°C y 1250°C, ya que al sobrepasar las 2500 Rpm/min aumentara la presión en la cámara de combustión y con ello el aumento de temperatura lo que puede provocar deformación en la junta y en casos extremos grietas en la culata de cilindros.

Es conveniente reemplazar el termostato cada 70000 kilómetros sin esperar que este pierda sus propiedades y produzca averías al sistema de refrigeración.

Realizar un estudio complementario para determinar la carga que soportan los pernos de la culata de cilindros.

Establecer mediante el ensayo de tracción el impacto generado en las probetas de la culata a diferentes temperaturas.

La utilización de un software el cual permita simular el comportamiento de la culata a temperaturas reales de trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Amador Patiño, F. (2016). *Aplicación de los cojinetes de fricción a los M.C.I.*  
Obtenido de Escuela técnica superior de náutica y maquinas:  
[http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/16642/AmadorPatino\\_Frank\\_TFG\\_2016.pdf.pdf?sequence=2](http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/16642/AmadorPatino_Frank_TFG_2016.pdf.pdf?sequence=2)
2. Andres. (2006). MOTORES DIESEL . En Andres.
3. ASTM, A.-4. (01 de Noviembre de 2016). Obtenido de  
[https://www.techstreet.com/standards/astm-a48-a48m-03-2016?product\\_id=1934960&gclid=EAlalQobChMImf3atvGM1wIVDIqGCh1oPgS-EAAYASAAEgIJG\\_D\\_BwE#full](https://www.techstreet.com/standards/astm-a48-a48m-03-2016?product_id=1934960&gclid=EAlalQobChMImf3atvGM1wIVDIqGCh1oPgS-EAAYASAAEgIJG_D_BwE#full)
4. ASTM, E.-1. (15 de Mayo de 2017). Obtenido de  
[https://www.techstreet.com/standards/astm-e415-17?product\\_id=1984170&gclid=EAlalQobChMIrovDweyM1wIVUVuGCh3oQPYEAAAYASAAEgK\\_0fD\\_BwE](https://www.techstreet.com/standards/astm-e415-17?product_id=1984170&gclid=EAlalQobChMIrovDweyM1wIVUVuGCh3oQPYEAAAYASAAEgK_0fD_BwE)
5. Atacusí, B. (2013). *Estudio del tratamiento térmico de normalizado en el hierro fundido gris y su incidencia en la dureza y la resistencia.* Obtenido de repositorio digital: [ttp://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/4337](http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/4337)
6. Budynas, R. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica.* México.
7. Cruz, E. (Noviembre de 2014). *Dilatación lineal y coeficiente de dilatación lineal.*  
Obtenido de [http://tics-tlapa.com/wp/wp-content/uploads/2014/11/TERMODINAMICA\\_DILATACION-LINEAL-COEFICIENTE-DE-DILATACION-LINEAL.pdf](http://tics-tlapa.com/wp/wp-content/uploads/2014/11/TERMODINAMICA_DILATACION-LINEAL-COEFICIENTE-DE-DILATACION-LINEAL.pdf)
8. Díaz, F. (2007). *Lecturas de ingeniería 3 Hierros Fundido.* Obtenido de [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m6/hierro%20fundido.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/hierro%20fundido.pdf)
9. Dominguez, M. (2016). *Maquinas y Motores Térmicos.* Mexico.
10. Escudero, S. (2011). *Motores Diésel.* Madrid.

11. Ferrer, G. (2004). *Camiones y vehículos pesados, reparación y mantenimiento*. Madrid España.
12. Gere, J. (2009). *Mecánica de materiales*. México.
13. Gieck, K. (2003). *Manual de fórmulas técnicas*. Mexico.
14. Gil, J. (2002). *Manula de Mecánica Industrial*. Madrid-España: Cultural, S.A.
15. González, C. (2015). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor ciclo diésel*. Madrid.
16. Grupo Mavesa. (2017). *Historia de Hino*. Obtenido de <http://grupomavesa.com.ec/hino/contenido/historia>
17. Hino Motors. (2017). *Hino Global*. Obtenido de [http://www.hino-global.com/about\\_us/organization/milestones.html](http://www.hino-global.com/about_us/organization/milestones.html)
18. Jaime. (2016). *motores diesel*.
19. Juvinal, R. (2013). *Diseño de elementos de máquinas*.
20. Konrad, R. (2014). *Diésel engine Management*. Germany.
21. Mantilla, J. M. (2012). *Analisis comparativo del desempeño y emisiones de un motor diésel*. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-56092010000100020](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092010000100020)
22. Martínez, M. (2015). *Ensayo Estático y Dinámico de los Materiales*. Obtenido de <http://www.udb.edu.sv/udb/archivo/guia/mecanica-tecnologico/materiales-y-sus-propiedades/2015/ii/guia-5.pdf>
23. Meinel, A. (1982). *Aplicaciones de la energía solar*. Barcelona.
24. Motores Diésel. (8 de abril de 2016). Obtenido de motores diésel: <http://asc-ind.com/es/cooling-system-information/common-causes-of-overheating/>
25. Paredes Robalino, M. (2011). <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1330/1/Tesis%20I.%20M>.

%20102%20-

%20Paredes%20Robalino%20Mar%C3%ADa%20Bel%C3%A9n.pdf

*Estudio del recocido en el hierro fundido gris y su incidencia en la dureza.*

Obtenido de

[http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1330/1/Tesis%20I.%20M.](http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1330/1/Tesis%20I.%20M.%20102%20-%20Paredes%20Robalino%20Mar%C3%ADa%20Bel%C3%A9n.pdf)

%20102%20-

%20Paredes%20Robalino%20Mar%C3%ADa%20Bel%C3%A9n.pdf

*Estudio del recocido en el hierro fundido gris y su incidencia en la dureza:*

<http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1330>

26. Pedro. (2016). *Motores diesel* . españa.

27. Pillco Duchi, D. (2012). *UPS-CT002605 Construcción de bancos de entrenamiento para la capacitación en los sistemas de inyección diesel y gasolina multipunto y monopunto.* Obtenido de UPS-CT002605

Construcción de bancos de entrenamiento para la capacitación en los sistemas de inyección diesel y gasolina multipunto y monopunto:

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4261/1/UPS-CT002605.pdf>

28. Quilodrán, O. (26 de 11 de 2003). *Ensayo de compresión entre cuñas para hierros fundidos grises.* Obtenido de

<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10298/>

29. Ramírez Cardona, M. (2017).

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/6327/1/Marlon%20Otoniel%20Ram%C3%ADrez%20Cardona.pdf> *TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y ANÁLISIS DE ENSAYOS DE TENSIÓN,*. Obtenido de

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/6327/1/Marlon%20Otoniel%20Ram%C3%ADrez%20Cardona.pdf> *TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y ANÁLISIS DE ENSAYOS DE TENSIÓN,*: <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>

30. Ramirez, J. (3 de Mayo de 2008). *Culatas de Cilindros* . Obtenido de Culatas de Cilindros : <http://dieselmot.blogspot.com/2008/08/culatas-diesel.html>

31. Rovira, D. A. (2016). *Máquinas y motores térmicos: introducción a los motores alternativos y a las turbomáquinas térmicas*. Madrid, ES: UNED : Universidad Nacional de Educación a Distancia. Retrieved from <http://www.ebrary.com>.
32. Sanz, S. (2017). *Motores Diésel de cuatro tiempos*. Madrid: S.A Editex.
33. Zurita, M. (febrero de 2007). *principios básicos del motor alternativo de combustión interna* . Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/180/1/CD-0572.pdf>

## ANEXO I

ILPM INGENIERÍA LÍDER EN PROYECTOS Y MATERIALES



<p style="text-align: center;">Ensayos cabezote</p> <p>Informe # ILPM-2017-156</p>	<p><b>ILPM Engineering Cía. Ltda.</b>                  Emilio Estrada N54-139 Y Oruña                  Sector La Kennedy                  Quito-Ecuador                  Teléfono: 02 2812094                  Fax: 02 2411714  <a href="http://www.ilpm-ec.com">http://www.ilpm-ec.com</a>                  Email: <a href="mailto:ilpm@ilpm-ec.com">ilpm@ilpm-ec.com</a></p>
<p style="text-align: center;"><b>DATOS DEL SOLICITANTE<sup>1</sup></b></p> <p><b>HARO ZURITA LUIS ALEJANDRO</b>                  Dirección: OTAVALO, ROQUE EGAS Y                  CESAR GUERRA DAVILA                  Teléfono:</p> <p style="text-align: center;"><b>PARA CLIENTE FINAL:</b>  <b>KLEVER HARO</b></p>	
<p><b>Solicitado por:</b> KLEVER HARO</p>	
<p><b>Fecha de Recepción:</b> 27/04/2017</p>	
<p><b>Fecha de Entrega:</b> 03/05/2017</p>	

<p><b>Aprobado por</b></p>	 <p><b>Numero de hojas:</b>                  ILPM ENGINEERING</p>
----------------------------	--

Las muestras que no sean requeridas serán desechadas de acuerdo al procedimiento interno ILPM-PC-14  
 Se informa al cliente que puede comunicar a ILPM ENGINEERING, los reclamos que estime oportunos de acuerdo al Procedimiento :  
 ILPM-PC-05 Servicio al Cliente, para la recepción, tratamiento e informe de quejas y apelaciones, disponible a través de nuestro correo  
 electrónico [ilpm@ilpm-ec.com](mailto:ilpm@ilpm-ec.com) o DESCARGARLO a través de la red social LinkedIn Buscar: ILPM Engineering.)

2017. ILPM Engineering Cía. Ltda.  
 Todos Los derechos reservados. Este informe o partes del mismo no deben ser reproducidos o transmitidos de forma parcial,  
 salvo por autorización de ILPM, o en caso que haya sido comunicado durante la Orden de Compra.  
<sup>1</sup> Solicitante es la empresa/persona "cliente" de ILPM la cual realizó la requisición del servicio y se compromete al pago por los servicios.

### A1.1 Informe de los ensayos realizados a una culata Hino 205 en la ILPM Engineering Cia. Ltda.

## ANEXO II



ILPM-RT-34 Rev1

**ILPM ENGINEERING CIA. LTDA.**  
Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales



---

**Informe/Muestra:** 2017-150/ KLEVER HARD/ MUESTRA CABEZOTE

Fecha:	26.04.2017 16:21:58	Método:	Fe100
Equipo:	Bruker Q2ION ENS-11	Calibración:	17/Feb/2017
Temperatura:	20 ±3 degC	Humedad:	60 ±10 %



**REGISTRO DE ENSAYO DE COMPOSICION QUIMICA  
MEDIANTE ESPECTROMETRIA DE EMISION OPTICA POR CHISPA**

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
□	4,158	2,017	0,668	0,028	0,077
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
□	0,046	0,015	0,013	0,054	<0,005
	Co [%]	Mg [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]
□	<0,005	<0,005	<0,005	0,0051	<0,005
	W [%]	Fe [%]	Sn [%]	B [%]	
□	<0,1	93,03	0	0	

<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Cliente:</b>
		<hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; width: 100%;"/>

ILPM Cia. Ltda. ha sido evaluada por el Servicio de Acreditación Ecuatoriana (SAE) para la aprobación como organismo designado para la evaluación de la conformidad (DEC) otorgada por el MSPRD en base a la resolución 16585 para la ejecución de ensayos de Composición Química.

Ejército Estrada 554-139 y Ormos (Sector La Kennedy) - Quito - Ecuador  
Teléfono: 02 2812894 Fax: 012441734 E-MAIL: [ilpm@ilpm-ec.com](mailto:ilpm@ilpm-ec.com) / [www.ilpm-ec.com](http://www.ilpm-ec.com)

### A2.1 Registro del ensayo de composición química realizado a una culata Hino 205

### ANEXO III

 <b>ILPM ENGINEERING CIA LTDA</b> Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales <b>REGISTRO DE ENSAYOS DE DUREZA</b>							
ID DOCUMENTO ILPM-ET-08 Revisión No. 00		<b>NORMAS: A ASTM A370/ ASTM E10/                      ASTM E18/ ASTM E92 / ASTM E110</b>			<b>Informe No.</b> <b>ILPM 2017 - 156 - H</b>		
<b>Cliente:</b>	KLEVER HARO	<b>Fecha de Ensayo:</b>	martes, 02 de mayo de 2017				
<b>Solicitado Por:</b>	KLEVER HARO	<b>Fiscalización:</b>					
<b>Temperatura</b>	21±3	<b>Humedad Relativa</b>	60±10%				
<b>Elemento Medido:</b>	Cabezote						
<b>Objetivo de ensayo:</b>							
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Control de Calidad de Material</b>		<input checked="" type="checkbox"/> <b>X</b>		<input type="checkbox"/> <b>Control de Soldadura</b>			
<b>Escala de Dureza</b>	Brinell HB		Durómetro	ENS-01 Banco			
	Rockwell B	X	Sonda	N/A			
	Rockwell C		Calibración	09/03/2016			
	Vickers						
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Estandar</b>
Cabezote	92,00	89,50	90,50	91,00	90,00	90,60	0,96
<b>Notas:</b>							
<p style="text-align: center;"><i>El presente informe NO debe ser reproducido parcialmente.</i></p> <p style="text-align: center;">Certificamos que los ensayos realizados se han realizado bajo las indicaciones ASTM A370 y/o de acuerdo a lo indicado en el Procedimiento Técnico ILPM-PT-01 Métodos de ensayo para medición de dureza de materiales metálicos.</p> <p style="font-size: x-small;">ILPM Cía. Ltda. ha sido evaluada por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) para la aprobación como organismo designado para la evaluación de la conformidad (DEC) otorgada por el Ministerio de Industrias y Productividad (MIPROD), en base a la resolución 15 252 para la ejecución de ensayos de Dureza.</p>							
<b>Realizado por:</b> <b>ILPM CIA. LTDA.</b>  FIRMA AUTORIZADA Ing. César Vizúete ILPM Engineering		<b>Aprobado por:</b> <b>ILPM CIA. LTDA.</b>  FIRMA AUTORIZADA MSc. Patricio Estupiñán Jefe de Laboratorio		<b>Cliente</b>   KLEVER HARO			

A3.1 Registro del ensayo de dureza realizado a una culata Hino 205

## ANEXO IV

 <b>ILPM ENGINEERING CIA LTDA</b> Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales		<b>Informe No.</b> ILPM 2017 - 156 - T							
IS DOCUMENTO ILPM-018 (Informe) Versión: 01.02		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> NORMAS: ASTM A370 / ASTM E8							
<b>Cliente:</b>	KLEVER HARO	<b>Fecha de Ensayo:</b>	martes, 02 de mayo de 2017						
<b>Solicitado Por:</b>	KLEVER HARO	<b>Fiscalización:</b>							
<b>Material:</b>	FUNDICION	<b>Probeta elaborada por</b>	ILPM CIA. LTDA.						
<b>Temperatura °C</b>	20°C	<b>Humedad Relativa %</b>	70%						
<b>Objetivo de ensayo:</b>									
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Control de Calidad de Material</b>		<input type="checkbox"/> <b>Control de Soldadura</b>							
<b>Probeta #</b>	<b>Espesor Menor</b>	<b>Ancho Menor</b>	<b>Longitud Inicial</b>	<b>Longitud Final</b>	<b>OBSERVACIONES</b>				
	mm.	mm.	mm.	mm.					
T1	8,95	9,37	50,00	50,00	CABEZOTE				
T2	8,86	8,88	50,00	50,00	CABEZOTE				
<b>Probeta #</b>	<b>Area</b>	<b>Carga de Fluencia</b>	<b>Límite de Fluencia Sy</b>		<b>Carga de Rotura</b>	<b>Límite de Rotura SUT</b>		<b>Elongación 50mm</b>	<b>Localización de Rotura</b>
	mm <sup>2</sup> .	kN	KSI	MPa	kN	KSI	MPa	%	
T1	83,86	NA	NA	NA	14,46	25,01	172	0	NA
T2	78,68	NA	NA	NA	13,08	24,11	166	0	NA
<b>Observaciones:</b>									
Para Juntas Soldadas:		FIS Falla Junta Soldada							
		FMI Falla en Material Base							
<b>Notas:</b>									
Anexo Curvas de Ensayo El presente informe NO debe ser reproducido parcialmente. Certificamos que los ensayos han sido realizados bajo las indicaciones de ASTM E8 / A370 y Procedimiento ILPM-PT-08 Ensayo de Tracción   incluye ASME (I Ed. 2015, API1104, AWS D1.1 E6, 2015)									
ILPM Cia. Ltda. ha sido evaluado por el Servicio de Acreditación Guatemalteco (SAG) para la aprobación como organismo designado para la evaluación de la conformidad (DEC) otorgada por el Ministerio de Industria y Productividad (MIAPRO), en base a la resolución 15 222 para la ejecución de ensayos de Tracción.									
Realizado por:  Ing. César Vizúete ILPM Engineering		Aprobado por:  MSc. Patricio Estupiñán Jefe de Laboratorio		Cliente:  KLEVER HARO					

A4.1 Registro del ensayo de tracción realizado a una culata Hino 205

## ANEXO V

ILPM-RT-35 Rev.1

### ILPM ENGINEERING CIA LTDA Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales



Equipo:	ENS-07 Microscopio Metalográfico Microa	Temperatura:	21±35C
Calibración:	10/03/2017	Humedad:	50±10%
ILPM 2017-156			
<b>REGISTRO DE RESULTADOS DEL ENSAYO METALGRÁFICO</b>			
<b>Metalografía 100X</b>			
Fecha:	05/02/17		
Ítem:	100 X		
Muestra #:	Cabezoite		
Cliente:	Kiever Haro		
Trabajo:	Ensayos Cabezoite		
Informe:	ILPM 2017-156		
Aumento:	100X Micros Cascan		
Reactivo:	Nivel 2		
<b>Porcentajes de Fases</b>			
Área de Perlitita:	NA		
Área de Ferrita:	NA		
Perlitita %:	NA		
Ferrita %:	NA		
Área total de Imagen:	37.972.148		
<b>Tamaño de Grano</b>			
Método de detección:	NA	<p style="text-align: center;">Fotografía A1. Metalografía 100X.</p>	
Número de intersecciones:	NA		
Tamaño de Grano ASTM:	NA		
<b>Metalografía 500X</b>			
Fecha:	05/02/17	<p style="text-align: center;">Fotografía A2. Metalografía 500X.</p>	
Ítem:	500 X		
Muestra #:	Cabezoite		
Cliente:	Kiever Haro		
Trabajo:	Ensayos Cabezoite		
Informe:	ILPM 2017-156		
Aumento:	500X Micros Cascan		
Reactivo:	Nivel 2		
<p><b>Interpretación:</b> La muestra corresponde a una fundición de hierro gris con grafito de forma VII, tamaño 2 y tipo C según ASTM A247. La matriz es ferrítica - perlitica.</p>			
Elaborado por:  Ing. César Vizúete ILPM Engineering	Aprobado por:  MSc. Patricio Estupiñán Jefe de Laboratorio	Cliente / Fiscalización:  Kiever Haro	

Emilio Estrada NS4-159 y Druña (Sector La Kennedy) Quito-Ecuador

Teléfono: 02 2613094 Fax 02 2411714 Email: [ilpm@ilpm-cc.com](mailto:ilpm@ilpm-cc.com) Visitarnos en la Web: <http://www.ilpm-cc.com>

### A5.1 Registro del ensayo metalográfico realizado a una culata Hino 205

## ANEXO VI

ILPM-RT-08

**ILPM ENGINEERING CIA LTDA**  
Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales



ASTM A247			
Equipo:	ENS-07 Microscopio Metalográfico Micras	Temperatura:	21 ± 3°C
Calibración:	1003/2017	Humedad:	60 ± 10%
INFORME:	ILPM 2017-156		
			
Fotografía de inclusiones de la muestra analizada. Aumento 100X. Sin Ataque. Nota: El conteo de inclusiones se realiza en 0.50mm <sup>2</sup> tomados del centro del área total presentada (Según ASTM E45)			
DATOS DE LA PROBETA			
Numero de Imagen	100 X	Área Total de Imagen (mm <sup>2</sup> )	0,94
Muestra #	Cabezote	De acuerdo a ASTM	0
Cliente	Klaver Haro	A247	
Trabajo	Ensayos Cabezote	Forma	VII
Informe	ILPM 2017-156	Tamaño	2
Aumento	100X Micras Canon	Tipo	C
Fecha de Reporte	5-feb-2017		
<b>Interpretación:</b> La muestra corresponde a una fundición de hierro gris con grafito de forma VII, tamaño 2 y tipo C según ASTM A247. La matriz es ferrítica - perlítica.			
Elaborado por:  Ing. César Vizuela ILPM Engineering		Aprobado por:  MSc. Patricio Estupiñán Jefe de Laboratorio	
		Cliente / Fiscalización  Klaver Haro	

Emilio Estrada N54-138 y Oruña Sector La Kenedy Quito-Ecuador  
Teléfono: 02 2812094 Fax 02 2411714 Email: [ilpm@ilpm-ec.com](mailto:ilpm@ilpm-ec.com) Visitenos en la Web: <http://www.ilpm-ec.com>

### A6.1 Registro del ensayo metalográfico realizado a una culata Hino 205

## ANEXO VII



A7.1 Motor Hino 205

## ANEXO VIII



**A8.1** Muestras para ensayos de tracción

## ANEXO IV



**A9.1** Extracción de muestras para el ensayo de tracción

## ANEXO X



**A10.1** Ensamblaje de un motor Hino 205