



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**OPTIMIZACIÓN DEL PISTÓN DE UN MOTOR MARCA QINGQI
A GASOLINA CUATRO TIEMPOS MONOCILÍNDRICO 150 CC A
TRAVÉS DE UN ESTUDIO CAE Y CONSTRUCCIÓN DEL MISMO
APLICANDO LAS HERRAMIENTAS CAD/CAM”**

Trabajo de titulación

Tipo: Propuesta tecnológica

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: FABIÁN FERNANDO JARAMILLO CAMPOVERDE

EDY VLADIMIR ULLOA GARCIA

DIRECTOR: ING. PAÚL ALEJANDRO MONTÚFAR PAZ

Riobamba – Ecuador

2021

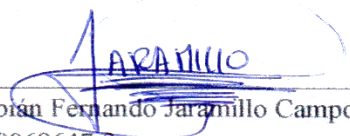
© 2021, Fabián Fernando Jaramillo Campoverde; & Edy Vladimir Ulloa García

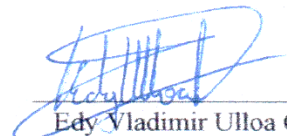
Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, Fabián Fernando Jaramillo Campoverde Y Edy Vladimir Ulloa Garcia, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 22 de enero del 2021


Fabián Fernando Jaramillo Campoverde
210068647-2


Edy Vladimir Ulloa Garcia
020202645-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo propuesta tecnológica, **OPTIMIZACIÓN DEL PISTÓN DE UN MOTOR MARCA QINGQI A GASOLINA CUATRO TIEMPOS MONOCILÍNDRICO 150 CC A TRAVÉS DE UN ESTUDIO CAE Y CONSTRUCCIÓN DEL MISMO APLICANDO LAS HERRAMIENTAS CAD/CAM**”, realizado por los señores: **FABIÁN FERNANDO JARAMILLO CAMPOVERDE; EDY VLADIMIR ULLO GARCÍA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2021/01/22
Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2021/01/22
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla MIEMBRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2021/01/22

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi madre, cumpliendo la promesa que le hice cuando empecé esta larga travesía; a mi padre, por su enorme esfuerzo, siendo pilar fundamental para lograr esta meta. A Dios, a la virgencita de El Cisne, protectores y guías de mi vida y a mi novia Liliana por su constante apoyo.

Fabián

Este trabajo de titulación lo dedico a mis padres, Francisco Ulloa Lara y Marianita García Gavilanes, por el apoyo brindado en todos los aspectos posibles, por darme la fuerza y energía que muchas veces la necesitaba, a mi hermano, Mauricio Ulloa García por haberme acompañado durante este largo y complicado proceso y sobre todo a Dios, por siempre cuidarme y protegerme durante todo el trayecto de mi formación personal y académica, permitiendo culminar mi carrera.

Edy

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a mi madre Sabina, que está en el cielo, por inculcarme buenos valores, cariño hacia el estudio desde muy pequeño, a no rendirme ante las adversidades y sobre todo por la protección diaria que me brinda. A Dios y la Virgencita de El Cisne por la salud y sus constantes bendiciones derramadas sobre mí y mi familia. A mi padre Rose, un ser humano excepcional, siempre dispuesto a apoyarme en todo, siendo padre y madre desde hace 10 años, le agradezco por hacer de mí, una persona de bien, respetuosa, amable y creyente de Dios.

También a mis hermanos y amigos, que a lo largo de la carrera se han convertido en personas muy importantes para mí, a los docentes de la Escuela de Ingeniería Automotriz, en especial al Ing. Paúl Montúfar y al Ing. Edwin Pozo, por su constante apoyo en el desarrollo de este tema y a la gloriosa Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme ser profesional y aportar con el desarrollo del país.

Fabián

En primer lugar doy Gracias a Dios, por cuidarme y protegerme todo el tiempo, sobre todo cuando cometía alguna negligencia, a mis padres y hermano por acompañarme y ayudarme durante todo este largo camino apoyándome psicológica, anímica y económicamente, agradezco a mi familia, amigos y a todas las personas que conocí y llegaron a formar parte importante en mi vida compartiendo su tiempo, conocimientos y experiencias, permitiéndome conocer, aprender y sobre todo crecer tanto en lo personal como en lo académico durante toda esta travesía.

Agradezco de manera especial al Ing. Paúl Montufar tutor del trabajo de titulación y al Ing. Edwin Pozo asesor de tesis por haber impartido sus conocimientos, consejos y experiencias para permitir desarrollar este trabajo de titulación y ante todo a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Edy

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xxii
SIMBOLOGÍA.....	xxiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xxiv
RESUMEN	xxv
ABSTRACT.....	xxvi
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento de problema.....	2
1.3 Justificación.....	3
<i>1.3.1 Justificación Teórica</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2 Justificación Metodológica.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.3 Justificación Práctica</i>	<i>4</i>
1.4 Objetivos.....	4
<i>1.4.1 Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2 Objetivos específicos</i>	<i>4</i>
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Motor de Combustión Interna	5
2.2 Clasificación de los MCI.....	7
<i>2.2.1 Según el proceso de combustión.....</i>	<i>7</i>
<i>2.2.1.1 Motores de encendido provocado, MEP:.....</i>	<i>7</i>
<i>2.2.1.2 Motores encendidos por compresión, MEC.....</i>	<i>8</i>
<i>2.2.2 Según el modo de realizar el ciclo</i>	<i>9</i>
<i>2.2.2.1 Motores de cuatro tiempos (4T).....</i>	<i>9</i>
<i>2.2.2.2 Motores de dos tiempos (2T)</i>	<i>10</i>
<i>2.2.3 Según el tipo de refrigeración</i>	<i>11</i>
<i>2.2.3.1 Refrigeración por aire</i>	<i>13</i>
<i>2.2.3.2 Refrigeración por aire forzado</i>	<i>13</i>
<i>2.2.3.3 Refrigeración por agua.....</i>	<i>13</i>
<i>2.2.3.4 Refrigeración por Aire y aceite.....</i>	<i>14</i>
2.3 Estequiometría de combustibles.....	15

2.4	Movimiento del fluido dentro de la cámara de combustión	15
2.4.1	<i>Turbulencia, remolino y aplastamiento.....</i>	15
2.5	Emisiones Contaminantes.....	16
2.5.1	<i>Sustancias que integran los gases de Escape</i>	16
2.5.2	<i>Analizador de gases</i>	17
2.5.2.1	<i>Analizador de gases Maha MET 6.3.....</i>	18
2.6	CAD.....	20
2.6.1	<i>SolidWorks.....</i>	20
2.7	CAE.....	21
2.7.1	<i>Ansys Workbench</i>	21
2.7.1.1	<i>Módulo Static structural.....</i>	21
2.7.1.1.1	<i>Estrés equivalente (Von Mises)</i>	21
2.7.1.1.2	<i>Factor de seguridad</i>	21
2.7.1.1.3	<i>Fatiga</i>	21
2.7.1.1.4	<i>Vida útil.....</i>	22
2.7.1.2	<i>Módulo Transient Thermal.....</i>	22
2.7.1.2.1	<i>Temperatura total.....</i>	22
2.7.1.2.2	<i>Flujo de calor (Total heat flux)</i>	22
2.7.1.3	<i>Módulo Transient Structural</i>	22
2.8	CAM.....	23
2.8.1	<i>Fases de ciclo para preparación de proceso de producción.....</i>	23
2.8.2	<i>Control numérico por computadora (CNC).....</i>	24
2.8.3	<i>Lenguaje de programación.....</i>	24
2.8.4	<i>Programación automática</i>	24
2.8.5	<i>Funciones de programación CNC.....</i>	25
2.8.5.1	<i>Funciones preparatorias (G).....</i>	25
2.8.5.2	<i>Función de control de avances y velocidades de corte (F) y (S):</i>	26
2.8.5.3	<i>Funciones de control y herramientas (T):</i>	26
2.8.5.4	<i>Funciones auxiliares (M).....</i>	26
2.8.6	<i>Etapas de fabricación</i>	26
2.8.6.1	<i>Desbaste</i>	26
2.8.6.2	<i>Acabado.....</i>	27
2.9	Fundición	27
2.9.1	<i>Procesos de fundicion.....</i>	28
2.9.1.1	<i>Colada en matriz o fundición en coquilla</i>	28
2.9.1.2	<i>Fundición a presión o inyección de metales.....</i>	28

2.9.1.3	<i>Fundición prensada</i>	29
2.9.1.4	<i>Fundición a baja presión</i>	29
2.9.2	<i>Clasificación de procesos de fundición</i>	30
2.9.2.1	<i>De acuerdo con el tipo de molde</i>	30
2.9.3	<i>Tipos de arenas</i>	31
2.9.3.1	<i>Fundición en arena</i>	31
2.9.4	<i>Modelos de fundición</i>	33
2.9.5	<i>La contracción</i>	33
2.9.6	<i>Calidad de la fundición</i>	34
2.9.6.1	<i>Llenado incompleto</i>	34
2.9.6.2	<i>Junta fría</i>	34
2.9.6.3	<i>Gránulos fríos</i>	34
2.9.6.4	<i>Cavidad por contracción</i>	35
2.9.6.5	<i>Microporosidad</i>	35
2.9.6.6	<i>Desgarramiento en caliente</i>	35
2.9.6.7	<i>Sopladuras</i>	36
2.9.6.8	<i>Puntos de alfiler</i>	36
2.9.6.9	<i>Caídas de arena</i>	36
2.9.6.10	<i>Costras</i>	36
2.9.6.11	<i>Penetración</i>	36
2.10	<i>Factores técnicos de la fundición</i>	36
2.10.1	<i>Cantidad de calor requerido</i>	36
2.10.1.1	<i>Temperatura de vaciado</i>	37
2.10.2	<i>Velocidad de vaciado del metal líquido</i>	37
2.10.2.1	<i>Turbulencia</i>	38
2.10.3	<i>Tiempo para llenar cavidad</i>	38
2.10.4	<i>Tiempo de solidificación</i>	38
2.11	<i>Aleaciones de aluminio</i>	39
2.11.1	<i>Aleaciones de aluminio según su serie</i>	40
2.11.1.1	<i>Serie 2xxx</i>	40
2.11.1.2	<i>Serie 3xxx</i>	41
2.11.1.3	<i>Serie 4xxx</i>	41
2.11.1.4	<i>Serie 5xxx</i>	41
2.11.1.5	<i>Serie 6xxx</i>	42
2.11.1.6	<i>Serie 7xxx</i>	42
2.11.2	<i>Grados de pureza del Aluminio:</i>	42

2.11.3	<i>Propiedades del aluminio Puro</i>	42
2.11.4	<i>Propiedades físicas del aluminio puro</i>	43
2.11.4.1	<i>Densidad</i>	44
2.11.4.2	<i>Conductividad Térmica</i>	44
2.11.4.3	<i>Conductividad eléctrica</i>	44
2.11.5	<i>Propiedades Químicas</i>	45
2.11.5.1	<i>Corrosión</i>	45
2.11.6	<i>Propiedades mecánicas</i>	45
2.11.6.1	<i>Dureza</i>	45
2.11.6.2	<i>Resistencia mecánica</i>	46
2.11.7	<i>Tipos de tratamientos térmicos del aluminio</i>	46
2.12	<i>Características de motor Qingqi 150cc</i>	48
3.	METODOLOGÍA	
3.1.	Diagrama de procesos para el diseño, fundición y mecanizado del pistón	50
3.1.	Modelado	51
3.2.1.	<i>Ingeniería inversa</i>	51
3.2.2.	<i>Aplicación del software SolidWorks</i>	51
3.3.	Modificaciones del pistón original	52
3.3.1.	<i>Peso inicial del pistón</i>	52
3.3.2.	<i>Lubricación de pistón</i>	52
3.3.3.	<i>Aumento de relación de compresión</i>	53
3.4.	Simulaciones con pistón estándar y modificado	57
3.4.1.	<i>Estudio termodinámico con pistón estándar de motor Qingqi 150cc</i>	57
3.4.1.1.	<i>Resultados de cálculo termodinámico con pistón estándar</i>	67
3.4.1.2.	<i>Simulación estática con pistón estándar</i>	68
3.4.1.2.1.	<i>Tipo y calidad de mallado del pistón estándar</i>	68
3.4.1.2.2.	<i>Condiciones para realizar el análisis estático con pistón estándar</i>	69
3.4.1.2.3.	<i>Deformación total del pistón</i>	69
3.4.1.2.4.	<i>Estrés equivalente</i>	70
3.4.1.2.5.	<i>Deformación elástica equivalente</i>	70
3.4.1.2.6.	<i>Factor de seguridad de estrés</i>	71
3.4.1.2.7.	<i>Factor de seguridad de fatiga</i>	71
3.4.1.2.8.	<i>Ciclos de vida del pistón</i>	72
3.4.1.3.	<i>Simulación dinámica con el pistón estándar</i>	72

3.4.1.3.1.	<i>Condiciones para realizar el análisis dinámico con el pistón estándar.....</i>	73
3.4.1.3.2.	<i>Desplazamiento total Lineal del pistón estándar.....</i>	73
3.4.1.3.3.	<i>Estrés equivalente del pistón estándar</i>	74
3.4.1.3.4.	<i>Velocidad lineal total del pistón estándar</i>	74
3.4.1.3.5.	<i>Declaración de los materiales de las partes del motor.....</i>	75
3.4.1.3.6.	<i>Declaración de conexiones y articulaciones de la geometría del motor.....</i>	75
3.4.1.4.	<i>Simulación térmica con pistón estándar.....</i>	76
3.4.1.4.1.	<i>Condiciones para realización de análisis térmico con pistón modificado</i>	76
3.4.1.4.2.	<i>Dispersión térmica de temperatura en el pistón estándar</i>	77
3.4.1.4.3.	<i>Flujo de calor total en el pistón estándar</i>	78
3.4.2.	<i>Estudio termodinámico con pistón modificado de motor Qingqi 150cc</i>	78
3.4.2.1.	<i>Resultados de cálculo termodinámico con pistón modificado.....</i>	78
3.4.2.2.	<i>Simulación estática con pistón modificado.....</i>	79
3.4.2.2.1.	<i>Tipo y calidad de mallado</i>	79
3.4.2.2.2.	<i>Condiciones para realizar en análisis estático</i>	80
3.4.2.2.3.	<i>Deformación total del pistón modificado.....</i>	80
3.4.2.2.4.	<i>Estrés equivalente de pistón modificado.....</i>	81
3.4.2.2.5.	<i>Deformación elástica equivalente</i>	81
3.4.2.2.6.	<i>Factor de seguridad de estrés del pistón modificado</i>	82
3.4.2.2.7.	<i>Ciclos de vida del pistón.....</i>	82
3.4.2.2.8.	<i>Factor de seguridad de fatiga del pistón</i>	83
3.4.2.3.	<i>Simulación dinámica con pistón modificado</i>	83
3.4.2.3.1.	<i>Declaración de materiales de las partes geométricas del motor</i>	84
3.4.2.3.2.	<i>Declaración de conexiones y articulaciones de la geometría del motor con el pistón modificado.</i>	84
3.4.2.3.3.	<i>Condiciones para realizar el análisis dinámico con el pistón modificado.....</i>	84
3.4.2.3.4.	<i>Desplazamiento total Lineal del pistón modificado.....</i>	85
3.4.2.3.5.	<i>Estrés equivalente del pistón modificado.....</i>	85
3.4.2.3.6.	<i>Velocidad lineal total del pistón modificado</i>	86
3.4.2.4.	<i>Simulación térmica con pistón modificado.....</i>	86
3.4.2.4.1.	<i>Dispersión térmica de temperatura en el pistón modificado</i>	87
3.4.2.4.2.	<i>Flujo de calor total en el pistón modificado</i>	88
3.5.	<i>Fundición del pistón modificado</i>	88
3.5.1.	<i>Impresión en 3D de moldes</i>	88
3.5.1.1.	<i>Cajas de macho</i>	89

3.5.1.2.	<i>Matriz Permanente</i>	89
3.5.2.	Preparación de moldes	90
3.5.3.	Proceso de moldeo	90
3.5.3.1.	<i>Preparación de arena</i>	90
3.5.3.2.	<i>Elaboración de molde para matriz de Bronce</i>	92
3.5.3.3.	<i>Elaboración de machos</i>	96
3.5.4.	Fundición de Matriz Permanente	100
3.5.5.	Fundición del Pistón Modificado	107
3.6.	Mecanización del pistón	113
3.7.	Pruebas de consumo de combustible	122
3.7.1.	<i>Fabricación de maqueta didáctica</i>	124
3.7.2.	Pruebas de consumo con pistón estándar	126
3.7.2.1.	<i>Prueba a 3000 RPM</i>	126
3.7.2.2.	<i>Pruebas a 4000 RPM</i>	127
3.7.2.3.	<i>Pruebas a 5000 RPM</i>	127
3.7.3.	Pruebas de consumo con pistón modificado	128
3.7.3.1.	<i>Montaje de pistón modificado</i>	128
3.7.3.2.	<i>Pruebas con pistón modificado</i>	132
3.7.3.2.1.	<i>Pruebas a 3000 RPM</i>	132
3.7.3.2.2.	<i>Pruebas a 4000 RPM</i>	133
3.7.3.2.3.	<i>Pruebas a 5000 RPM</i>	133
3.8.	Pruebas de gases de escape	134
3.8.1.	Pruebas con pistón estándar	136
3.8.2.	Pruebas con pistón modificado	137
3.9.	Resultados con pistón estándar y modificado	138
3.9.1.	Cálculo termodinámico	138
3.9.2.	Simulaciones	140
3.9.2.1.	<i>Simulación estática estructural entre pistón estándar y modificado</i>	140
3.9.2.2.	<i>Simulación térmica entre pistón estándar y modificado</i>	141
3.9.2.3.	<i>Simulación dinámica entre pistón estándar y modificado</i>	141
3.9.3.	Pruebas de consumo	142
3.9.4.	Emisión de gases	143
3.9.4.1.	<i>Niveles de emisiones permitidos en Ecuador</i>	144
3.9.4.1.1.	<i>Prueba estática en Ralentí</i>	144

4.	GESTIÓN DEL PROYECTO	
4.1.	Planificación	146
4.2.	Cronograma	147
4.3.	Recursos y materiales	148
4.3.1.	<i>Recursos humanos</i>	148
4.3.2.	<i>Recursos materiales</i>	148
4.3.3.	<i>Recursos económicos</i>	149
4.3.4.	<i>Presupuesto</i>	150
4.3.4.1.	<i>Costos Directos</i>	150
4.3.4.2.	<i>Costos indirectos</i>	151
4.3.4.3.	<i>Costos Totales</i>	151
5.	CONCLUSIONES	152
6.	RECOMENDACIONES	153
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Elementos básicos del MCI.....	5
Tabla 2-2:	Rango de emisión de gases	18
Tabla 3-2:	Rango de emisiones de gases	19
Tabla 4-2:	Lista de funciones preparatorias.....	25
Tabla 5-2:	Valores de contracción volumétrica	34
Tabla 6-2:	Propiedades del aluminio	40
Tabla 7-2:	Clasificación del aluminio según su pureza	42
Tabla 8-2:	Propiedades físicas del aluminio	43
Tabla 9-2:	Tratamientos térmicos del aluminio.....	47
Tabla 10-2:	Características del motor Qingqi.....	48
Tabla 1-3:	Parámetros geométricos del motor.....	54
Tabla 2-3:	Fabricantes y utilización de combustibles.....	56
Tabla 3-3:	Parámetros iniciales para el cálculo termodinámico.....	57
Tabla 4-3:	Parámetros geométricos del motor.....	61
Tabla 5-3:	Resultados con pistón estándar	67
Tabla 6-3:	Partes y materiales del motor	75
Tabla 7-3:	Declaración de movimientos y articulaciones del motor.....	75
Tabla 8-3:	Resultados con pistón modificado.....	78
Tabla 9-3:	Pruebas de consumo a 3000 RPM con pistón estándar.	126
Tabla 10-3:	Pruebas de consumo a 4000 RPM con pistón estándar	127
Tabla 11-3:	Pruebas de consumo a 5000 RPM con pistón estándar.	128
Tabla 12-3:	Pruebas de consumo a 3000 RPM con pistón modificado.....	132
Tabla 13-3:	Pruebas de consumo a 4000 RPM con pistón modificado.....	133
Tabla 14-3:	Pruebas de consumo a 5000 RPM con pistón modificado.....	133
Tabla 15-3:	Resultados con pistón estándar	139
Tabla 16-3:	Resultados simulación estática estructural pistón estándar y modificado.....	140
Tabla 17-3:	Resultados de simulación térmica con pistón estándar y modificado.....	141

Tabla 18-3:	Resultados de simulación dinámica con pistón estándar y modificado	141
Tabla 19-3:	Pruebas de consumo con pistón estándar y modificado.	142
Tabla 20-3:	Pruebas de emisiones con pistón estándar y modificado	143
Tabla 21-3:	Límites máximos de emisiones. Prueba estática en ralentí.....	144
Tabla 1-4:	Organización de actividades	146
Tabla 2-4:	Recursos materiales	149
Tabla 3-4:	Detalle de costos directos.....	150
Tabla 4-4:	Detalle de costos indirectos.....	151
Tabla 5-4:	Costo total.....	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Componentes principales del MCI	5
Figura 2-2:	Clasificaciones de los MCI.....	7
Figura 3-2:	Clasificaciones de los MCI.....	8
Figura 4-2:	Clasificaciones de los MCI.....	8
Figura 5-2:	Esquema del funcionamiento del motor de cuatro tiempos.....	9
Figura 6-2:	Esquema del funcionamiento del motor de cuatro tiempos (4T).....	9
Figura 7-2:	Esquema del funcionamiento del motor de dos tiempos (2T).....	10
Figura 8-2:	Refrigeración por Aire.....	11
Figura 9-2:	Refrigeración por Aire forzado.....	12
Figura 10-2:	Refrigeración por Aire y aceite.....	14
Figura 11-2:	Turbulencia de flujos de gas en función de RPM	15
Figura 12-2:	Analizador de gases MAHA MET 6.3.....	19
Figura 13-2:	Desbaste en control numérico 1.....	27
Figura 14-2:	Colada en matriz.....	28
Figura 15-2:	Maquina para inyección de metales.....	29
Figura 16-2:	Descripción esquemática de proceso del moldeado por compresión	29
Figura 17-2:	Fundición a baja presión y ejemplo de aplicación del proceso.	30
Figura 18-2:	Proceso de fundición con molde abierto y molde cerrado 1	30
Figura 19-2:	Secuencia de fundición.....	32
Figura 20-2:	Modelo de block de motor.....	33
Figura 21-2:	Calidad de la fundición.....	35
Figura 1-3:	Medición del pistón.....	51
Figura 2-3:	Pistón estándar.....	51
Figura 3-3:	Ensamble de motor Qingqi.....	52
Figura 4-3:	Peso inicial del pistón.....	52
Figura 5-3:	Orificios de lubricación parte baja.....	53
Figura 6-3:	Orificios de lubricación parte media.....	53

Figura 7-3:	Pistón Original.....	53
Figura 8-3:	Pistón modificado.....	54
Figura 9-3:	Mallado del pistón estándar	68
Figura 10-3:	Aplicación de Magnitudes a pistón estándar.....	69
Figura 11-3:	Deformación total de pistón original	69
Figura 12-3:	Estrés equivalente del pistón estándar	70
Figura 13-3:	Deformación elástica equivalente del pistón estándar	70
Figura 14-3:	Factor de seguridad de estrés de pistón estándar	71
Figura 15-3:	Factor de seguridad de fatiga del pistón estándar	71
Figura 16-3:	Ciclos de Vida útil del pistón estándar	72
Figura 17-3:	Partes de motor para simulación dinámica	72
Figura 18-3:	Parámetros para simulación dinámica con pistón estándar	73
Figura 19-3:	Desplazamiento lineal total del pistón estándar	73
Figura 20-3:	Estrés equivalente del pistón modificado	74
Figura 21-3:	Velocidad lineal total del pistón modificado	74
Figura 22-3:	Aplicación de condiciones para estudio térmico de pistón estándar	77
Figura 23-3:	Dispersión de temperatura en el pistón estándar.....	77
Figura 24-3:	Flujo de calor total en el pistón estándar	78
Figura 25-3:	Mallado de pistón modificado	79
Figura 26-3:	Aplicación de magnitudes a pistón modificado	80
Figura 27-3:	Deformación total del pistón modificado	80
Figura 28-3:	Estrés equivalente del pistón modificado	81
Figura 29-3:	Deformación elástica equivalente del pistón modificado.....	81
Figura 30-3:	Factor de seguridad de estrés del pistón modificado.....	82
Figura 31-3:	Ciclos de vida útil del pistón modificado	82
Figura 32-3:	Factor de seguridad de la fatiga del pistón modificado.....	83
Figura 33-3:	Geometría de motor para simulación dinámica con pistón modificado	83
Figura 34-3:	Aplicación de magnitudes a motor con pistón modificado	84
Figura 35-3:	Desplazamiento lineal total del pistón modificado	85

Figura 36-3:	Estrés equivalente del pistón modificado	85
Figura 37-3:	Velocidad lineal total del pistón modificado	86
Figura 38-3:	Aplicación de condiciones para estudio térmico del pistón modificado	87
Figura 39-3:	Dispersión térmica de temperatura en pistón modificado	87
Figura 40-3:	Flujo total de calor en el pistón modificado.....	88
Figura 41-3:	Caja de macho 1	88
Figura 42-3:	Caja de macho 2	89
Figura 43-3:	Caja 1 de matriz permanente.	89
Figura 44-3:	Caja 2 de matriz permanente.	89
Figura 45-3:	Caja superior de matriz permanente.	90
Figura 46-3:	Desbaste de rugosidades de fibra de carbono.	90
Figura 47-3:	Tamización de arena de sílice.....	91
Figura 48-3:	Silicato de Sodio.....	91
Figura 49-3:	Mezcla uniforme de arena con resina	92
Figura 50-3:	Elaboración de caja para moldes de matriz de bronce	92
Figura 51-3:	Colocación de piezas en molde de matriz de bronce	93
Figura 52-3:	Elaboración de caja para moldes de matriz de bronce.	93
Figura 53-3:	Creación de orificios para verter bronce de fundición.	93
Figura 54-3:	Creación de orificios para verter bronce de fundición.	94
Figura 55-3:	Inyección de CO ₂	94
Figura 56-3:	Remoción de arena de silicio.....	95
Figura 57-3:	Colocación de talco industrial.	95
Figura 58-3:	Colocación de talco industrial.	96
Figura 59-3:	Corrección de errores en figuras de molde.	96
Figura 60-3:	Colocación de talco industrial.	97
Figura 61-3:	Compactación de la arena de sílice.....	97
Figura 62-3:	Prensado de caja de machos.	98
Figura 63-3:	Creación de orificios para molde de macho.....	98
Figura 64-3:	Inyección de CO ₂	99

Figura 65-3:	Separación de moldes de macho.....	99
Figura 66-3:	Machos finalizados.....	100
Figura 67-3:	Crisol con horno de fundición.	100
Figura 68-3:	Silicato de cobre e hidróxido de sodio.....	101
Figura 69-3:	Colocación de vidrio en el crisol.	101
Figura 70-3:	Colocación de bronce en el crisol.	102
Figura 71-3:	Aplicación de arena de sílice con agua al horno.	102
Figura 72-3:	Conexión de GLP.....	103
Figura 73-3:	Instalación del ventilador centrífugo.	103
Figura 74-3:	Encendido del quemador.	103
Figura 75-3:	Colocación de la tapa del horno.....	104
Figura 76-3:	Eliminación de humedad.	104
Figura 77-3:	Aplicación de arena de sílice con agua al molde.	105
Figura 78-3:	Vertido de bronce fundido.....	105
Figura 79-3:	Extracción de pieza de bronce	106
Figura 80-3:	Extracción de pieza de bronce.	106
Figura 81-3:	Eliminación de exceso de material.	106
Figura 82-3:	Eliminación de porosidad de bronce.....	107
Figura 83-3:	Eliminación de impurezas del aluminio.....	107
Figura 84-3:	Aleaciones de aluminio.	108
Figura 85-3:	Crisol en el horno.	108
Figura 86-3:	Colocación de aluminio en el crisol.....	109
Figura 87-3:	Colocación de macho en matriz permanente.	109
Figura 88-3:	Eliminación de aberturas.	110
Figura 89-3:	Calentamiento de piezas.	110
Figura 90-3:	Fijación de matriz permanente.....	111
Figura 91-3:	Colocación de aluminio fundido.....	111
Figura 92-3:	Ubicación de átomos de pistón.	112
Figura 93-3:	Extracción del pistón.	112

Figura 94-3:	Pistón fundido.	113
Figura 95-3:	Peso de pistón fundido.....	113
Figura 96-3:	Proceso de cilindrado.	114
Figura 97-3:	Ranuras de segmentos	114
Figura 98-3:	Agujeros de lubricación.....	115
Figura 99-3:	Espacio para válvulas.	115
Figura 100-3:	CNC Fanuc de 3 ejes.....	116
Figura 101-3:	Código de desbaste parte superior/pistón.	116
Figura 102-3:	Eliminación de material de cabeza de pistón.	117
Figura 103-3:	Peso de pistón (106 g).	117
Figura 104-3:	Desbaste de material de zona de bulón.....	118
Figura 105-3:	Código de desbaste de material de zona de bulón.....	118
Figura 106-3:	Código de perforaciones de lubricación.	119
Figura 107-3:	Orificio de bulón.	119
Figura 108-3:	Código de orificio de bulón.....	120
Figura 109-3:	Mecanización de faldas.	120
Figura 110-3:	Código de Mecanización de faldas de pistón.....	121
Figura 111-3:	Proceso de pulido del pistón.	121
Figura 112-3:	Peso final del pistón.	121
Figura 113-3:	Carburación de motor.....	122
Figura 114-3:	Vaciado de tanque de combustible.	122
Figura 115-3:	Medición de combustible.	123
Figura 116-3:	Vertido de 50 Ml de gasolina.	123
Figura 117-3:	Base de motor Qingqi 150cc.	124
Figura 118-3:	Soldadura de perfiles.	124
Figura 119-3:	Acoplamiento entre motor y base.	125
Figura 120-3:	Pintura de base.	125
Figura 121-3:	Desbaste y pintura de base.....	126
Figura 122-3:	Extracción del tapa válvulas.	128

Figura 123-3:	Extracción de árbol de levas.	129
Figura 124-3:	Cabezote y cilindro.....	129
Figura 125-3:	Extracción de pistón.	130
Figura 126-3:	Ubicación de bulón.....	130
Figura 127-3:	Colocación del pistón.	131
Figura 128-3:	Colocación del cilindro.....	131
Figura 129-3:	Colocación del cabezote.	132
Figura 130-3:	Encendido de motor.....	132
Figura 131-3:	Analizador de gases MAHA.....	134
Figura 132-3:	Colocación de pinzas trigger	135
Figura 133-3:	Colocación de sonda.....	135
Figura 134-3:	Medición de gases	136

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Series de aleaciones de aluminio existentes	40
Gráfico 2-2:	Densidad del aluminio	44
Gráfico 3-2:	Capa de óxido natural del Aluminio 99.99%	45
Gráfico 4-2:	Límite de deformación del aluminio vs acero	46
Gráfico 1-3:	Diagrama de procesos	50
Gráfico 2-3:	Medición de gases con pistón estándar, motor frío.	136
Gráfico 3-3:	Medición de gases con pistón estándar, motor caliente.....	137
Gráfico 4-3:	Medición de gases con pistón modificado, motor frío.	137
Gráfico 5-3:	Medición de gases con pistón modificado, motor caliente.	138
Gráfico 6-3:	Pruebas de consumo con pistón estándar y modificado	143
Gráfico 7-3:	Prueba de emisiones con pistón estándar y modificado, motor caliente	144
Gráfico 1-4:	Cronograma 1 de actividades	147
Gráfico 2-4:	Cronograma 2 de actividades	148

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CAD	Dibujo asistido por computadora
CAE	Ingeniería asistida por computadora
CAM	Manufactura asistida por computadora
MEF	Método de elementos finitos
INEN	Instituto Ecuatoriano de normalización
MCIA	Motores de combustión interna alternativos
MEP	Motores de encendido provocado
MEC	Motores de encendido por chispa
PMI	Punto muerto inferior
PMS	Punto muerto superior
HC	Hidrocarburos
CO	Monóxido de carbono
CNC	Control numérico por computadora
ISO	Organización Internacional de Estandarización
ASTM	Asociación Americana para Ensayos y Materiales

SIMBOLOGÍA

H	Cantidad de calor requerido	Kcal
ρ	Densidad	kg/m ³
l	Longitud de la biela	mm
D	Diámetro de cilindro	mm
a	Radio de manivela	mm
V_D	Volumen desplazado	cm ³
V_p	Volumen del pistón	cm ³
V_{cc}	Volumen de la cámara de combustión	cm ³
rc	Relación de compresión	
λ	Lambda	
S	Carrera del pistón	mm
Hi	Poder calorífico del combustible	Kcal/Kg
C_p	Calor específico a presión constante	
C_v	Calor específico a volumen constante	
K	Relación de calores específicos	
h_v	Rendimiento volumétrico	
η_m	Rendimiento mecánico	
η_i	Rendimiento indicado	
η_c	Rendimiento de la combustión	
p_{me}	Presión media efectiva	Pa
n_{th}	Eficiencia termodinámica	
Q_t	Calor entregado al fluido	Kcal
Q_a	Calor admitido al ciclo	Kcal
Q_r	Calor rechazado del ciclo	Kcal
N_t	Potencia teórica	HP
N_i	Potencia indicada	HP
N_e	Potencia efectiva	HP
τ	Torque o momento	Nm
τ_i	Torque indicado	Nm
τ_e	Torque efectivo	Nm
\dot{m}_c	Flujo de combustible	g/s
C_s	Consumo específico	g/HP h
Q	Consumo de combustible	l/h

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. PLANOS DE PISTONES

ANEXO B. PLANO DE LA BASE DEL MOTOR

ANEXO C. FABRICACIÓN DE MATRICES Y PISTÓN MODIFICADO

ANEXO D. MAQUINADO DE PISTÓN

ANEXO E. MONTAJE DE PISTÓN MODIFICADO EN EL MOTOR

RESUMEN

La presente propuesta tecnológica se enfocó en el estudio del impacto que tiene la geometría del pistón de un motor Qingqi 150cc, a gasolina cuatro tiempos mono cilíndrico, en el consumo de combustible y emisión de gases contaminantes como HC y CO, se parte de la modificación del pistón original, después de haber obtenido el CAD mediante el software SolidWorks, después se realizan varias simulaciones en Ansys: estática estructural, térmica y dinámica, tanto del pistón estándar como modificado, posteriormente se procedió a realizar la impresión en 3D, utilizando como material fibra de carbono, calidad de 0.1 mm y 30% de relleno entre cada capa de material de los moldes, para fundir una matriz permanente en bronce, la misma que daría los detalles externos del pistón, para los detalles internos se utilizó machos de arena de sílice mezclada con silicato de sodio, para fundir por gravedad en coquilla y obtener la pieza fundida con aluminio 4032-T6. Para los detalles finales del pistón, se procedió a la mecanización por medio de CNC con la utilización de torno y fresadora con controlador Fanuc; para la validación del trabajo de titulación se hicieron tres pruebas de consumo a diferentes revoluciones: 3000, 4000 y 5000 RPM, además de una prueba estática de análisis de gases, utilizando el analizador MAHA 6.3, con el motor funcionando en óptimas condiciones, pruebas realizadas con el pistón estándar y modificado. Se recomienda estar siempre bajo la supervisión de una persona experimentada y con la capacitación necesaria en el área de fundición ya que son procedimientos de alto peligro y que conllevan mucha responsabilidad.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <FUNDICIÓN>, <PISTÓN>, <INGENIERÍA INVERSA>, <EMISIONES DE GASES>, <PROCESOS DE MANUFACTURA>.



1/02/2021
0593-DBRAI-UPT-2021

ABSTRACT

This technological proposal was focused on the study of the impact of the geometry of the Qingqi 150cc piston; a gasoline four-stroke of a single cylinder engine, in the consumption of fuel and emission of polluting gases such as HC and CO, starting from the modification of the original piston, after obtaining the CAD using SolidWorks software, later various simulations were developed in Ansys: the static-structural, thermal and dynamic, both of the standard as the modified pistons. Then, the 3D printing was carried out, using carbon fiber as material, 0.1mm quality and 30% of infill between each layer of the molds material, to cast a permanent matrix in bronze, the same one that would give the details of the external piston. For the internal details; cores of silica sand mixed with sodium silicate, to melt by gravity in a chill and obtain the casting with aluminum 4032-T6. For the final details of the piston, machining was carried out by means of CNC with the use of a lathe and milling machine with a Fanuc controller. For the validation of the degree work, three consumption tests were made at different revolutions: 3000, 4000 and 5000 RPM, plus a static gas analysis test, using the MAHA 6.3 analyzer; with the engine running in optimal conditions, tests were performed with the standard and modified pistons. It is always recommended to be under the supervision of a professional with the necessary training in the foundry area since there are highly dangerous procedures and involves a lot of responsibility.

Keywords: <ENGINEERING SCIENCE AND TECHNOLOGY>, <FOUNDRY>, <PISTON >, <REVERSE ENGINEERING>, <GAS EMISSIONS>, <MANUFACTURING PROCESSES>.

1. INTRODUCCION

En la actualidad la industria automotriz opta por la fabricación de pequeños motores con el fin de reducir el consumo de combustible, manteniendo un buen rendimiento y potencia, tratando que sean eficientes, ya sea en vehículos o motocicletas; por lo tanto, el diseño del motor y sus partes internas deben mantener una geometría óptima, de forma que se pueda reducir peso sin perder potencia; es por eso que mediante el uso de herramientas informáticas se procede a realizar diseños y simulaciones mediante CAD “DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR” y CAE “INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA “, con el propósito de obtener resultados confiables y tratando de disminuir costos y tiempo para su fabricación y construcción.

El pistón es uno de los elementos fundamentales que conforma el motor, el cual permite que la reacción química producida por una mezcla estequiometria entre carburo y carburante, genere una explosión, recibiendo toda esta energía química el pistón y transformándola a energía mecánica; Por lo tanto, se tiene que tomar en cuenta el material de construcción; seleccionando las aleaciones metálicas correctas que reaccionen de manera favorable al momento de exponer al pistón a altas presiones y temperaturas sin que llegue a deformarse o romperse; Además la geometría de este elemento, es de gran importancia ya que altera el rendimiento y comportamiento del motor en diferentes aspectos térmicos y mecánicos, además tiene una relación directa con el consumo y emisiones de sustancias contaminantes.

El CO₂ es el gas que más contribuye al efecto invernadero, al igual que el óxido nitroso, metano y algunos más, la utilización de vehículos automotores contribuye en gran medida a la formación de estos gases y más aún cuando la mezcla aire-gasolina se quema de forma no estequiométrica. Quito, siendo la ciudad más poblada del Ecuador, en el año 2014, registró 5.1 millones de toneladas de gases de invernadero, de este total 2.8 millones fueron provenientes de transporte público y particular.

1.1 Antecedentes

En la actualidad debido a la contaminación y alteración en el impacto ambiental producido en gran parte por el automotor se ha optado por contribuir para evitar altos índices de contaminación ambiental diseñando motores más pequeños y compactos tomando en cuenta su diseño, potencia, consumo y la afectación que tendría éste hacia el medio ambiente.

Para el desarrollo y fabricación de los elementos mecánicos se los ha ido realizando mediante ayuda de los sistemas informáticos, estos permiten realizar modelados de partes mecánicas de forma virtual; para lo cual estos softwares deben tener una programación muy exacta con un amplio conocimiento de dibujo aplicado a la ingeniería, cálculo de fuerzas y distintas formas de recomendaciones especialmente al de diseño mecánico complejo, tanto en la primera etapa del (CAD) como en la última de manufactura (CAM). (Switek et al, 2004)

Los procesos de simulación permiten aplicar una amplia colección de métodos y aplicaciones para imitar el comportamiento de sistemas reales, esto se realiza mediante computadora con un software apropiado, además la simulación busca mejorar el estudio de amplias alternativas de modelos a través de imitaciones de las operaciones y flujos con respecto a un periodo tiempo determinado. (Orozco y Cervera, 2013)

La tecnología CNC o control numérico computarizado se incorporó de manera directa hacia el punzado de metales en 1792 lo que causó un gran impacto en los procesos de formado de metales lo que produjo una verdadera ventaja relacionada hacia a una significativa reducción de tiempo de construcción y producción. (Andrade, 2016)

En conclusión, gracias a la ayuda tecnológica y procesos como; modelación (CAD), simulación (CAE) y fabricación (CAM) favorecen la producción de elementos mecánicos; esto ha permitido realizar mejoras en partes y piezas mecánicas obteniendo una mejor respuesta en su duración y rendimiento por lo que ha permitido desarrollar de forma segura obteniendo resultados confiables que permitirán su producción en serie y ayudar en parte al desarrollo del país.

1.2 Planteamiento de problema

Uno de los principales componentes que conforma el motor es el pistón, por lo que el diseño geométrico del mismo es de vital importancia ya que permite soportar toda la carga que se produce por la combustión, de modo que el pistón debe tener las condiciones necesarias para soportar la fuerza de expansión y transmitir la energía química producida por la combustión a energía mecánica hacia el cigüeñal; además debe impedir el paso de los gases de combustión entre

el pistón y la pared del cilindro hacia el cárter del cigüeñal, sin embargo, debe evitarse cualquier caso de transferencia excesiva de gases de combustión en el pistón y la pared de cilindro; esto tendría como consecuencia una pérdida de potencia, una mayor transferencia de calor a los componentes y una reducción en el efecto del lubricante, por lo que se vería afectada la durabilidad como la función del motor. Considerando lo expuesto, el pistón del motor Qingqi monocilíndrico 150cc, no cuenta con el mejor diseño de su geometría, teniendo un consumo considerable de combustible y una alta emisión de gases contaminantes. El presente trabajo, se centrará mediante los conocimientos obtenidos, en buscar la mejor geometría del pistón por medio de varios diseños y simulaciones con ayuda de programas de CAD, CAE Y CAM, hasta obtener el diseño más idóneo de la geometría del pistón, que cumpla con las condiciones como: disminuir la emisión de gases contaminantes y tratar en lo posible de mantener o bajar el consumo de combustible y por medio de los talleres, laboratorios de la facultad de mecánica, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, fundir y mecanizar el pistón diseñado para posteriormente validar su fiabilidad con pruebas de consumo de combustible y emisión de gases.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación Teórica

Las empresas ecuatorianas de ensamblaje cumplen con el 20% de integración de moto partes, en todos los modelos, según el Acuerdo Ministerial N°14 264, vigente desde junio del 2015, fecha en que se firmó dicho acuerdo con el Ministerio de Industrias, reduciendo así la cantidad de partes y piezas importadas.

Este proyecto está enfocado en optimizar y fabricar un nuevo modelo de pistón de un motor marca qingqi a gasolina cuatro tiempos monocilíndrico 150cc, por lo que se considera como una propuesta tecnológica.

Considerando lo expuesto, el proyecto está orientado a incentivar y promover la producción nacional de motopartes en el Ecuador.

1.3.2 Justificación Metodológica

Se obtendrá información de fuentes primarias de documentos válidos y confiables, así como también se indagará en fuentes secundarias como: revistas, libros, folletos y demás.

Se utilizará herramientas metodológicas como: grabación de simulaciones, registro de fotografías, videos, pruebas de equipo y guías de práctica.

1.3.3 Justificación Práctica

Por medio de este proyecto se demostrará que es posible optimizar y fabricar un nuevo modelo de pistón de un motor marca qingqi a gasolina cuatro tiempos monocilíndrico 150cc y aportar a la industria manufacturera de motopartes del país, debido que a lo largo del tiempo se ha importado la mayor cantidad de partes que engloban la producción de una motocicleta. Demostrando así, que en el país es posible producir motopartes, disminuyendo paulatinamente la importación y eliminación de aranceles, todo esto es posible gracias a la formación que se ha recibido por parte de la escuela de Automotriz, Facultad de Mecánica, de la gloriosa Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Optimizar y fabricar el pistón de un motor Qingqi a gasolina de cuatro tiempos mono cilíndrico, analizando su geometría mediante un estudio CAE para mejorar el rendimiento de la combustión.

1.4.2 Objetivos específicos

- Establecer el diseño del pistón modificado que permita mejores prestaciones.
- Realizar el estudio y diseño del comportamiento del pistón de un motor de combustión interna mono cilíndrico de cuatro tiempos, tanto del pistón estándar como el modificado.
- Simular el comportamiento del pistón en su forma estándar y modificado.
- Verificar los resultados obtenidos en la simulación del pistón estándar y modificado mediante el software para ver las ventajas y desventajas que esta investigación nos indicara.
- Fabricar un pistón modificado con aluminio 4032-T6, utilizando herramientas para fundición y maquinado del elemento.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Motor de Combustión Interna

Los motores de combustión interna alternativos (MCIA) son motores térmicos de desplazamiento positivo (o volumétricos), en los que el trabajo se obtiene mediante el desplazamiento lineal del émbolo de un mecanismo biela-manivela. Se denominan motores de combustión interna porque el estado térmico se genera en el propio fluido que evoluciona en el motor. (Muñoz y Rovira, 2016, p.72)

La figura 1-2, representa el esquema básico de los MCI y la tabla 1-2, describe brevemente los componentes que aparecen en la figura.

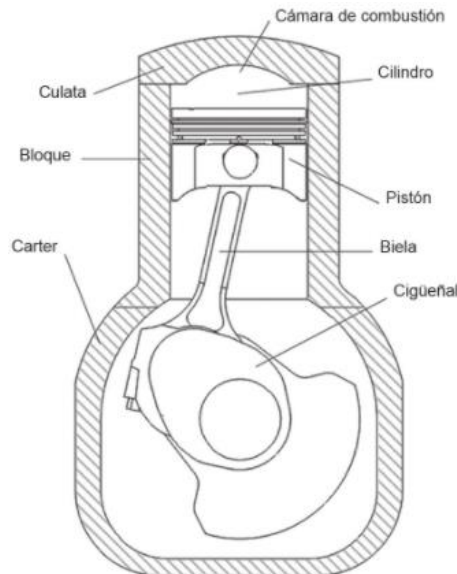


Figura 1-2: Componentes principales del MCI

Fuente: Muñoz y Rovira, 2016, p.22

Tabla 1-2: Elementos básicos del MCI

Pistón	Elemento con movimiento rectilíneo alternativo. Es el émbolo del mecanismo biela-manivela y aumenta o disminuye el volumen del cilindro.
Biela	Elemento que, junto con la manivela, convierte el movimiento lineal del pistón en el rotativo del cigüeñal.
Cigüeñal	Elemento rotativo del motor. En él se integra la manivela del mecanismo.
Cilindro	Es el volumen que aloja el fluido de trabajo.

Cámara de Combustión	Es el volumen que queda por encima del pistón al finalizar la compresión y donde básicamente tiene lugar la combustión de la mezcla.
Culata	Elemento que constituye el cerramiento superior de los cilindros.
Bloque	Elemento que contiene los cilindros.
Cárter	Cierre inferior del motor. Contiene el aceite para la lubricación.

Fuente: Muñoz y Rovira, 2016, p.23

Realizado por: Autores, 2020

El motor, durante su funcionamiento, realiza una serie de procesos que se repiten periódicamente y constituyen un ciclo termodinámico abierto (no puede ser cerrado al ser un motor de combustión interna). Los cinco procesos básicos que tienen lugar en un MCI son, (Muñoz y Rovira, 2016, p.23):

- Admisión: proceso en el que tiene lugar la entrada del fluido de trabajo (mezcla aire-combustible o aire, dependiendo del tipo de motor). (Muñoz y Rovira, 2016, p.23)
- Compresión: proceso fundamental para incrementar el rendimiento termodinámico del motor. (Muñoz y Rovira, 2016, p.23)
- Combustión: mecanismo de reacciones químicas globalmente muy exotérmicas mediante las cuáles se genera el estado térmico del fluido de trabajo (alta presión y temperatura). (Muñoz y Rovira, 2016, p.23)
- Expansión: proceso responsable de la producción de trabajo. En él, los gases producto de la combustión se expanden y desplazan al pistón, aumentando el volumen del cilindro. Dicha variación de volumen es la responsable de la producción de trabajo. La presión ejercida por los gases sobre el pistón se transforma, por equilibrio de fuerzas, en el par motor en el eje del cigüeñal. (Muñoz y Rovira, 2016, p.23)
- Escape: proceso en el que se desalojan los gases producto de la combustión para que se pueda proceder a un nuevo proceso de admisión.

Los procesos de admisión y escape constituyen lo que se denomina renovación de la carga y en ellos se intercambia masa con el exterior del motor. Los procesos de compresión, combustión y expansión constituyen el ciclo termodinámico del motor y son procesos confinados en los que no hay intercambio de materia con el exterior. (Muñoz y Rovira, 2016, p.24)

Por el propio funcionamiento del motor, los procesos no son continuos, sino que tienen lugar consecutivamente. Por lo tanto, el flujo de masa es pulsante. (Muñoz y Rovira, 2016, p.24)

2.2 Clasificación de los MCI

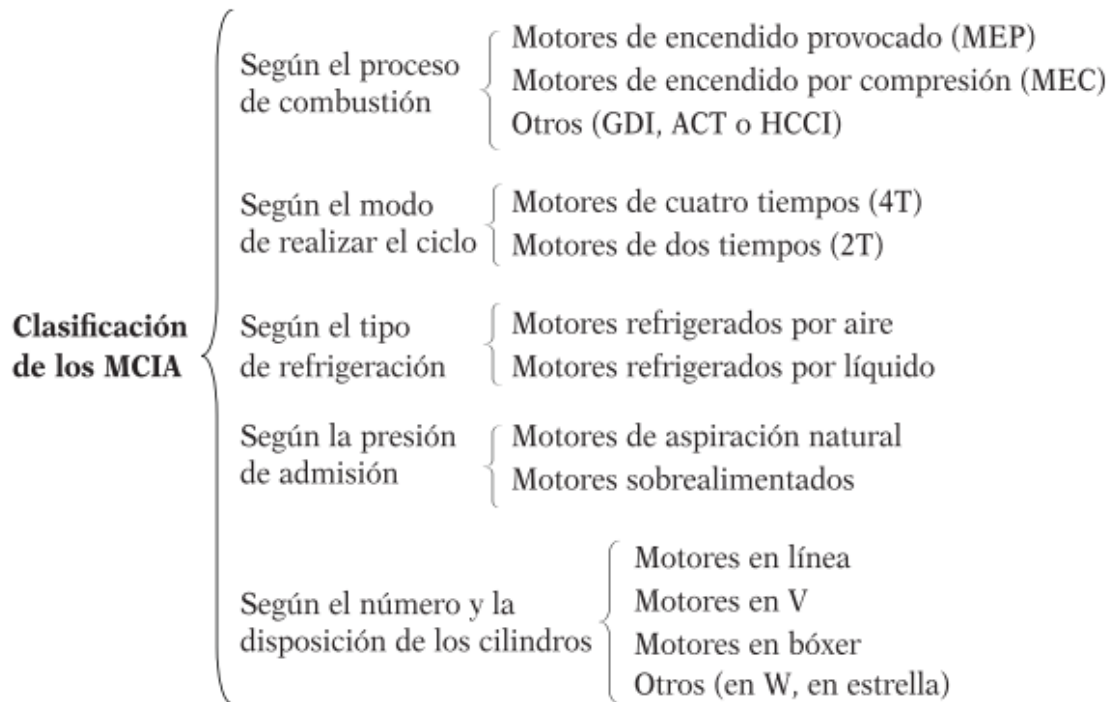


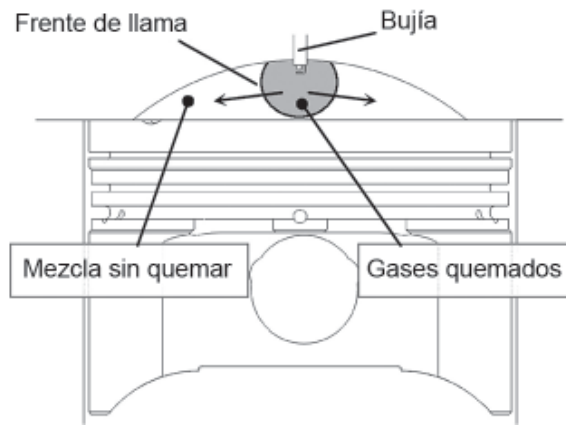
Figura 2-2: Clasificaciones de los MCI.

Fuente: Muñoz y Rovira, 2016, p.24

2.2.1 Según el proceso de combustión

2.2.1.1 Motores de encendido provocado, MEP:

También reciben el nombre de motores de encendido por chispa o motores de ciclo Otto. Se debe evitar la denominación de motor de explosión, menos correcta que las anteriores ya que en el seno del motor tiene lugar una combustión inducida por un agente, no una explosión (que no implica necesariamente una combustión). (Muñoz y Rovira, 2016, p.25)



La ignición en un MEP se produce mediante un agente externo y la combustión se propaga a través de un frente de llama.

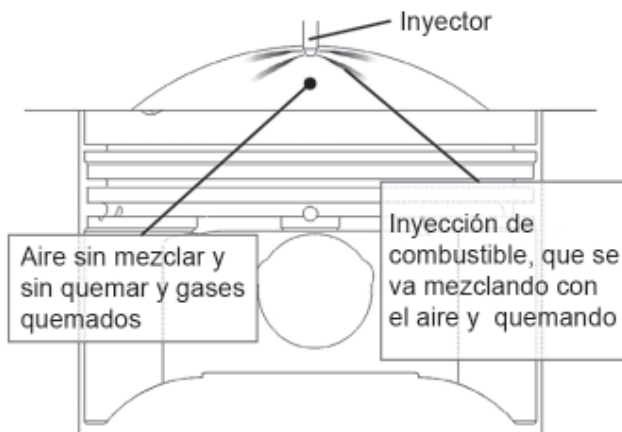
Figura 3-2: Clasificaciones de los MCI.

Fuente: Muñoz y Rovira, 2016, p.25

Son motores en los que al final del proceso de compresión se dispone de una mezcla de aire-combustible homogénea. La combustión se produce mediante la deflagración de la mezcla, que se propaga mediante un frente de llama y la ignición o encendido se consigue mediante un agente externo, como puede ser el salto de una chispa. (Muñoz y Rovira, 2016, p.25)

2.2.1.2 Motores encendidos por compresión, MEC

Usualmente reciben también el nombre de motores Diesel o motores de ciclo Diesel. En este tipo de motores, el fluido que se comprime es aire y el combustible se inyecta en la cámara una vez finalizada el proceso de compresión. La ignición se produce por la autoinflamación de parte del combustible inyectado, mientras que el resto se quema mediante una combustión por difusión que es simultánea a la propia inyección. Las condiciones que se deben alcanzar en el proceso de compresión serán aquellas que aseguren la autoinflamación de la mezcla. (Muñoz y Rovira, 2016, p.26)



La ignición en un MEP se produce por la autoinflamación de parte del combustible y la combustión se produce por difusión y es simultánea a la inyección.

Figura 4-2: Clasificaciones de los MCI.

Fuente: Muñoz y Rovira, 2016, p.26

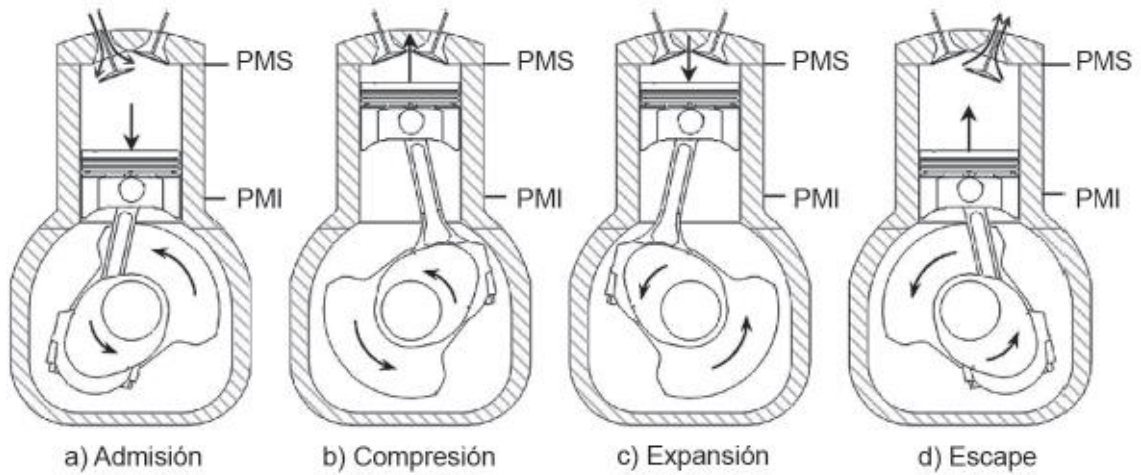


Figura 5-2: Esquema del funcionamiento del motor de cuatro tiempos.

Fuente: Muñoz y Rovira, 2016, p.26

2.2.2 Según el modo de realizar el ciclo

2.2.2.1 Motores de cuatro tiempos (4T)

En un motor de cuatro tiempos su ciclo se produce en dos vueltas del cigüeñal y cuatro del árbol de levas en donde están presentes los cuatro tiempos (admisión, compresión, explosión y escape). (Gavilán y Chávez, 2016, p.4)

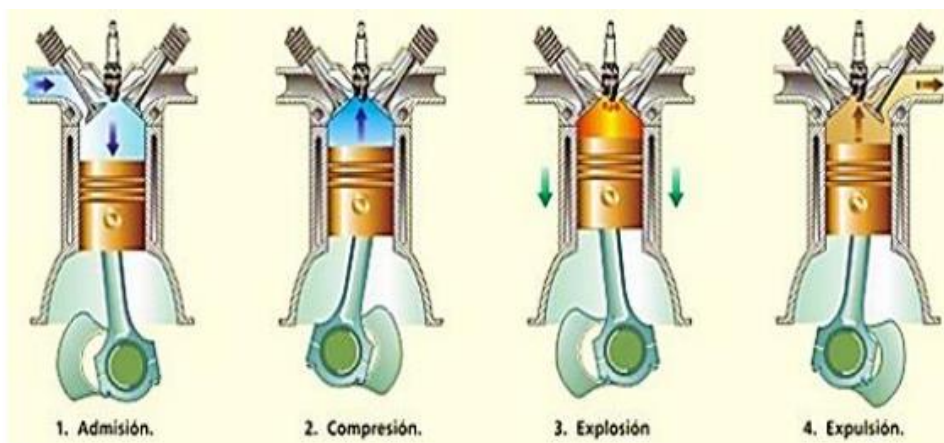


Figura 6-2: Esquema del funcionamiento del motor de cuatro tiempos (4T)

Fuente: Gavilán y Chávez, 2016, p.4

2.2.2.2 Motores de dos tiempos (2T)

Este tipo motor de combustión interna desarrolla un ciclo de funcionamiento en una sola vuelta del cigüeñal (dos carreras del pistón). Con el pistón en el P.M.I. las lumbreras de admisión, de las camisas de cilindro están descubiertas, y las válvulas de escape situadas en la culata se encuentran abiertas para expeler los gases residuales de la combustión anterior. (TECSUP, 2017, p.43)

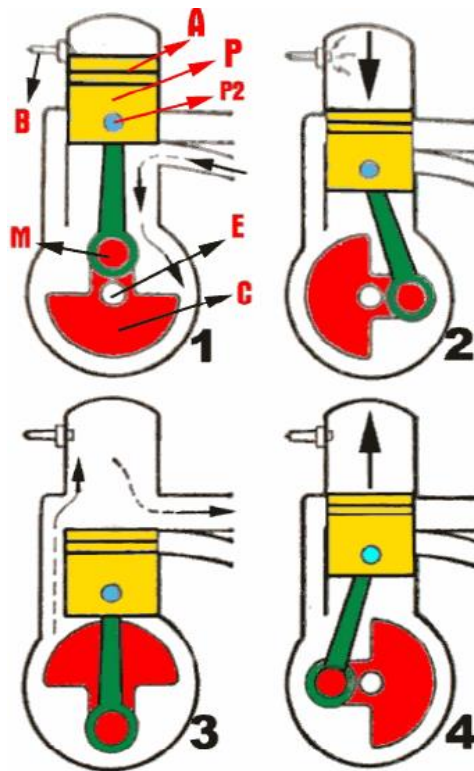


Figura 7-2: Esquema del funcionamiento del motor de dos tiempos (2T)

Fuente: TECSUP, 2017, p.43

El aire es introducido por los sobrealimentados a través de las lumbreras de admisión. El pistón comienza a subir y cuando está aproximadamente a un cuarto de su recorrido, se cierran las válvulas de escape y las lumbreras de admisión son tapadas por el pistón. En este momento, el cilindro estará lleno de aire fresco; el pistón continúa su marcha hacia arriba, comprimiendo el aire hasta llegar al P.M.S., se realiza así una carrera del pistón con media vuelta del eje cigüeñal. (TECSUP, 2017, p.44)

Con el aire comprimido a la presión y temperaturas ideales se inyecta el combustible y se produce la combustión, la expansión de los gases empuja el pistón hacia abajo y cuando ha descendido tres cuartos de su carrera, se abren las válvulas de escape y los gases quemados que aún conservan alguna presión comienzan a salir, el pistón continúa bajando y descubre las lumbreras de admisión, por donde entra el aire que termina de desalojar los gases quemados por medio que se denomina el “barrido”; así el cilindro queda lleno de aire fresco y el pistón estará en posición de

repetir el ciclo. Al llegar el pistón al P.M.I. ha hecho dos carreras con una vuelta del cigüeñal. (TECSUP, 2017, p.44)

2.2.3 Según el tipo de refrigeración

El motor de una moto en funcionamiento puede llegar a temperaturas tan altas que, entre otras cosas, causaría problemas graves como la fundición de las piezas del motor. Para contrarrestar esta situación, se utilizan sistemas de refrigeración por aire o por agua, dos formas distintas de reducir los grados considerablemente, permitiendo que todo funcione con normalidad. (CANALMOTOR, 2019)

La refrigeración, desde un punto de vista termodinámico, conduce a unas pérdidas de calor que reducen el rendimiento del motor. Sin embargo, como ya se ha dicho, es absolutamente necesaria para que sus componentes no alcancen temperaturas excesivas y sufran deterioros mecánicos. (Muñoz y Rovira, 2016, p.32)

A continuación, analizamos las ventajas y los inconvenientes de cada uno de los sistemas de refrigeración, para que puedas decidir con acierto el más adecuado a para tu moto.

2.2.3.1 Refrigeración por aire

Como su propio nombre indica, el sistema de refrigeración por aire utiliza el aire del exterior para el enfriar el motor. El aire circula por las paredes del cilindro y de la culata y, gracias unas superficies radiales denominadas aletas (situadas en el bloque y en la culata), se consigue evacuar el calor generado. (CANALMOTOR, 2019)

Para su funcionamiento, no necesita de un radiador o una bomba de circulación, por lo que las motos provistas con este sistema de refrigeración son más simples en su construcción y mantenimiento. (CANALMOTOR, 2019)



Figura 8-2: Refrigeración por Aire

Fuente: BIKER, 2019; citado en Chapapoya y García, 2019, p.13

➤ **Ventajas refrigeración por aire**

- Es más barata que la que funciona por agua.
- Ocupa menos espacio y es más sencilla.
- Tarda menos tiempo en alcanzar la temperatura óptima para empezar a funcionar.
- No requiere mantenimiento

➤ **Problemas refrigeración por aire**

- La refrigeración es inestable.
- En climas cálidos puede generarse una situación de sobrecalentamiento.
- Tiene menos eficiencia.

En definitiva, este tipo de motores son más económicos, duraderos, y son perfectos para andar por la ciudad y en climas no tan calurosos. (CANALMOTOR, 2019)

2.2.3.2 Refrigeración por aire forzado

El sistema de refrigeración por aire forzado, es un sistema mayormente utilizado por motocicletas tipo scooter de bajo cilindraje, este sistema se adopta en las scooter ya que este tipo de motos por razones de diseño y estéticas no tienen expuesto el motor a la corriente directa del aire y más bien va encajonado en la parte posterior de la moto, estas motos tienen una turbina que gira por impulso del cigüeñal, absorbe el aire por el llamado caracol o caracolillo lateral y lo canaliza de manera eficiente y directa hacia el motor para poder obtener y mantener una temperatura óptima en el motor. (BIKER, 2019; citado en Chapapoya y García, 2019, p.13)



Figura 9-2: Refrigeración por Aire forzado

Fuente: BIKER, 2019; citado en Chapapoya y García, 2019, p.13

2.2.3.3 Refrigeración por agua

Este sistema utiliza un líquido refrigerante compuesto por agua y aditivos, el cual circula por unos conductos situados alrededor de las paredes del cilindro. Éste recoge todo el calor generado y lo lleva al radiador, que se encarga de enfriarlo y devolverlo de nuevo al cilindro para repetir el ciclo. (CANALMOTOR, 2019)

Cuando el termostato detecta que el motor está frío, cierra el paso del líquido al cilindro, la cámara de combustión y la culata, con el objetivo de que alcance rápidamente la temperatura óptima para funcionar. Cuando esto ocurre, el termostato abre el paso del agua a los componentes. Así, gracias a la bomba, el líquido circula libremente por el interior del circuito, atrapa el calor que va encontrando y lo lleva al radiador, que expone ese líquido caliente al aire para que pierda temperatura y que se repita todo el proceso. (CANALMOTOR, 2019)

Comparado con el anterior, este sistema es más caro, y sí requiere de mantenimiento, ya que se compone de muchos elementos (termostato, bomba de agua, radiador, ventilador, cámaras de agua). Regula mejor la temperatura. (CANALMOTOR, 2019)

➤ **Ventajas refrigeración por agua**

- Regula mejor la temperatura
- Consigue homogeneizar la temperatura.
- El motor equipado con este sistema es más silencioso.
- Consume menos energía.
- Se puede usar en motos de gran potencia, ya que pueden soportar compresiones de proporción más altas y corren a más revoluciones por minuto (RPM).

➤ **Desventajas refrigeración por Agua**

- El sistema de agua es más caro de instalar que el de aire.
- Sí requiere mantenimiento.
- Su peso es mayor.

- A diferencia de la refrigeración por aire, la de agua sí depende de algo. Concretamente del líquido refrigerante. Sin él, se podrían causar daños graves al motor, vaso de expansión y manguitos), pero, en cambio, es más eficaz. (CANALMOTOR, 2019)

La principal diferencia entre ambos sistemas de refrigeración, además del precio, tiene que ver con la potencia que se puede generar. Si comparamos dos motos de la misma cilindrada con sendos sistemas de refrigeración, se observa una diferencia de entre 5 y 10 HP (Horse Power, caballo de fuerza en español), debido a que en la moto refrigerada por agua la temperatura del motor se regula mejor, lo que permite al motor trabajar a mayor fuerza, con mayor compresión y más revoluciones por minuto. (CANALMOTOR, 2019)

Por otra parte, si lo que buscas es un sistema más respetuoso con el medio ambiente, debes saber que la refrigeración por agua contamina menos que la de aire. (CANALMOTOR, 2019)

2.2.3.4 Refrigeración por Aire y aceite

El sistema de refrigeración por aire y aceite y es un método que va de la mano y complementa el sistema de refrigeración por aire, este tipo de refrigeración aprovecha el propio aceite lubricante de la moto como medio de enfriamiento de las partes internas del motor. (BIKER, 2019; citado en Chapapoya y García, 2019, p.14)

Este método utiliza primero el aceite para recoger el calor interno de la moto, más exactamente de la culata y del bloque inferior y después mediante una bomba interna lo impulsa hacia el radiador, el cual lo enfría por aire y lo regresa de nuevo fresco hacia el motor donde se sigue haciendo el mismo proceso. En este sistema vemos como punto negativo que también se necesita del movimiento del vehículo para mantener una temperatura óptima. (BIKER, 2019; citado en Chapapoya y García, 2019, p.14)



Figura 10-2: Refrigeración por Aire y aceite

Fuente: BIKER, 2019; citado en Chapapoya y García, 2019, p.14

2.3 Estequiometría de combustibles

La estequiometria es el cálculo de las relaciones cuantitativas entre los reactantes (oxígeno y combustible) y los productos de la combustión. El balance de estas reacciones depende únicamente de la conservación de la masa de cada una de las especies químicas que intervienen en la reacción. (Payri y Desantes, 2011, p. 356)

Es un proceso de combustión ideal de un hidrocarburo, si hay suficiente oxígeno disponible, el carbono y el hidrógeno que componen el combustible pueden ser completamente oxidados en dióxido de carbono y agua. (Payri y Desantes, 2011, p. 356-357)

2.4 Movimiento del fluido dentro de la cámara de combustión

El funcionamiento eficiente de un motor depende de una gran turbulencia en los flujos de aire-combustible, además de los principales flujos de volumen generados de remolino, aplastamiento, aplastamiento inverso y caída. (Pulkrabek, 1997)

2.4.1 Turbulencia, remolino y aplastamiento

Turbulencia mejora la mezcla, la evaporación, la transferencia de calor y la combustión. Alta turbulencia durante la combustión es deseable, y parte del diseño de la geometría de la cámara de combustión es para promover esto. (Pulkrabek, 1997)

La turbulencia es una función de la velocidad del motor (Figura 11-2). Como la velocidad se incrementa, aumenta la turbulencia, y esto aumenta la velocidad de evaporación, la mezcla y la combustión. (Pulkrabek, 1997)

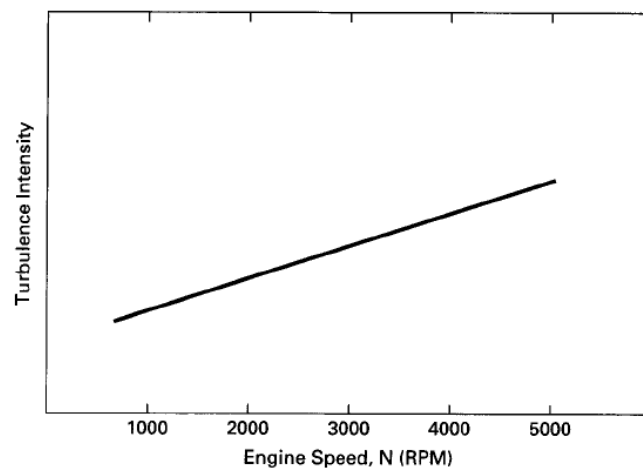


Figura 11-2: Turbulencia de flujos de gas en función de RPM

Fuente: (Pulkrabek, 1997)

El remolino es el movimiento de rotación generado en el cilindro durante admisión y compresión, el aplastamiento es el movimiento radial hacia adentro que se produce cuando el pistón se acerca al Punto muerto superior, y la caída se crea por el movimiento de aplastamiento y la forma del espacio libre volumen. Todos estos movimientos mejoran el funcionamiento correcto del motor. (Pulkrabek, 1997)

2.5 Emisiones Contaminantes

El aire está compuesto básicamente por dos gases: nitrógeno (N₂) y oxígeno (O₂). En un volumen determinado de aire se encuentra una proporción de nitrógeno (N₂) del 79 % mientras que el contenido de oxígeno es aproximadamente de un 21 %. El nitrógeno durante la combustión, en principio, no se combina con nada y tal como entra en el cilindro es expulsado al exterior sin modificación alguna, excepto en pequeñas cantidades, para formar óxidos de nitrógeno (NO_x). El oxígeno es el elemento indispensable para producir la combustión de la mezcla. (Jaramillo y Moyano, 2016, p.24)

El control de las emisiones contaminantes es el factor que gobierna el diseño de los modernos sistemas de combustión. Los contaminantes más importantes derivados del proceso de combustión son los hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados (aldehydos, alcanos, alquenos, etc.) y los óxidos de nitrógeno (NO_x), anteriormente comentados, además de las partículas, monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x) y gases que contribuyen al efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), estas sustancias representan una fracción muy pequeña del total de los gases de escape. (Payri y Desantes, 2011, p. 416)

2.5.1 Sustancias que integran los gases de Escape

- **Óxidos de Nitrógeno (NO_x).** Los óxidos de nitrógeno se producen al existir una alta presión, alta temperatura y exceso de oxígeno durante la combustión en el motor. El monóxido de nitrógeno (NO), es un gas incoloro, inodoro e insípido. Al combinarse con el oxígeno del aire, es transformado en dióxido de nitrógeno (NO₂), de color pardo rojizo y de olor muy penetrante, provoca una fuerte irritación de los órganos respiratorios. Estas altas temperaturas generan a su vez una mayor emisión de óxidos nítricos. (Payri y Desantes, 2011).
- **Monóxido de carbono (CO).** Se produce con motivo de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Es un gas incoloro, inodoro, explosivo y altamente tóxico. Bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos. Es mortal, incluso

en una baja concentración en el aire que respiramos. En una concentración normal en el aire ambiental se oxida al corto tiempo, formando dióxido de carbono CO₂. (Payri y Desantes, 2011).

- **Dióxido de azufre (SO₂).** El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso propicia las enfermedades de las vías respiratorias, pero interviene sólo en una medida muy reducida en los gases de escape. Es un gas incoloro, de olor penetrante, no combustible. (Payri y Desantes, 2011).
- **Dióxido de carbono (CO₂).** Se produce al ser quemados los combustibles que contienen carbono. El carbono se combina durante esa operación con el oxígeno aspirado. Es un gas incoloro, no combustible. (Payri y Desantes, 2011).
- **Plomo.** El plomo en el combustible impedía la combustión detonante debida a la auto ignición y actuaba como una sustancia amortiguadora en los asientos de las 26 válvulas. Con el empleo de aditivos ecológicos en el combustible sin plomo se han podido mantener casi idénticas las características antidetonantes. (Payri y Desantes, 2011)
- **Hidrocarburos (HC).** Son restos no quemados del combustible, que surgen en los gases de escape después de una combustión incompleta. La mala combustión puede ser debido a la falta de oxígeno durante la combustión (mezcla rica) o también por una baja velocidad de inflamación (mezcla pobre), por lo que es conveniente ajustar la riqueza de la mezcla. (Payri y Desantes, 2011)
- **Las partículas de hollín (MP).** Son generadas en su mayor parte por los motores diésel, se presentan en forma de hollín o cenizas. Los efectos que ejercen sobre el organismo humano todavía no están aclarados por completo. (Payri y Desantes, 2011)
- **Medidas típicas de emisiones.** Los niveles de emisión pueden expresarse de distintas formas que a veces pueden dar lugar a comparaciones dificultosas y ambiguas. Las unidades más comúnmente utilizadas son el tanto por uno o tanto por ciento, las partes por millón y si las cantidades emitidas son muy pequeñas, en partes por billón. (Payri y Desantes, 2011)

2.5.2 Analizador de gases

Un analizador de gases de combustión es un equipo que a través de una muestra realiza un escaneo de las sustancias químicas de que conforman los gases de combustión, estos equipos suelen tener una cámara en la que ingresa una muestra del gas de combustión desde el tubo de escape a través de una sonda de toma, una vez la muestra se encuentra en el interior de la cámara del equipo, éste procede con el análisis un ejemplo de lo que un analizador de gases puede detectar. (Mafla, 2019, p.37)

Tabla 2-2: Rango de emisión de gases

VARIABLE	RANGO DE EMISIÓN	SISTEMA
Monóxido de carbono (CO)	0 - 10%	Sistema infrarrojo
Dióxido de carbono	0 - 16%	Sistema infrarrojo
Hidrocarburos (HC)	0 - 5000 ppm	Sistema infrarrojo
Oxígeno (O ₂)	0 - 21%	Celda electroquímica
Oxígeno de nitrógeno (NO _x)	0 - 5000 ppm	Con sensor
Lambda (λ)	0,8 - 1,2	
Temperatura	5°C - 45°C	
Humedad relativa	10% - 90%	

Fuente: Mafla, 2019, p.38

Realizado por: Autores, 2020

2.5.2.1 Analizador de gases Maha MET 6.3

Este equipo permite medir las concentraciones de emisiones contaminantes en vehículos equipados con motor diésel o gasolina, en volumen de monóxido de carbono [CO en % V], dióxido de carbono [CO₂ en % V], oxígeno [O₂ en % V] hidrocarburos [HC en ppm], óxidos de nitrógeno [NO_x en ppm], con cálculo de valor lambda, opacidad [porcentaje y valor k] y material particulado [mg/m³], (Lincango y Vega, 2019), sus principales componentes son:

- Analizador de gases de escape combinado MET 6.3
- Sonda de medición de enrejado de acero 600 mm, manguera de sonda 2000 mm
- Interfaz LAN con cable LAN (RJ 45)
- Fuente de alimentación 110V - 230V, 50/60Hz
- Manguera transparente para la separación del condensado con recipiente
- Filtro principal, filtro de punto cero, filtro de condensado
- Sensor de O₂ electroquímico
- Pinzas Trigger para MET 6.3 para el registro inductivo del número de revoluciones en cables de encendido
- 2 filtros de repuesto, 2 juntas de repuesto

El analizador de gases se observa en la figura 12-2 y las especificaciones técnicas del mismo en la tabla 3-2.



Figura 12-2: Analizador de gases MAHA MET 6.3.

Fuente: Autores, 2020

Tabla 3-2: Rango de emisiones de gases.

PROPIEDADES TÉCNICAS DE MEDICIÓN						
Magnitudes	Rango de medición	Precisión de medición	Principio de medición	Resolución	Tiempo de reacción (T90)	Tiempo de gas
HC (Hexano)	0 – 2000 RPM	± 4 ppm abs. o el 3% rel.	NDIR	1 ppm vol.	3,5 s	2,8 s
HC (propano)	0 - 4 000 ppm	± 8 ppm abs. o 3 % rel.				
	4 001 - 10 000 ppm	± 5 % rel.				
	10 001 - 30 000 ppm	± 10 % rel.				
CO	0,00 - 10,00 % vol.	± 0,02 % abs. o ± 3 % rel.	0,01 % vol.			
	10,00 - 15,00 % vol.	± 5 % rel.				

CO ₂	0,00 - 16,00 % vol.	± 0,3 % abs. o ± 3 % rel.				
O ₂	0,00 - 25,00 % vol.	± 0,02 % abs. o 1 % rel.	Electroquímico	0,01 % vol.	5 s	3,3 s
Lambda	0 - 9,999		Calculado según Brettschneider	0,001		
Coefficiente de opacidad	-1		Medición de extinción	-1	Modo A 0,05 s Modo B 1 s	1,8 s
Grado de opacidad	0 - 99 %			0.1 %		
Concentración de masa de partículas	1 - 1100 mg/m ³			1 mg/m ³		
Temp. Motor	0-150°C			1°C		
Número de revoluciones	400-8000 min ⁻¹			1 min ⁻¹		
Alimentación entrada de equipo						
Alimentación de corriente				10-30 V DC		
Alimentación de energía				60 W		

Fuente: Lincango y Vega, 2019

Realizado por: Autores, 2020

2.6 CAD

CAD significa: “Diseño asistido por computadora”, en inglés (Computer Aided Design). Representa el conjunto de aplicaciones el producto a fabricar. Permite al diseñador crear imágenes de partes, circuitos integrados, ensamblajes y modelos de prácticamente todo lo que se le ocurra en una estación gráfica conectada a un computador. Estas Imágenes se transforman en la base de un nuevo diseño, o en la modificación de uno previamente existente. (Perales, 2015)

2.6.1 SolidWorks

Es un software de diseño CAD 3D para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D, ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del

producto. El programa permite crear, diseñar, simular, fabricar y gestionar los datos de proceso de diseño.

2.7 CAE

CAE significa: “Ingeniería asistida por computadora”, por sus siglas en inglés (Computer Aided Engineering). Este sistema engloba el conjunto de herramientas informáticas que permiten analizar y simular el comportamiento del producto diseñado. Es la tecnología que analiza un diseño y simula su operación para determinar su apego a las condiciones de diseño y sus capacidades. (Perales, 2015).

2.7.1 Ansys Workbench

Es un software especializado en la simulación de estructuras mecánicas, mecánicas de fluidos, temperaturas, electromagnetismo, etc. Además, este programa se basa en el análisis de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos para fluidos. (Vega, 2019)

2.7.1.1 Módulo Static structural

Determina los desplazamientos, tensiones, deformaciones y fuerzas en estructuras o componentes provocadas por cargas que no inducen efectos de inercia y amortiguación significativos. Se asumen condiciones de respuestas y cargas estables. Se supone que las cargas y la respuesta de la estructura varía lentamente con respecto al tiempo. (ANSYS, 2020).

2.7.1.1.1 Estrés equivalente (Von Mises)

Permite representar cualquier estado de tensión tridimensional arbitrario como un único valor de tensión positivo. La tensión equivalente es parte de la teoría de rotura por tensión equivalente máxima utilizada para predecir la fluencia en un material dúctil. (ANSYS, 2020).

2.7.1.1.2 Factor de seguridad

Este resultado es un gráfico de contorno del factor de seguridad con respecto a una falla por fatiga en una vida de diseño determinado, el factor de seguridad máximo informado es 15. (ANSYS, 2020).

2.7.1.1.3 Fatiga

Determina la vida, el daño y el factor de información de seguridad utilizando un enfoque de vida de tensión. (ANSYS, 2020).

2.7.1.1.4 *Vida útil*

Este gráfico de contorno de resultado muestra la vida disponible para el análisis de fatiga dado. Si la carga es de amplitud constante, esto representa el número de ciclos hasta que la pieza fallará por fatiga. Si la carga no es constante, esto representa el número de bloques de carga hasta la falla. Por lo tanto, si el historial de carga dado representa un mes de carga y se encuentra que la vida útil es de 120, la vida útil esperada del modelo sería 120 meses. (ANSYS, 2020).

2.7.1.2 *Módulo Transient Thermal*

Determina las temperaturas y otras cantidades térmicas que varían con el tiempo. La variación de la distribución de temperatura a lo largo del tiempo es de interés en muchas aplicaciones, como la refrigeración de paquetes electrónicos o análisis de enfriamiento para el tratamiento térmico. También son de intereses los resultados de la distribución de temperatura en tensiones térmicas que pueden causar fallas. (ANSYS, 2020).

2.7.1.2.1 *Temperatura total*

Es un sistema térmico de estado estacionario o transitorio, se calcula la distribución de temperatura en toda la estructura. El alcance le permite limitar la visualización de temperatura a entidades geométricas particulares. De manera similar, el alcance le permite obtener reacciones en objetos de condición de límites específicos. Los resultados de temperatura se pueden mostrar como un gráfico de contorno. (ANSYS, 2020).

2.7.1.2.2 *Flujo de calor (Total heat flux)*

La aplicación mecánica calcula el flujo de calor en todo el cuerpo. El flujo de calor se puede generar como componentes vectoriales individuales x, y o z. (ANSYS, 2020).

2.7.1.3 *Módulo Transient Structural*

Determina la respuesta dinámica de una estructura bajo la acción de cualquier carga general dependiente del tiempo. Puede usarlo para determinar los desplazamientos, deformaciones, tensiones y fuerzas que varían en el tiempo en una estructura a medida que responde a cualquier carga transitoria. La escala de tiempo de la carga es tal que la inercia o los efectos de amortiguación se consideran importantes. (ANSYS, 2020).

2.8 CAM

CAM significa: “Fabricación Asistida por computadora”, por sus siglas en inglés (Computer Aided Manufacturing). Este Sistema agrupa las aplicaciones encargadas de traducir las especificaciones de diseño a especificaciones de producción. (Perales, 2015)

La fabricación asistida por computadora es una aplicación de técnicas de control adaptativo entre el ordenador y máquinas automáticas que mediante un lenguaje de programación le permite al ordenador enviarle información y especificaciones de construcción de la pieza a las máquinas automatizadas. Esta evolución industrial se da mediante la incorporación del ordenador para procesos de automatización en los años 80.

La simulación grafica de los procesos de fabricación permite detectar y corregir errores fácilmente, con que la puesta a punto de los procesos es mucho más rápida. (Ferré, 2009, p.7)

2.8.1 Fases de ciclo para preparación de proceso de producción

Según (Ferré, 2009, p.20), el objetivo de preparación del proceso consiste en determinar los medios y sistemas a utilizar en el taller para obtener las piezas y productos con especificaciones definidas, para ello las tareas a desarrollar pueden agruparse en las siguientes fases:

1. Definición de la primera materia a utilizar, es decir que el material se precisa a acoplar, en estado, formas, dimensiones, propiedades, etc.
2. Estudio del proceso de fabricación estableciendo la secuencia de operaciones a realizar y el trabajo a efectuar en cada una de ellas.
3. Definición en cada fase de las condiciones de fabricación, si es mecanizado velocidades de rotación, avance y profundidad de pasada, refrigeración, etc.
4. Cálculo de tiempos, tanto maquina como hombre en cada fase.
5. Diseño de matrices, utillajes y herramientas necesarias para completar el equipo existente.
6. Definición e instalación de los nuevos elementos de producción necesarios y estudio de los puestos de trabajo correspondientes.
7. Documentación del proceso con la especificación de todas y cada una de sus partes con el nivel de detalle necesario para su ejecución y control en el taller. Esta documentación incluye también los programas para las máquinas automáticas que pueden ser:
 - Programas de las máquinas de control numérico
 - Programas de los robots
 - Programas de las máquinas de medición por coordenadas.
 - Programa de los controladores del proceso o de las pruebas.

2.8.2 Control numérico por computadora (CNC)

Es un sistema computarizado que permite manipular maquinas herramientas mediante un software especializado con la finalidad de manipular y maquinara una pieza en el interior de la maquina permitiendo realizar movimientos en los ejes x, y, z, gracias a esto permite realizar trabajos como; desbastar, taladrar, roscar, fresar en los 3 ejes de forma automática.

2.8.3 Lenguaje de programación

Se lo conoce como un lenguaje formal diseñado para organizar algoritmos y procesos lógicos compuesto por símbolos y reglas sintácticas o semánticas que se expresa mediante instrucciones y relaciones lógicas, dando como resultado la construcción de un código fuente de una aplicación o pieza de software determinado, todo esto será procesado por un ordenador o sistema informático de modo que nos permita controlar el comportamiento físico y lógico de una máquina. (Raffino, 2020)

2.8.4 Programación automática

El ordenador a partir de la geometría de la pieza y de las características de la máquina de control numérico, ejecute todos los pasos necesarios para obtener el programa de CNC sin ninguna intervención humana. (Ferré, 2009, p.77)

Para esto se ha desarrollado unos lenguajes de alto nivel y el software correspondiente para la compilación y edición de los resultados. (Ferré, 2009, p.77)

Según (Ferré, 2009, p.78), en la programación asistida por computador la tarea del programador se reduce a:

1. Definir el contorno de la pieza con los elementos geométricos de que dispone: puntos, líneas, arcos, planos, cilindros, esferas y superficies regladas, codificándolos de acuerdo con el lenguaje de programación utilizado.
2. Establecer el recorrido de la herramienta para el mecanizado de contorno de la pieza. Los movimientos se hacen sobre los elementos geométricos definidos anteriormente. El programador dispone de una serie de comandos para mover la herramienta a lo largo de la superficie de la pieza para posicionarla y ejecutar las operaciones de mecanizado necesarias.
3. Introducir las condiciones de funcionamiento de la maquina como las herramientas a utilizar, velocidades de avance y rotación, paradas temporizadas, refrigeración, etc.

2.8.5 Funciones de programación CNC

Las principales funciones que conforma una programación CNC que compone el código ISO son:

2.8.5.1 Funciones preparatorias (G)

Permiten posicionar la herramienta, indicar el tipo de trayectoria, aplicar una compensación longitudinal o radial por tamaño de herramienta. (Sánchez, 2012, p.25)

Tabla 4-2: Lista de funciones preparatorias

G00	Posicionado punto a punto	G34	Fileteado de paso creciente
G01	Interpolación lineal para dimensiones medias	G35	Fileteado de paso decreciente
G02	Interpolación lineal para dimensiones medias en sentido anti trigonométrico	G40	Anulación de corrección de la herramienta
G03	Interpolación circular en sentido trigonométrico	G41	Corrección de la herramienta a izquierda
G04	Parada temporizada	G42	Corrección de herramienta a derecha
G05	Parada suspensiva	G43	Corrección de herramienta positiva
G08	Aceleración	G44	Corrección de herramienta negativa
G09	Deceleración	G45	Corrección de herramienta + / +
G10	Interpolación lineal para dimensiones grandes	G46	Corrección de herramienta + / -
G11	Interpolación lineal para dimensiones grandes	G47	Corrección de herramienta - / -
G12	Interpolación en tres dimensiones	G48	Corrección de herramientas - / +
G13	Elección eje x	G60	Posicionado de precisión 1
G14	Elección del eje y	G61	Posicionado de precisión 2
G15	Elección del eje z	G63	Ciclo preparatorio para taladrar
G17	Elección de plano XY	G64	Cambio de la velocidad de avance
G18	Elección del plano YZ	G80	Anulación ciclo fijo

G19	Elección del plano ZX	G81	Ciclo fijo 1
G20	Interpolación cir. dim. Grandes sent. Ant.	G82	Ciclo fijo 2
G21	Interpolación cir. dim pequeñas sent. Ant.	G83	Ciclo fijo 3
G30	Interpolación cir. Dim. grandes Sent. trig.	G84	Ciclo fijo 4
G31	Interpolación cir. Dim. pequeñas sent. Trig.	G85	Ciclo fijo 5
G33	Fileteado de paso constante	G86	Ciclo fijo 6

Fuente: Ferré, 2009, p.68

Realizado por: Autores, 2020

2.8.5.2 *Función de control de avances y velocidades de corte (F) y (S):*

Sirve para fijar la velocidad de avance y corte de la máquina. (Sánchez, 2012, p.25).

Se puede indicar mediante un ejemplo, si se quiere poner el avance en milímetros sobre revolución tenemos G95, también se tiene la opción de avance en milímetros sobre minuto G94:

➤ **N20 G94F350**

De este bloque interpretamos que el avance es de 350 en milímetros sobre revolución. (Tornero Martínez, 2012; citado en Ramos J, 2019 p. 11)

2.8.5.3 *Funciones de control y herramientas (T):*

Contiene la información sobre la geometría de las herramientas que se van a utilizar en cada fase, para poder aplicar la compensación en radio y/o longitud. (Sánchez, 2012, p.25)

2.8.5.4 *Funciones auxiliares (M)*

Contienen información lógica sobre como activar el refrigerante o especificar el sentido de giro del usillo. (Sánchez, 2012, p.25)

2.8.6 *Etapas de fabricación*

En el proceso de fabricación de las maquinas herramientas hay dos etapas que son acabado y desbaste. (Tornero Martínez, 2012; citado en Ramos J, 2019 p. 13)

2.8.6.1 *Desbaste*

El desbaste consiste en realizar pasadas continuamente hasta llegar a la forma de la pieza final pro con mayor dimensión para pasar a la siguiente etapa de acabado. (Tornero Martinez, 2012; citado en Ramos J, 2019 p. 13)

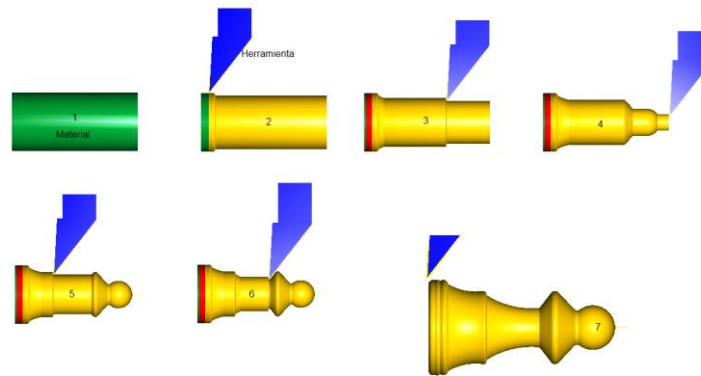


Figura 13-2: Desbaste en control numérico 1

Fuente: Fanuctorno, 2012

2.8.6.2 Acabado

Esta consiste en el mismo procedimiento de desbaste solo que esta vez trata de dejar el mínimo de material sobrante y utiliza funciones como G1, G2, G3 etc. (Tornero Martinez, 2012; citado en Ramos J, 2019 p. 13)

2.9 Fundición

Este proceso permite fundir elementos a altas temperaturas con el fin de cambiar su estado sólido a líquido y luego vacíalo en un molde y dejarlo enfriar donde posteriormente se obtendrá una pieza.

Según (Ríos y Vargas, 2018, p.263), existen ventajas y desventajas de la fundición:

➤ Ventajas

- Es posible fabricar piezas geométricas complejas (internas o externas)
- Es posible fabricar piezas grandes (toneladas), como por ejemplo esculturas
- Se puede aplicar a cualquier material que pueda fundirse
- Algunos procesos de fundición no requieren procesos subsecuentes de acabado de piezas,

➤ Desventajas

- Posible formación de porosidades que afectan las propiedades mecánicas de la pieza fabricada.
- Se puede presentar piezas con deficiente acabado superficial y baja precisión dimensional.
- Existen riesgos ambientales y riesgos para los operarios por efecto de la temperatura y de los gases.

2.9.1 Procesos de fundición

Para los procesos de fundición, se puede realizar algunos tipos de moldeo, los cuáles se detallan a continuación:

2.9.1.1 Colada en matriz o fundición en coquilla

Se caracteriza por el empleo de moldes metálicos (matrices) producidos en hierro gris o acero. Este tipo de proceso se emplea para lotes grandes de producción de piezas medianas cuya geometría permite su llenado por acción exclusiva de las fuerzas de gravedad (por ejemplo, pistones automotrices), véase la figura 14-2. (Ortiz et al., 2013)

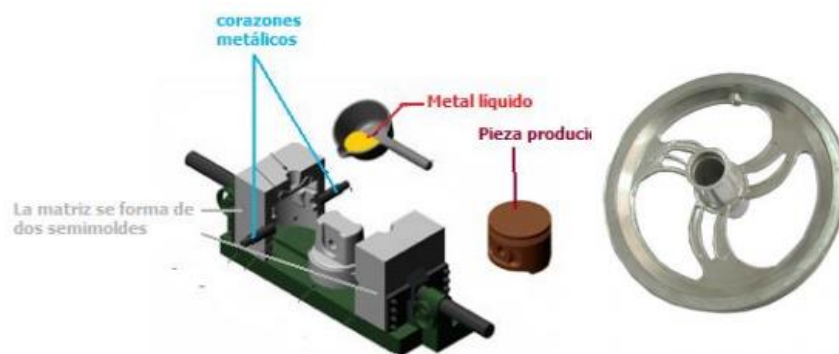


Figura 14-2: Colada en matriz

Fuente: Ortiz et al., 2013

2.9.1.2 Fundición a presión o inyección de metales

Se emplea para piezas medianas y pequeñas (desde unos gramos hasta unos 50 kg) en metales y aleaciones de bajo punto de fusión (generalmente menor a 650 °C; aleaciones de aluminio y de zinc), de geometrías complejas y espesores pequeños (del orden de unos cuantos mm), en lotes de producción muy grandes (mínimo del orden de unas 10,000 piezas). Se caracteriza por su reducido costo de operación, aunado a excelentes acabados y tolerancias cerradas, véase la figura 15-2. (Ortiz et al., 2013).



Figura 15-2: Máquina para inyección de metales

Fuente: Ortiz et al., 2013

2.9.1.3 Fundición prensada

Fue desarrollada ya en la segunda mitad del siglo XX (hacia 1960) e involucra la solidificación del metal bajo alta presión; con esto se pretende combinar la forja con la colada, afinar la microestructura y obtener mejores propiedades mecánicas, véase la figura 16-2. (Ortiz et al., 2013).



Figura 16-2: Descripción esquemática de proceso del moldeado por compresión

Fuente: Ortiz et al., 2013

2.9.1.4 Fundición a baja presión

En este caso se emplean moldes de grafito o también matrices metálicas. El proceso se caracteriza en que el llenado es en flujo laminar por la parte inferior del molde (Figura 17-2), la presión necesaria para que el metal ascienda y llene el molde se aplica a través de un gas inerte. El molde, colocado encima del recipiente con el metal líquido, cuenta con un sistema de enfriamiento que garantiza la transferencia de calor que permita la solidificación secuencial, iniciando en la parte superior y dirigida hacia abajo de tal forma que una vez totalmente solidificada la pieza, se elimina

la presión descendiendo el metal líquido de nueva cuenta al crisol. Este proceso se puede emplear tanto para los blocks de motor como para las ruedas. (Ortiz et al., 2013).



Figura 17-2: Fundición a baja presión y ejemplo de aplicación del proceso.
Fuente: Ortiz et al., 2013

2.9.2 Clasificación de procesos de fundición

Los procesos de fundición además se los pueden clasificar de la siguiente manera:

- De acuerdo con el material del molde sea: arena, yeso, cerámica y metal
- De acuerdo con la cavidad del molde: abierto y cerrado

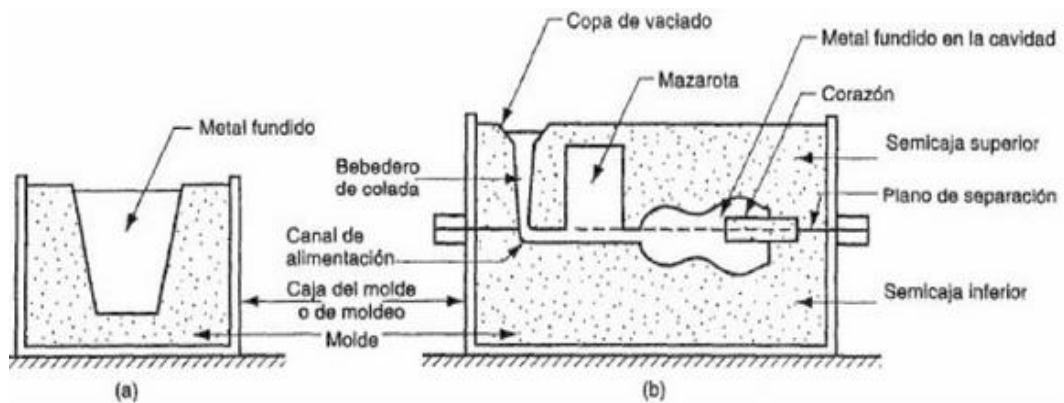


Figura 18-2: Proceso de fundición con molde abierto y molde cerrado 1
Fuente: Ríos y Vargas, 2018, p. 265

2.9.2.1 De acuerdo con el tipo de molde

Fundición en molde desechable (no permanente): en este proceso, el molde donde se lleva a cabo la fundición debe ser destruido para obtener la pieza; estos moldes pueden ser de arena o cerámica más aglutinantes. (Ríos y Vargas, 2018, p. 265)

Fundición en molde permanente: es usado para producir muchas cantidades de piezas, por lo tanto, no es necesario destruir el molde para obtener las piezas fundidas. Están hechos de metal o

material refractario; la forma de la pieza es limitada por la necesidad de abrir el molde. (Ríos y Vargas, 2018, p. 265)

2.9.3 Tipos de arenas

Es muy común usar los diferentes tipos arena para fundición de acuerdo con las propiedades que estas ofrecen; a continuación, describiremos su clasificación:

- **Arena Sílica (SiO₂):** este tipo de arena tiene una gran variedad de tamaño y formas de granos, además existe en gran cantidad que se encuentra en depósitos naturales, una de las principales características de este tipo de arena es su resistencia a altas temperaturas además que su costo de adquisición es bajo, cuando está expuesta a altas temperaturas esta tiende a fusionarse con el metal y tiene una alta relación de expansión al calor. (Castro, 2009, p.18)
- **Arenas naturales (Semisintéticas):** este tipo de arenas se las obtiene mediante la degradación y erosión de rocas, para que esta tenga una buena propiedad mecánica se necesita mezclarla adecuadamente con arcilla al extraerlos en las canteras y solo se requiere agregarles agua para obtener una arena conveniente para moldeos de piezas fundidas de hierro y metales no ferrosos, la gran cantidad de materia orgánica que se encuentra en las arenas naturales impiden que sean lo suficientemente refractarias para el uso en temperaturas muy elevadas, tal como en el moldeo de metales y aleaciones en el alto punto de fusión. (Castro, 2009, p.19)
- **Arenas de moldeo sintéticas:** está conformada de sílice de lava de granos agudos, a lo que se añade 3 a 5% de arcilla. Con las arenas sintéticas se generan menos gas ya que se requiere menos del 5% de humedad Para que desarrolle su resistencia adecuada. (Castro, 2009, p.19)

2.9.3.1 Fundición en arena

Principalmente para el proceso de fundición se utiliza arena de sílice (SiO₂), esto se debe a su economía y su resistencia al someterla a altas temperaturas. (Fundición Protocolo, 2008)

Uno de los procesos más importantes para la mano facturación de elementos mecánicos es mediante la fundición por moldes de arena, este tipo de moldes se realiza mediante arena refractaria como principal componentes y aglomerantes; además las arenas para formación de moldes de fundición presentan propiedades físicas y mecánicas que influyen en el desempeño del molde. (Pallo y Valdiviezo, 2018, p.1).

Dentro de los procesos de fundición de formas, es el más utilizado. Casi todas las aleaciones pueden fundirse, como son el hierro, acero, aluminio y níquel. La secuencia del proceso se muestra en la figura 19-2.

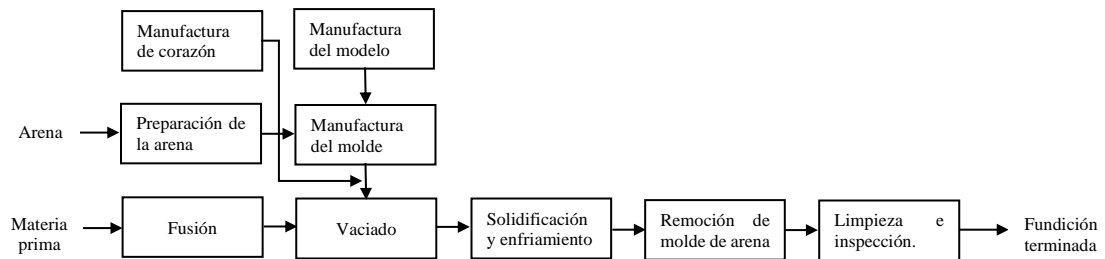


Figura 19-2: Secuencia de fundición

Fuente: Ríos y Vargas, 2018, p. 273

Las propiedades de la arena, destacadas según La American Foundrymen's Society (AFS) para fundición son: el contenido de humedad, permeabilidad, resistencia, finura, refractariedad y dureza de las arenas además existe otras propiedades significativas de las arenas que influyen en el acabado de la pieza fundida como: colapsabilidad, capacidad de evacuación de gases cohesión y plasticidad. (Pallo y Valdiviezo, 2018, p.1).

Según (Castro, 2009, p.19), a medida que aumente el tamaño de las piezas a fundir conviene elegir también arena con granos más gruesa, de mayor resistencia y refracción. La arena ideal, sería aquella que se adaptara perfectamente bien para los moldes destinados a distintos trabajos.

Para ello existen varios indicadores de la calidad de la arena para el molde y son:

- Resistencia: nos indica cuan resistente es el molde al momento de soportar las altas temperaturas que tiene el metal líquido
- Permeabilidad: es la capacidad del molde para evacuar el aire caliente y los gases, por entre los poros de la arena, mientras mayor sea el tamaño de grano de la arena mejor capacidad de permeabilidad tendrá, aunque el acabado de la pieza es más rugoso; mientras que la arena con granos más finos la pieza tendrá un mejor acabado en la fundición; uno de los moldes más resistentes son los que se hacen con arena irregular, ya que se entrelazan los granos, pero presentan baja permeabilidad.
- Refractariedad; es la capacidad del molde para dejar que la fundición se contraiga sin agrietarse. (Ríos y Vargas, 2018, p. 276)
- Reutilización: es un método en el cual, la arena se puede reutilizar para obtener otro molde.

2.9.4 Modelos de fundición

El modelo de fundición es una pieza que se fabrica ligeramente más grande que la pieza que se desea, esto se hace tomando en cuenta el fenómeno de la contracción del material al momento de solidificarse dejando las tolerancias necesarias al momento de maquinar la pieza con la finalidad que el producto final sea el deseado.

Para la realización de los modelos de fundición generalmente son fabricados en tres tipos de materiales que son madera, metal y plásticos. (Ríos y Vargas, 2018, p. 273)

Los modelos de metal son de mayor costo debido a su larga duración y estabilidad dimensional a diferencia de los modelos plásticos que son un término estable entre madera y metal; mientras que los modelos de madera son los más utilizados debido a su bajo costo de construcción y facilidad de modificación, pero una de las desventajas es el desgaste que presenta ante la arena y tendencia a romperse. (Ríos y Vargas, 2018, p. 273)



Figura 20-2: Modelo de block de motor

Fuente: Ríos y Vargas, 2018, p.26

2.9.5 La contracción

Según (Ríos y Vargas, 2018, p. 269), la contracción es un fenómeno que se presenta en el momento de la solidificación de metales luego de su fundición y se puede dividir en 4 fases:

- Nivel de líquido fundido inmediatamente después del vaciado
- Contracción del metal líquido durante el enfriamiento hasta la temperatura de solidificación. La cantidad de esta concentración líquida es generalmente alrededor del 0,5%
- Contracción durante el cambio de fase líquido a sólido. El centro de la fundición sufre una contracción produciendo un rechufe.
- Contracción sólida durante el enfriamiento sólido en la parte superior y lateralmente también

A continuación, se presentará una tabla de algunos valores típicos de la contracción volumétrica para diferentes metales.

Tabla 5-2: Valores de contracción volumétrica

METAL	CONTACCION POR SOLIDIFICACION %	CONTRACCION TERMICA DEL SOLIDO %
Aluminio	7.0	5.6
Aleación de aluminio (típica)	7.0	5.0
Bronce (CuSn)	5.5	6.0

Fuente: kalpakjian, citado en Linares y Tamayo, 2018, p. 269

Realizado por: Autores, 2020

2.9.6 Calidad de la fundición

A continuación, se mostrarán los defectos más comunes en las fundiciones y sus posibles causas:

2.9.6.1 Llenado incompleto

Aparece en una fundición que solidificó antes del llenado de la cavidad. (Ríos y Vargas, 2018, p. 285)

➤ **Causas:**

- Fluidez insuficiente del metal fundido
- Muy baja temperatura de vaciado
- Vaciado que se realiza muy lentamente

2.9.6.2 Junta fría

Aparece cuando dos porciones del metal fluyen al mismo tiempo, pero hay una falta de fusión entre ellas. (Ríos y Vargas, 2018, p. 285)

➤ **Causas:**

Se repiten las causas mencionadas en el apartado 2.9.6.1.

2.9.6.3 Gránulos fríos

Aparecen por defecto de las salpicaduras durante el vaciado. (Ríos y Vargas, 2018, p. 285)

➤ **Causas:**

- Mal diseño del sistema de vaciado
- Mal procedimiento de vaciado

2.9.6.4 Cavidad por contracción

Generación de un hueco o rechupe por efecto de la contracción del material durante la solidificación. (Ríos y Vargas, 2018, p. 285)

➤ **Causas:**

- No mazarota o mal diseño de la misma.

2.9.6.5 Microporosidad

Son excesos de poros de gran tamaño en la fundición. (Ríos y Vargas, 2018, p. 285)

➤ **Causas:**

- Contacto con el oxígeno y por contracción por solidificación de la fundición

2.9.6.6 Desgarramiento en caliente

Sucede porque el molde no permite la contracción del material. Se manifiesta como una separación del metal. (Ríos y Vargas, 2018, p. 286)

➤ **Causas:**

- Indisponibilidad del material para contraerse naturalmente.

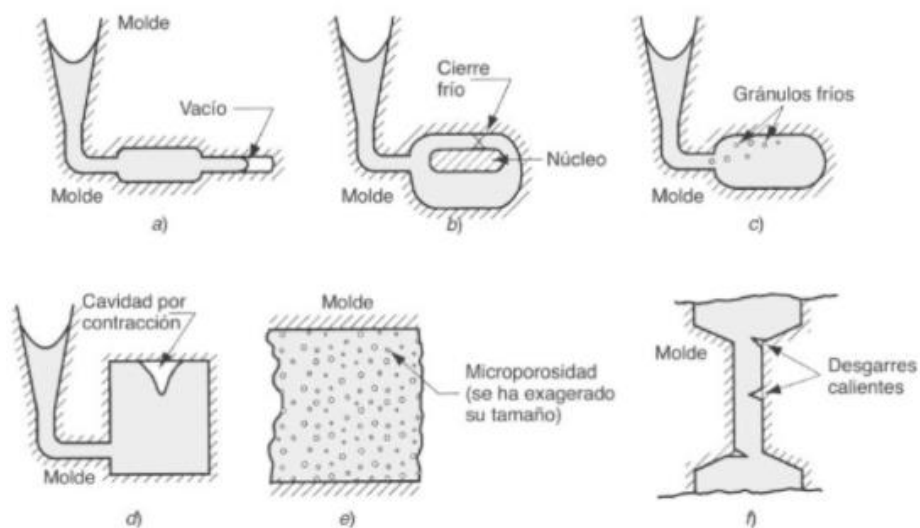


Figura 21-2: Calidad de la fundición

Fuente: Ríos y Vargas, 2018, p. 286

2.9.6.7 *Sopladuras*

Es una cavidad de gas causada por un escape de gases del molde durante el vaciado. (Ríos y Vargas, 2018, p. 286)

➤ **Causas:**

- Baja permeabilidad, alto contenido de humedad, pobre ventilación.

2.9.6.8 *Puntos de alfiler*

Exceso de cavidades de gases en la superficie o ligeramente por debajo de ella. (Ríos y Vargas, 2018, p. 286)

2.9.6.9 *Caídas de arena*

Este defecto se genera por caídas de las partes internas de la cavidad; esto causa un defecto superficial. (Ríos y Vargas, 2018, p. 286)

2.9.6.10 *Costras*

Son áreas rugosas en la superficie de la fundición. (Ríos y Vargas, 2018, p. 286)

➤ **Causas:**

- Incrustación de arena y metal.

2.9.6.11 *Penetración*

Ocurre cuando la fluidez del metal es muy alta y penetra en el molde. (Ríos y Vargas, 2018, p. 287)

➤ **Causas:**

- No hay buena compactación en los granos de arena

2.10 Factores técnicos de la fundición

El primer factor a determinar en un proceso de fundición es la cantidad de calor requerido (H) para determinado volumen de material. (Ríos y Vargas, 2018, p. 287):

2.10.1 *Cantidad de calor requerido*

$$H = \rho V \{ C_s (T_m - T_o) + H_f + C_t (T_p - T_m) \}$$

(1)

Donde:

H= Calor requerido para elevar la temperatura del metal a la temperatura de fusión (J)

ρ = Densidad (kg/m³)

Cs= Calor específico del material sólido (J/kg °C)

Tm= Temperatura de fusión del metal (°C)

To= Temperatura inicial, generalmente la del ambiente (°C)

Hf= Calor de fusión (J/kg)

Ct= Calor específico en peso del metal líquido (J/kg °C)

Tp= Temperatura de vaciado (°C)

V= Volumen del metal que se calienta (m³)

2.10.1.1 Temperatura de vaciado

Es la temperatura del metal fundido al momento de su introducción en el molde. Es muy importante tener una temperatura por encima del punto de fusión. Debe tenerse una diferencia entre esta y la temperatura de inicio de la solidificación. (Ríos y Vargas, 2018, p. 266)

2.10.2 Velocidad de vaciado del metal líquido

Es el caudal con que se vierte el metal fundido dentro del molde. Si la velocidad es lenta, el material puede solidificarse antes de llenar la cavidad y si es muy alta, puede generar turbulencia. (Ríos y Vargas, 2018, p. 266):

A partir del teorema de Bernoulli, (Ríos y Vargas, 2018, p. 287):

$$h_1 + \frac{P_1}{g\rho} + \frac{v_1^2}{2g} + F_1 = h_2 + \frac{P_2}{g\rho} + \frac{v_2^2}{2g} + F_{1-2} \quad (2)$$

Y asumiendo que: no hay pérdidas por fricción, que la presión atmosférica es igual en todos los puntos, que el nivel de referencia está en el punto más alto y, por tanto, $h_1=0$ y que la velocidad inicial es $v_1=0$, se puede determinar la velocidad del metal líquido en la base del bebedero de colada, (Ríos y Vargas, 2018, p. 287):

$$v = \sqrt{2gh} \quad (3)$$

Donde:

v= Velocidad del metal líquido en la base del bebedero de colada (m/s)

g=9,81 m/s²

h) Altura del bebedero (m)

2.10.2.1 Turbulencia

Son variaciones erráticas de la velocidad del fluido cuando este se agita. El flujo a introducir debe ser laminar y evitarse el turbulento porque este último tiende a la generación de óxidos metalitos y a la erosión de las superficies del molde debido al impacto del fluido, lo que afecta la forma de la pieza. (Ríos y Vargas, 2018, p. 266):

2.10.3 Tiempo para llenar cavidad

El tiempo requerido para llenar una cavidad se puede calcular como, (Ríos y Vargas, 2018, p. 288):

$$MFT = \frac{V}{Q} \quad (4)$$

Donde:

MFT= Tiempo de llenado del molde (s)

V= Volumen de la cavidad del molde (m³)

Q= Velocidad volumétrica de flujo (m³/s)

En donde la velocidad volumétrica Q es posible obtenerla a partir de la ley de continuidad, (Ríos y Vargas, 2018, p. 288):

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (5)$$

Donde:

Q= Velocidad de flujo volumétrico (m³/s)

v= Velocidad (m/s)

A=Área de la sección transversal del líquido (m²)

2.10.4 Tiempo de solidificación

El tiempo de solidificación de la fundición se puede obtener a partir de la regla empírica de Chvorinov, (Ríos y Vargas, 2018, p. 288):

$$TST = C_m \left(\frac{V}{A}\right)^N \quad (6)$$

Donde:

TST= Tiempo de solidificación total (min)

V= Volumen de fundición (m³)

A= Área superficial de la fundición (m²)

n= Exponente que toma usualmente un valor de 2

C_m=Constante del molde

2.11 Aleaciones de aluminio

Muchas de las propiedades del aluminio son dependientes de un conjunto de factores, siendo el más importante la existencia de elementos aleantes, al aluminio puro (99.99% de pureza), básicamente se utilizan sólo materiales de aluminio que contienen otros elementos aleantes. Aún en el aluminio puro, las impurezas, como el hierro y el silicio determinan gran parte de sus propiedades mecánicas. (Sacoto y López, 2012, p.10)

En el aluminio los principales elementos aleantes son: cobre, silicio, magnesio, zinc y manganeso y frecuentemente en menores cantidades existen los siguientes elementos, como aditivos o impurezas: hierro, cromo y titanio. También se suele adicionar para aleaciones especiales los siguientes elementos: níquel, cobalto, plata, litio, vanadio, circonio, estaño, plomo, cadmio y bismuto. (Sacoto y López, 2012, p.10)

Es conocido que a nivel industrial se producen dos tipos de aluminios los cuales se clasifican según normas de la ASM (Sociedad Americana de Materiales) en:

- **Aluminios forjados:** Dentro de este tipo de aleaciones los grupos principales de las no tratables térmicamente son la serie 1xxx, 5xxx y 6xxx.
- **Aluminios fundidos:** Dentro de las aleaciones tratables térmicamente los grupos principales son 2xxx, 3xxx, 4xxx, 7xxx.

En esta división se encuentran las aleaciones de aluminio con mayores resistencias mecánicas. (Sacoto y López, 2012, p.10)

Designación de la nomenclatura de las series de aleaciones de aluminio basada en la norma de la ASTM (Sociedad Americana para pruebas y Materiales). (Sacoto y López, 2012, p.11)

La designación de las aleaciones se realiza con un número de cuatro cifras: xxxx (1234), siendo como se indica en la tabla 6-2:

Tabla 6-2: Propiedades del aluminio

1	Es el grupo al que pertenece la aleación.
2	Indica las modificaciones que se han efectuado a las aleaciones establecidas. Cuando es 0 corresponde a la aleación original
3	Para numerar las aleaciones, enseñando que no pertenecen al orden cronológico de su establecimiento.
4	Designar número o letras.

Fuente: Sacoto y López, 2012, p.11

Realizado por: Autores, 2020

2.11.1 Aleaciones de aluminio según su serie

En el gráfico 1-2 se indican las series de las aleaciones de aluminio y sus principales elementos aleantes.

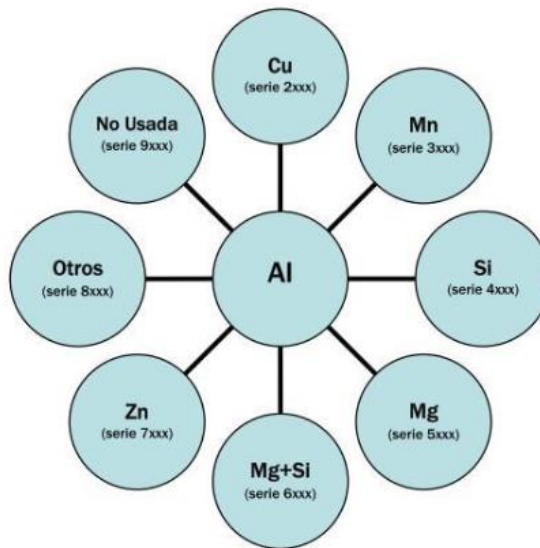


Gráfico 1-2: Series de aleaciones de aluminio existentes.

Realizado por: Sacoto y López, 2012, p.11

Las aleaciones del aluminio según su serie se dividen en: (Sacoto y López, 2012, p.12)

2.11.1.1 Serie 2xxx

Su principal aleante es el cobre, las características de esta serie son: buena relación peso y dureza, baja resistencia a la corrosión, puede someterse a tratamientos de envejecimiento para mejorar sus propiedades mecánicas, una vez realizado tienen propiedades mecánicas que son similares a

los de los aceros de bajo carbono. Sus superficies suelen ser galvanizadas. (Sacoto y López, 2012, p.12)

Este tipo de aleación es utilizada generalmente en aros de camiones de transporte pesado y ruedas de aviones, en la suspensión de camiones, fuselaje de aviones, en estructuras que requieran buena dureza a temperaturas superiores a 150 °C. (Sacoto y López, 2012, p.12)

2.11.1.2 Serie 3xxx

Los elementos principales son el manganeso y en cantidades menores se encuentra el silicio, estas aleaciones tienen un 20% más de dureza que el aluminio puro, estas aleaciones se utilizan para fabricar utensilios que sean fáciles de trabajar para fabricarlos como son botellas para bebidas, intercambiadores de calor, utensilios de cocina, mobiliaria, señales de tráfico, tejados, aplicaciones arquitectónicas, además se sabe que es muy utilizada en área automotriz debido a que es la aleación con mejores características para la fundición de piezas automotrices. (Sacoto y López, 2012, p.12)

2.11.1.3 Serie 4xxx

El silicio es el principal elemento aleante de esta serie, usualmente es añadido en cantidades grandes, superior al 12%, para lograr un descenso del punto de fusión de la aleación provocando que el metal se funda a una temperatura menor que la común de aleaciones de aluminio por lo cual puede ser usado para electrodos de soldadura. Estas aleaciones son utilizadas para aplicaciones arquitectónicas, y debido a que tienen un bajo coeficiente de expansión térmica y una alta resistencia al desgaste se usa en la construcción de pistones dentro del área automotriz. (Sacoto y López, 2012, p.12)

2.11.1.4 Serie 5xxx

El principal elemento aleante es el magnesio además puede añadirse pequeñas cantidades de manganeso para endurecer la aleación. Las características de esta aleación son una buena dureza, soldabilidad, buena resistencia a la corrosión en ambiente marino y baja capacidad de trabajo en frío. Estas aleaciones son utilizadas en perfiles arquitectónicos, barcos, tanques, puentes de grúa y estructuras de automóviles. (Sacoto y López, 2012, p.13)

2.11.1.5 Serie 6xxx

El magnesio y silicio son sus aleantes principales, siendo esta aleación tratable térmicamente. Estas aleaciones son menos duras, pero a cambio tienen una buena formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y resistencia a la corrosión. Generalmente son tratadas térmicamente mediante los procesos de envejecimiento natural y solución., para mejorar sus propiedades mecánicas. Son utilizadas en la elaboración de cuadros de bicicletas, aplicaciones arquitectónicas, fuselajes de avión, estructuras soldadas, pistolas de paintball, etc. (Sacoto y López, 2012, p.13)

2.11.1.6 Serie 7xxx

Su principal elemento aleante es el zinc y es añadido en cantidades del 1 al 8 %. También suelen añadirse mínimas cantidades de magnesio para que a la aleación se la pueda tratar térmicamente. Debido a su alta dureza se utilizan en estructuras de aviones, equipos de transporte y otras partes sometidas a esfuerzos grandes. (Sacoto y López, 2012, p.13)

2.11.2 Grados de pureza del Aluminio:

Dependiendo del grado de impurezas, el aluminio es clasificado en pureza extrema y comercial del aluminio. (Sacoto y López, 2012, p.03)

Basado en las normas de la Organización Internacional de Estandarización (ISO), los estándares de clasificación del aluminio se muestran en la tabla 7-2 a continuación

Tabla 7-2: Clasificación del aluminio según su pureza

CLASIFICACIÓN DEL ALUMINIO BASADO EN LA NORMA ISO	
PUREZA DEL ALUMINIO	DESIGNACIÓN
Extrema pureza	99.99-99.7
Pureza comercial	99.8-99.5
Industria eléctrica (cables)	99.4-98

Fuente: Sacoto y López, 2012, p.04

Realizado por: Autores, 2020

2.11.3 Propiedades del aluminio Puro

Según Totteny Mackenzieen su libro Handbook of Alumninum, las propiedades que hacen único al aluminio son su baja densidad, su dureza y su alta resistencia a la corrosión haciéndolo un material ideal para el uso convencional y novedoso en aplicaciones dentro de la industria. (Sacoto y López, 2012, p.03)

Las aplicaciones del aluminio se han ido incrementado en el uso de la industria para la producción de automóviles, envases de alimentos, construcción de edificios, transmisión de la electricidad, desarrollo de infraestructuras para transportación, producción de defensa y equipo aeroespacial, manufactura de máquinas y herramientas y producción de productos de consumo de larga duración, mientras la demanda de productos tecnológicamente complejos y ecológicamente sustentables crezca, las oportunidades del aluminio seguirán expandiéndose. (Sacoto y López, 2012, p.03)

El aluminio es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre, el aluminio es el elemento químico que se encuentra en el tercer grupo de la tabla periódica de los elementos; su número atómico es trece, su peso atómico es 26,9815 a 12°C; el aluminio es de color plata claro. (Sacoto y López, 2012, p.03)

2.11.4 Propiedades físicas del aluminio puro

Asimismo, Totten y Mackenzie afirman que las propiedades físicas del aluminio dependen de su pureza. Es bien conocido que el aluminio tiene una baja densidad de 2.7 gr/cm³, una alta reflectividad y conducción eléctrica y térmica. También es muy resistente a la corrosión atmosférica, debido a la formación instantánea de una capa de óxido que se adhiere a su superficie la misma que protege al metal de ataques externos. En la tabla 8-2 que se indica a continuación se muestran las propiedades físicas del aluminio, (Sacoto y López, 2012, p.04):

Tabla 8-2: Propiedades físicas del aluminio

Propiedades físicas del aluminio					
Propiedades	Pureza %				
	99.999	99.990	99.8	99.5	99.000
Punto de fusión °C		660.2	-	-	657.0
Punto de Ebullición °C		2480	-	-	-
Calor latente de fusión cal/gr		94.6	-	-	93.0
Calor específico 100 °C, cal/gr		0.2226	-	-	0.2297
Densidad a 20 °C, gr/cm ³	2.7	2.7	2.71	2.71	-
Resistencia eléctrica μOhm-cm a 20 °C	2.63	2.68	2.74	2.8	2.87
Temperatura de coeficiente de resistividad		0.0042	0.0042	0.0041	0.0040
Coeficiente termal de expansión x10e ⁶		23.86	23.5	23.5	23.5
Conductividad termal 100 °C		90	89	86	-
Reflectividad total %		9.9	-	-	10

Módulo de elasticidad lb/plg ² x10 ⁻⁶					
---	--	--	--	--	--

Fuente: Sacoto y López, 2012, p.04-05

Realizado por: Autores, 2020

2.11.4.1 Densidad

La densidad teórica del aluminio (la mínima distancia sobre la cual una celda unitaria debe ser trasladada sucesivamente en cualquiera de las direcciones en un sistema cristalino dado, en orden de crear un enrejamiento cristalino) es igual a 2.69872gr/cm³a 20 °C. A continuación, se muestra en el gráfico 2-2 la densidad del aluminio cuando se encuentra en estado sólido y líquido. (Sacoto y López, 2012, p.06)

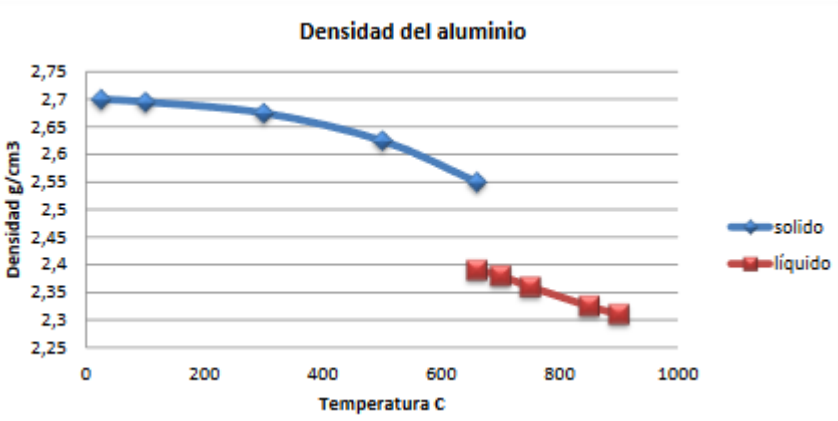


Gráfico 2-2: Densidad del aluminio

Realizado por: Sacoto y López, 2012, p.06

2.11.4.2 Conductividad Térmica

El aluminio, teniendo una excelente conductividad térmica es también un excelente disipador de calor, la conducción eléctrica de los metales, así como la conductividad térmica es liderada por el comportamiento de la valencia de los electrones. La conductividad térmica del aluminio cuando se encuentra a 20 °C es igual a 50 cal/cm²°C. (Sacoto y López, 2012, p.06)

2.11.4.3 Conductividad eléctrica

El aluminio, siendo un metal trivalente es un buen conductor de la electricidad. El comportamiento de los electrones en el aluminio es similar al comportamiento de los electrones libres. La resistencia eléctrica de un aluminio 99.99% puro a temperatura ambiente es de 2.65498X10⁻⁸Ohm, o es igual al 64.94% de la resistencia eléctrica del cobre basado en estándares internacionales. (Sacoto y López, 2012, p.07)

El tamaño del grano afecta en la resistencia eléctrica del aluminio, pero después de un tratamiento de templado del aluminio la conductividad eléctrica aumenta de 0.5 a 1%. También se conoce que la conductividad eléctrica del aluminio está afectada por la cantidad de impurezas y aleaciones que éste presenta. (Sacoto y López, 2012, p.07)

2.11.5 Propiedades Químicas

2.11.5.1 Corrosión

Una de las principales razones por las que se producen fallas dentro de la ingeniería de materiales de uso en la industria es la corrosión. El aluminio puro es muy resistente a la corrosión y es mejor que el aluminio que se vende comercialmente. Éste es utilizado para recubrimiento de aleaciones, destacando que el aluminio tiene una resistencia a la corrosión en algunos tipos de ambientes incluyendo el estar expuesto al medio ambiente, esto se debe a la presencia de una capa de óxido en su superficie, el mismo que se forma mediante una reacción química del aluminio al contacto con el oxígeno, ayudando al metal para evitar a éste un deterioro prematuro, tal cual se indica en el gráfico 3-2. El espesor de esta capa de óxido suele ser de 5-20 nm. (Sacoto y López, 2012, p.08)

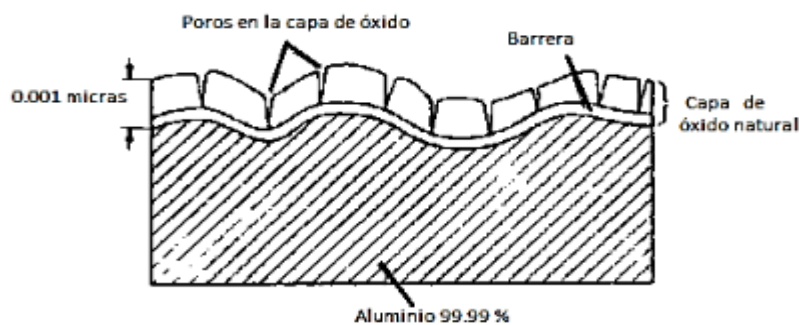


Gráfico 3-2: Capa de óxido natural del Aluminio 99.99%

Realizado por: Sacoto y López, 2012, p.08

2.11.6 Propiedades mecánicas

Se determinan como la base y características de un material metálico, con vistas a un fin de aplicación concreto, por consiguiente, se dará un breve resumen de las propiedades mecánicas más importantes del aluminio. (Sacoto y López, 2012, p.08)

2.11.6.1 Dureza

La característica de dureza del aluminio es particular, ya que ésta se puede aumentar mediante diversos tratamientos térmicos manteniendo su baja densidad en relación con el acero,

aumentando la dureza Brinell del aluminio desde valores bajos como HB = 15 para el aluminio puro hasta el valor de HB=110 para aleaciones endurecidas por un tratamiento térmico. (Sacoto y López, 2012, p.09)

2.11.6.2 Resistencia mecánica

Se puede admitir que el aluminio tiene un valor límite de aplastamiento del 0.2% que es igual al valor del límite elástico 0.2% de tracción. Este valor tiene relevancia en las piezas sometidas a la compresión tales como cojinetes de fricción. La resistencia a la flexión del aluminio viene determinada en varios ensayos puesto que esta resistencia varía según el tipo de impurezas y aleaciones que el aluminio posea además del método de producción y tratamiento térmico al que este metal este sometido. La resistencia al corte no tiene valores normalizados, pero generalmente está entre el 50 y 80% del valor de la resistencia a la tracción. (Sacoto y López, 2012, p.09)

A continuación, en el gráfico 4-2, se muestra una comparación entre el límite de deformación del acero y el límite de deformación del aluminio, la cual indica que, en relación con el material, el aluminio consta de un mayor alcance a este límite. (Sacoto y López, 2012, p.09)

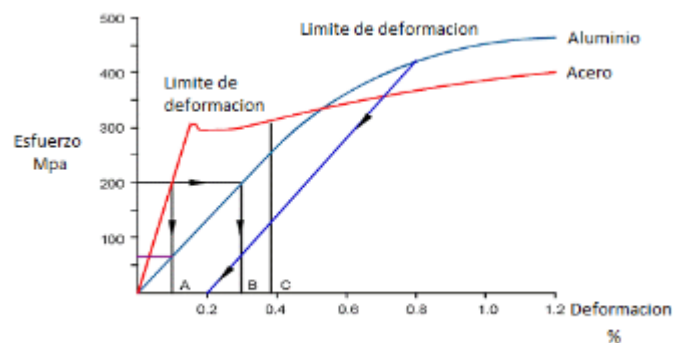


Gráfico 4-2: Límite de deformación del aluminio vs acero

Realizado por: Sacoto y López, 2012, p.09

2.11.7 Tipos de tratamientos térmicos del aluminio

Ortolá indica que las aleaciones de aluminio pueden ser sometidas a una gran cantidad de tratamientos térmicos, lo cual las hace a estas muy particulares, por consiguiente se presenta la tabla 10-2, la cual indica los tipos de tratamientos térmicos del aluminio y sus designaciones. (Sacoto y López, 2012, p.13):

Tabla 9-2: Tratamientos térmicos del aluminio.

TIPOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ALUMINIO	
RECOCIDOS	O: Recocido. Se aplica a materiales ya sea de forja como de fundición que han sufrido un recocido completo.
	O1: Recocido a elevada temperatura y enfriamiento lento.
	O2: Sometido a tratamiento termo mecánico.
	O3: Homogeneizado. Esta designación se aplica a los alambres y a las bandas decolada continua, que son sometidos a un tratamiento de difusión a alta temperatura
	W: Solución tratada térmicamente. Se aplica a materiales que después de recibir un tratamiento térmico quedan con una estructura inestable y sufren envejecimiento natural.
	H: Estado de Acritud. Viene con materiales a los que se ha realizado un endurecimiento por deformación.
ENDURECIDOS	H1: Endurecido por deformación hasta obtener el nivel deseado y sin tratamiento posterior
	H2: Endurecido en exceso por deformación y recocido parcial para recuperar suavidad sin perder ductilidad.
	H3: Acritud y estabilizado.
	H4: Acritud y lacado o pintado. Son aleaciones endurecidas en frío y que pueden sufrir un cierto recocido en el tratamiento de curado de la capa de pintura o laca dada. En esta clasificación se usa un segundo dígito (en ocasiones es necesario un tercer dígito) que indica el grado de endurecimiento por deformación.
	T: Denomina a materiales que has sido endurecidos por tratamiento térmico con o sin endurecimiento por deformación posterior. Las designaciones de W y T solo se aplican a aleaciones de aluminio ya de forja o de fundición que sea termo tratable.
	T1: Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una elevada temperatura y envejecido de forma natural.
	T2: Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una alta temperatura, trabajado en frío y envejecido de forma natural.
	T3: Solución tratada térmicamente, trabajada en frío y envejecida a temperatura ambiente hasta alcanzar una condición estable.

TEMPLES	T4: Solución tratada térmicamente y envejecida a temperatura ambiente hasta alcanzar una condición estable. Es un tratamiento similar a T3, pero sin el trabajo en frío.
	T5: Enfriado desde un proceso de fabricación a alta temperatura y envejecida artificialmente.
	T6: Solución tratada térmicamente y envejecida artificialmente. Son designados de esta forma los productos que después de un proceso de conformado a alta temperatura (moldeo o extrusión) no son endurecidos en frío, sino que sufren un envejecimiento artificial
	T7: Solución tratada térmicamente y sobre envejecida para su completa estabilización.
	T8: Térmicamente tratada por disolución, trabajada en frío y envejecida artificialmente.
	T9: Solución tratada térmicamente, envejecida artificialmente y trabajada en frío
	T10: Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una elevada temperatura, trabajado en frío y envejecido artificialmente hasta una condición sustancialmente estable.

Fuente: Sacoto y López, 2012, p.14

Realizado por: Autores. 2020

2.12 Características de motor Qingqi 150cc

Tabla 10-2: Características del motor Qingqi

CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR QINGQI 150 CC	
Cilindrada:	149cc
Tipo de motor:	Monocilíndrico (1 cilindro), 4 tiempos
Potencia:	11,39 cv (8.3 kw) a 8500 rpm
Sistema de combustible:	Carburador
Encendido:	Cdi (Sistema de Ignición por descarga de capacitor)
Refrigeración:	Aire

Fuente: Muñoz y Rovira, 2016, p.23

Realizado por: Autores

3. METODOLOGÍA

Este capítulo se basa en el detalle de los pasos para diseñar, fundir y mecanizar un pistón modificado para el motor Qingqi 150cc, partiendo de la aplicación de ingeniería inversa, obteniendo el modelo original del pistón, con la ayuda del programa SolidWorks, para después realizar las modificaciones necesarias y así establecer un nuevo modelo de pistón, optimizando la geometría y a su vez mejorando las prestaciones del pistón estándar, posteriormente se procede a la fundición del aluminio 4032 T-6 para finalmente realizar los procesos de mecanización por medio de CNC con la utilización de fresadora y torno con controlador FANUC.

3.1 Diagrama de procesos para el diseño, fundición y mecanizado del pistón

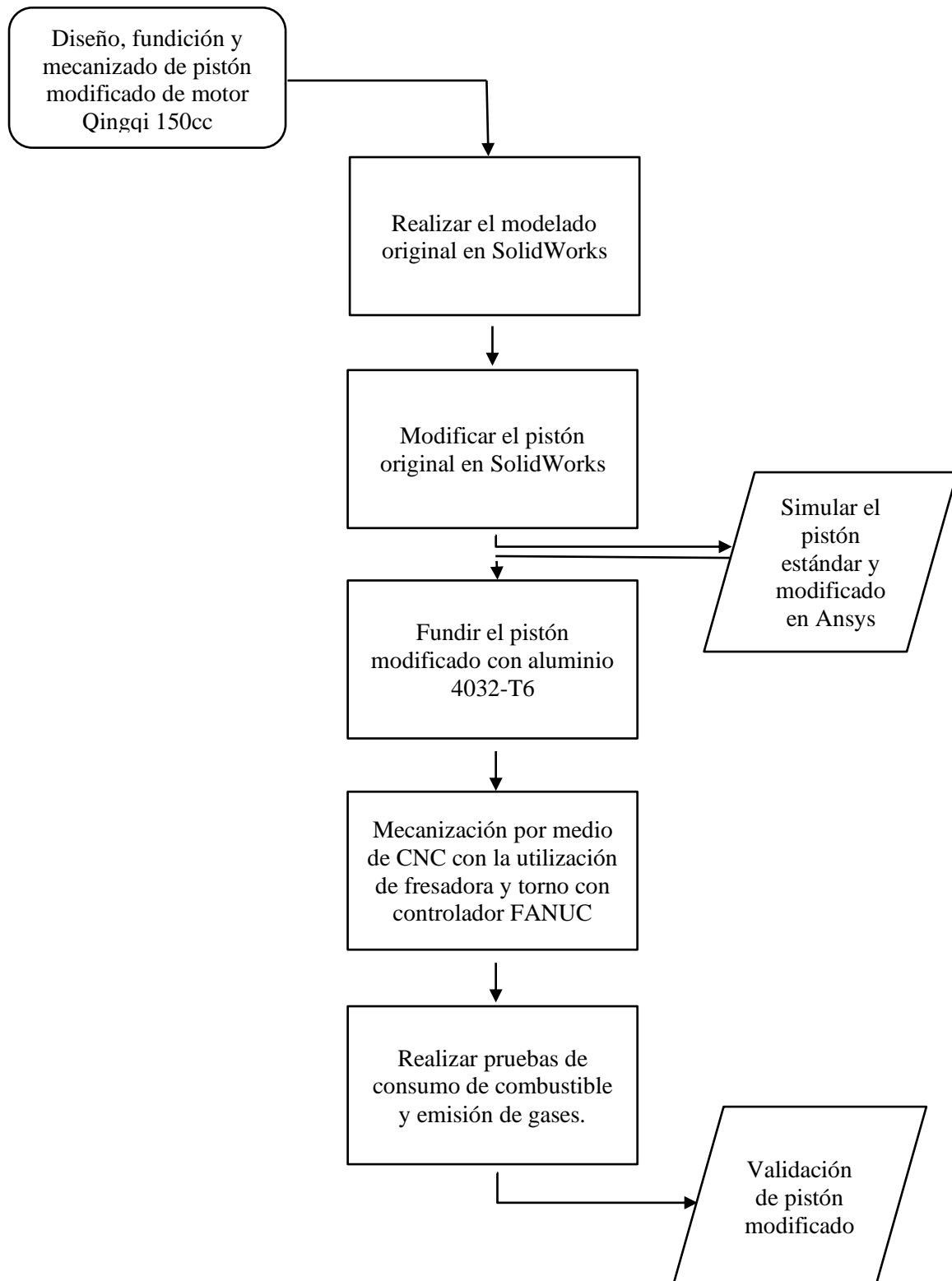


Gráfico 1-3: Diagrama de procesos

Realizado por: Autores, 2020

3.2 Modelado

Para el modelado se utiliza el programa SolidWorks, herramienta muy útil y didáctica, para iniciar con el modelado se parte del concepto de ingeniería inversa y es importante mencionar que para el proyecto en análisis es necesario adquirir un motor Qingqi 150cc.

3.2.1 Ingeniería inversa

Se puede describir como el proceso o técnica de descubrir los principios tecnológicos de un producto, herramienta, dispositivo o sistema, mediante el razonamiento abductivo de su estructura, función y operación. (Marín, 2019).



Figura 1-3: Medición del pistón.

Fuente: Autores, 2020

3.2.2 Aplicación del software SolidWorks

Partiendo de la ingeniería inversa y por medio del software, se logra obtener el modelo del pistón estándar del motor Qingqi 150cc, además de los siguientes componentes: biela, bulón, rin de frente de fuego, rin de estanqueidad, rines de aceite, cigüeñal, camisa y cilindro de motor, como se puede observar en las figuras 2-3 y 3-3.

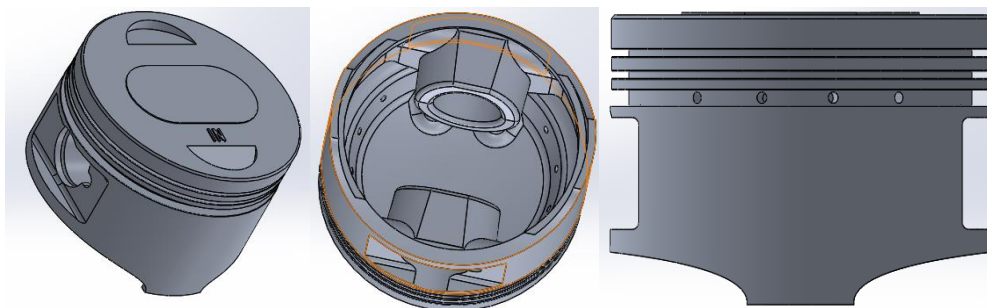


Figura 2-3: Pistón estándar.

Fuente: Autores, 2020

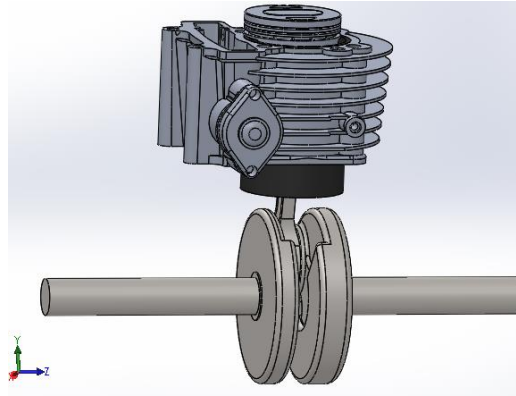


Figura 3-3: Ensamble de motor Qingqi.

Fuente: Autores, 2020

3.3 Modificaciones del pistón original

3.3.1 *Peso inicial del pistón*

Se toma como punto de partida el peso del pistón y por medio de una balanza digital se registra un peso de 93g, véase la figura 4-3.



Figura 4-3: Peso inicial del pistón.

Fuente: Autores, 2020

3.3.2 *Lubricación de pistón*

La mayor temperatura se concentra en la parte superior y lateral del pistón, por lo que, si no existe una buena lubricación, puede llegar a tener el pistón y cilindro un desgaste prematuro, debido a esto, se ha realizado nuevos canales de lubricación a lo largo del pistón, como se observa en las figuras 5-3 y 6-3.

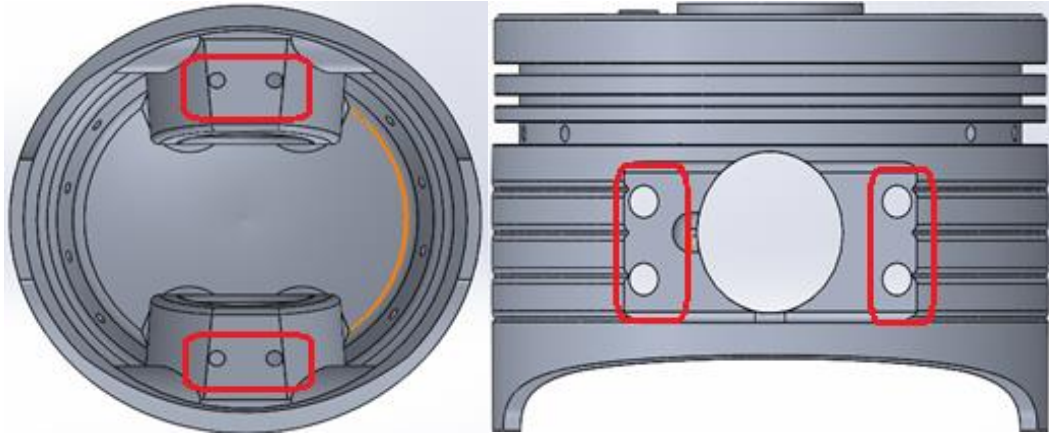


Figura 5-3: Orificios de lubricación parte baja.

Fuente: Autores, 2020



Figura 6-3: Orificios de lubricación parte media

Fuente: Autores, 2020

3.3.3 Aumento de relación de compresión

Para aumentar la relación de compresión en el motor Qingqi, se procede a aumentar volumen en la cabeza del pistón y reduciendo volumen en todo el cuerpo, disminuyendo así el volumen de la cámara de combustión, como se observa en la figura 7-3 y 8-3.

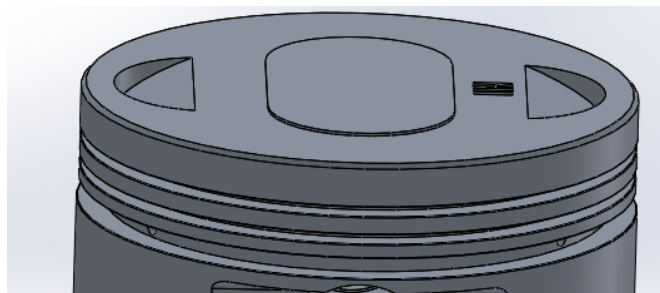


Figura 7-3: Pistón Original.

Fuente: Autores, 2020

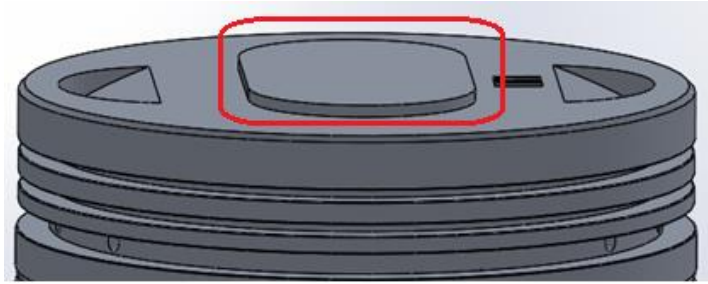


Figura 8-3: Pistón modificado.
Fuente: Autores, 2020

Tabla 1-3: Parámetros geométricos del motor.

PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL MOTOR				
Parámetro	Símbolo	Formula	Valor	Unidad
Diámetro del cilindro	D	Valor medido	57,40	mm
Longitud de biela	l	Valor medido	93,57	mm
Radio de manivela	a	Valor medido	28,8	mm
Espesor de empaque	emp	Valor medido	0,25	mm
Carrera	S	$S = 2a$	57,60	mm
Volumen desplazado	V_D	$V_D = \frac{\pi}{4} D^2 S$	149,051	cm ³
			1,490514E-04	m ³
Volumen del pistón	V_p	Valor medido	4,25	cm ³
Volumen de la cámara	V_c	Valor medido	14	cm ³
Volumen de la cámara de combustión	V_{cc}	$V_{cc} = v_p + v_c + v_{emp}$	18,8969	cm ³
			1,88969E-05	m ³
Volumen en el punto muerto superior	V_{PMS}	$V_{PMS} = V_{cc}$	1,88969E-05	m ³
Volumen en el punto muerto inferior	V_{PMI}	$V_{PMI} = V_D + V_{cc}$	1,67948E-04	m ³
Relación de compresión	r_c	$r_c = \frac{V_D + V_{cc}}{V_{cc}}$		

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

$$rc = \frac{VD + Vcc}{Vcc}$$

(7)

Donde:

rc= Relación de compresión

VD= Volumen desplazado

Vcc= Volumen de la cámara de combustión

$$VD = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times S$$

(8)

Donde:

D= Diámetro del cilindro

S= Carrera

$$VD = \frac{\pi}{4} \times (57,40mm)^2 \times (57,60mm)$$

$$VD = 149051,4309 \text{ mm}^3 = 149,0514 \text{ cm}^3$$

$$v_{emp} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times emp$$

(9)

Donde:

Vemp= Volumen de empaque

emp= Espesor de empaque

$$Vemp = \frac{\pi}{4} \times (57,40mm)^2 \times (0,25mm)$$

$$Vemp = 646,9246mm^3 = 0,6469cm^3$$

$$Vcc = vp + vc + v_{emp}$$

(10)

Donde:

vp= Volumen del pistón

vc= Volumen de la cámara de combustión

$$Vcc = 4,25cm^3 + 14cm^3 + 0,6469cm^3$$

$$Vcc = 18,8969cm^3$$

Utilizando la ecuación (7), se obtiene lo siguiente

$$rc = \frac{149,0514cm^3 + 18,8969cm^3}{18,8969cm^3}$$

$$rc = 8,8876$$

El volumen que se añadió a la cabeza del pistón fue 0,60404 cm³, como se observa en la figura 8-3 y en total se quitó un volumen de 1,242 cm³ (Vp').

$$V_{cc}' = V_{cc} - V_{p'} \tag{11}$$

Donde:

$V_{cc}' = \text{Volumen modificado de cámara de combustión}$

$V_{p'} = \text{Volumen extraído del pistón}$

$$V_{cc}' = 18,8969cm^3 - 1,242 cm^3$$

$$V_{cc}' = 17,6549cm^3$$

$$rc' = \frac{VD + V_{cc}'}{V_{cc}'} \tag{12}$$

Donde:

$rc' = \text{Nueva relación de compresión}$

$$rc' = \frac{149,0514cm^3 + 17,6549cm^3}{17,6549cm^3}$$

$$rc' = 9,44$$

Finalmente se ha obtenido una relación de compresión de 9,44; después de haber realizado la modificación en la cabeza del pistón, obteniendo una ganancia de 0.5549 de r/c.

Los fabricantes de motocicletas Bajaj, Honda, KTM, recomiendan utilizar combustible Extra (87 octanos) o Súper (92 octanos), según la relación de compresión de cada motor, como se observa en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Fabricantes y utilización de combustibles.

MODELO	RELACIÓN	Nº OCTANOS
BAJAC		
Pulsar NS200	11:1	91

Dominar 400	11.3:1	91
Pulsar 180dts-i	9.5:1	87
Pulsar NS160	9.8:1	87
HONDA		
CBR 250r	11.5:1	91
KTM		
RC 200	14.5:1	95

Fuente: (Orlando, 2019)

Realizado por: Autores

El motor Qingqi 150cc, con la modificación en la cabeza del pistón, obtiene una nueva relación de compresión de 9,15; y basándose en la figura 8-3, se puede concluir que es factible seguir utilizando el mismo combustible, gasolina extra (87 octanos), descartando problemas de autoignición en la cámara de combustión.

3.4 Simulaciones con pistón estándar y modificado

3.4.1 Estudio termodinámico con pistón estándar de motor Qingqi 150cc

Tabla 3-3: Parámetros iniciales para el cálculo termodinámico.

PARÁMETROS INICIALES			
SÍMBOLO	VALOR	SÍMBOLO	VALOR
S	57,60 mm = 5,760 cm	K	1.4
D	57,40 mm = 5,740 cm	R	0.287KJ/Kg°K
VD	149,0514cm ³	η_m	0.8
r_c	8,8876	η_i	0.8
P₁	72,6204 Kpa	η_c	1
T₁	24,2°C=297,35°K	Hi	42700 ^{KJ} / _{Kg}
η_v	0.8		10205.5562 ^{Kcal} / _{Kg}

Cp	$1,005 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K}$	Cv	$0,718 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K}$
-----------	--------------------------------	-----------	--------------------------------

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

NOTA: Para las eficiencias se consideran valores aproximados mencionados en el libro “Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine. (Pulkrabek, 1997)”

➤ **Cálculo de V_1 y V_2**

$$V_1 - V_2 = V_D \tag{13}$$

Donde:

V_1 =Volumen en el punto 1

V_2 = Volumen en el punto 2

V_D = Volumen desplazado

$$V_1 - V_2 = 149,051 \text{ cm}^3$$

$$\frac{V_1}{V_2} = r_c \tag{14}$$

Donde:

r_c = Relación de compresión

$$\frac{V_1}{V_2} = 8,8876$$

Resolviendo las ecuaciones (13) y (14), se tiene que:

$$V_1 = 167,9483 \text{ cm}^3 = 1,6795 \text{ E}^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_2 = 18,8969 \text{ cm}^3 = 1,8897 \text{ E}^{-5} \text{ m}^3$$

➤ **Cálculo de T_1**

$$T_1 = 297,35^{\circ}$$

➤ **Cálculo de m_1**

$$m_1 = \frac{P_1 V_1}{RT_1} \quad (15)$$

Donde:

m_1 =Masa de aire y combustible en el punto 1

P_1 =Presión en el punto 1

R =Constante de los gases

T_1 =Temperatura en el punto 1

$$m_1 = \frac{72,6204 \text{ KPa}(1,6795 \text{E} - 4 \text{m}^3)}{0.287 \text{KNm/Kg}^\circ\text{K}(297,35^\circ\text{K})}$$

$$m_1 = 1,4292 \text{E} - 4 \text{Kg}$$

➤ **Cálculo de P_2**

$$P_2 = P_1 r c^K \quad (16)$$

Donde:

P_2 =Presión en el punto 2

K =Relación de calores específicos

$$P_2 = 72,6204 \text{ KPa}(8,8876)^{1.4}$$

$$P_2 = 1546,5275 \text{KPa}$$

➤ **Cálculo de T_2**

$$T_2 = T_1 r c^{K-1} \quad (17)$$

Donde:

T_2 =Temperatura en el punto 2

$$T_2 = 297,35^\circ\text{K}(8,8876)^{1.4-1}$$

$$T_2 = 712,4950^\circ\text{K}$$

➤ **Cálculo de m_c**

$$m_1 = m_a + m_c \tag{18}$$

Donde:

m_a =Masa de aire

m_c =Masa de combustible

Se realiza una regla de tres para encontrar la masa de combustible.

$$\begin{array}{ccc} m_1 = 1.6081E - 5Kg & & 15.7 \\ & \times & \\ m_c & & 1 \end{array}$$

$$m_c = \frac{m_1}{15.7}$$

$$m_c = \frac{1,4292E - 4Kg}{15.7}$$

$$m_c = 9,1031E - 6Kg$$

➤ **Cálculo de T_3**

$$T_3 = T_2 + \frac{m_c H_i}{m_1 C_v} \tag{19}$$

Donde:

T_3 = Temperatura en el punto 3

H_i = Poder calorífico de la gasolina

C_v = Calor específico a volumen constante

$$T_3 = 712,4950^\circ K + \frac{(1.0243E - 6Kg)(42700Kj/Kg)}{(1,6081E - 5Kg)(0,718Kj/Kg^\circ K)}$$

$$T_3 = 4500,4409^\circ K$$

➤ **Cálculo de P_3**

$$P_3 = P_2 \left(\frac{T_3}{T_2} \right) \tag{20}$$

Donde:

P_3 = Presión en el punto 3

$$P_3 = 1546,5275 \text{ KPa} \left(\frac{4500,4409 \text{ }^\circ\text{K}}{712,4950 \text{ }^\circ\text{K}} \right)$$

$$P_3 = 9768,5689 \text{ KPa}$$

➤ **Cálculo de P_4**

$$P_4 = P_3 * rc^{-k}$$

(21)

Donde:

P_4 = Presión en el punto 4

$$P_4 = 9768,5689 * (8,8876)^{-1.4}$$

$$P_4 = 458,7039 \text{ KPa}$$

➤ **Cálculo de T_4**

$$T_4 = T_3 * rc^{1-k}$$

(22)

Donde:

T_4 = Temperatura en el punto 4

$$T_4 = 4500,4409 * (8,8876)^{1-1.4}$$

$$T_4 = 1878,1974 \text{ }^\circ\text{K}$$

Tabla 4-3: Parámetros geométricos del motor.

	1	2	3	4
P [KPa]	72,6204	1546,5250	9768,5689	458,7039
V [m3]	1,6795E-4	1,8897E-5	1,8897E-5	1,6795E-4
T [°K]	297,35	712,4950	4500,4409	1878,1974
m [Kg]	1,4292E-4	1,4292E-4	1,4292E-4	1,4292E-4

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

➤ **Cálculo de la eficiencia termodinámica**

$$\eta_{th} = 1 - rc^{1-k} \quad (23)$$

Donde:

η_{th} = Eficiencia termodinámica

$$\eta_{th} = 1 - (8,8876)^{1-1.4}$$
$$\eta_{th} = 0.5827$$

➤ **Cálculo del calor admitido**

$$Q_a = m_{mix} * C_v * \Delta T_{2-3} \quad (24)$$

Donde:

Q_a = Calor admitido en el ciclo

m_{mix} = Masa de aire y combustible en el punto 1

$$Q_a = 1,4292E - 4Kg * 0,718 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ K} (712,4950 - 4500,4409)^\circ k$$
$$Q_a = 0,3887 KJ$$

➤ Otra fórmula para calcular el calor admitido

$$Q_a = m_c * Hi * \eta_c \quad (25)$$

Donde:

η_c = Eficiencia de la combustión

$$Q_a = 9,1031E - 6Kg * 42700 \frac{KJ}{Kg} * 1$$
$$Q_a = 0,3887 KJ$$

➤ **Cálculo del calor rechazado**

$$Q_r = m_{mix} * C_v * \Delta T_{4-1} \quad (26)$$

Donde:

Q_r = Calor rechazado en el ciclo

$$Q_r = 1,4292E - 4 \text{Kg} * 0,718 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}} (1878,1974 - 297,35)^\circ\text{k}$$

$$Q_r = 0,1622 \text{ KJ}$$

➤ **Cálculo del trabajo neto**

$$WN = Q_a - Q_r$$

(27)

Donde:

WN= Trabajo neto

$$WN = 0,3887 - 0,1622 \text{ KJ}$$

$$WN = 0,2265 \text{ KJ}$$

➤ **Cálculo de presión media efectiva**

$$pme = \frac{WN}{V_D}$$

(28)

Donde:

pme= Presión media efectiva

$$pme = \frac{0,2265 \text{KJ}}{1,490514E - 4}$$

$$pme = 1519,4806 \text{ KPa}$$

➤ **Cálculo de Potencias**

Potencia, también conocida como calor entregado al fluido, por el cilindro en cada ciclo

$$Q_t = m_c * H_i$$

(29)

Donde:

Q_t=Calor entregado al fluido o Potencia.

$$Q_t = 9,1031E - 6 \text{Kg} * 10205.5562 \text{ Kcal/Kg}$$

$$Q_t = 0.09290 \text{Kcal}$$

➤ **Eficiencia termodinámica**

$$n_{th} = 1 - \frac{Q_r}{Q_a} \quad (30)$$

Donde:

n_{th} =Eficiencia termodinámica

$$n_{th} = 1 - \frac{0,1622 \text{ KJ}}{0,3887 \text{ KJ}}$$

$$n_{th} = 0.5827$$

➤ **Potencia teórica**

$$N_t = \frac{2i * n * Q_t * n_{th}}{z * 60} \quad (31)$$

Donde:

N_t =Potencia teórica

n =Revoluciones

z =Número de ciclos

$$N_t = \frac{2 \frac{\text{tiempos}}{\text{rev}} * 1 \text{ cilindro} * 7000 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{0.09290 \text{ Kcal}}{\text{cicloxcilindro}} * 426.8 \frac{\text{Kg m}}{\text{Kcal}} * 0.5827}{4 \frac{\text{tiempos}}{\text{ciclo}} * 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} * 75 \frac{\text{Kg m}}{\text{CVs}}}$$

$$N_t = 17,97 \text{ cv}$$

$$N_t = 17,73 \text{ HP}$$

➤ **Potencia indicada**

$$N_i = N_t * n_i \quad (32)$$

Donde:

N_i = Potencia indicada

n_i = Rendimiento indicado

$$N_i = 17,73 \text{ HP} * 0.8$$

$$N_i = 14,18 \text{ HP}$$

➤ **Potencia efectiva**

$$N_e = N_i * n_m$$

(33)

Donde:

N_e = Potencia efectiva

n_i = Rendimiento mecánico

$$N_e = 14,18 \text{ HP} * 0.8$$

$$N_e = 11,34 \text{ HP} = 11,50 \text{ CV}$$

➤ **Cálculo del torque**

$$w = n * \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{2 * \pi * \text{rad}}{1 \text{ rev}}$$

(34)

Donde:

w = Velocidad angular

$$w = 7000 * \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{2 * \pi * \text{rad}}{1 \text{ rev}}$$

$$w = 733.04 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\tau = \frac{N_t}{w}$$

(35)

Donde:

τ = Torque o momento

$$\tau = \frac{17,73 \text{ HP}}{733.04 \text{ rad/s}} = \frac{13221,2535 \frac{\text{N} * \text{m}}{\text{s}}}{733.04 \text{ rad/s}}$$

$$\tau = 18,0362 \text{ Nm}$$

➤ **Cálculo del torque indicado**

$$\tau_i = \tau * n_i$$

(36)

Donde:

τ_i = Torque indicado

$$\tau_i = 18,0362 * (0.8)$$

$$\tau_i = 14,4290 \text{ Nm}$$

➤ **Cálculo del torque efectivo**

$$\tau_e = \tau_i * n_m$$

(37)

Donde:

τ_e = Torque efectivo

$$\tau_e = 14,4290 \text{ Nm} * (0.8)$$

$$\tau_e = 11,5432 \text{ Nm}$$

➤ **Flujo de combustible**

$$\dot{m}_c = \frac{2 * m_c * i * n}{z * 60}$$

(38)

Donde:

\dot{m}_c = Flujo de combustible

i=número de cilindros

$$\dot{m}_c = \frac{2 \frac{\text{tiempos}}{\text{rev}} * 9,1031E - 6 \text{Kg} * 1000 \frac{\text{g}}{\text{Kg}} * \frac{1}{\text{cicloxcilindro}} * 7000 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * 1 \text{ cilindro}}{4 \frac{\text{tiempos}}{\text{ciclo}} * 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}}$$

$$\dot{m}_c = 0.5310 \text{ g/s}$$

➤ **Consumo específico**

$$C_s = \frac{\dot{m}_c}{N_e}$$

(39)

Donde:

Cs= Consumo específico de combustible

$$C_s = \frac{0.5310 \text{ g/s} * 3600 \text{ s/h}}{497.87 \text{ Cv}}$$

$$C_s = 166,2305 \text{ g/Cv h}$$

$$C_s = 168,5759 \text{ g/HP h}$$

3.4.1.1 *Resultados de cálculo termodinámico con pistón estándar*

Tabla 5-3: Resultados con pistón estándar

RESULTADOS CON PISTÓN ESTÁNDAR		
PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Eficiencia termodinámica	0.5827	N/A
Calor admitido	0,3887	KJ
Calor rechazado	0,1622	KJ
Trabajo neto	0,2265	KJ
Presión media efectiva	1519,4806	Kpa
Potencia	0,09290	Kcal
Potencia teórica	17,97	CV
	17,73	HP
Potencia indicada	14,18	HP
Potencia efectiva	11,34	HP

Torque teórico	18,04	Nm
Torque indicado	14,43	Nm
Torque efectivo	11,54	Nm
Flujo de combustible	0,5310	g/s
Consumo específico	168,5759	g/HP.h

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

3.4.1.2 Simulación estática con pistón estándar

Una vez obtenida la geometría en el software de diseño SolidWorks, como se puede observar en la figura 2-3 del pistón estándar, se procede a importar al software ANSYS para aplicar el estudio estático estructural en el módulo “Transient Structural”, donde se declara el material y el tipo de mallado que se va a aplicar.

3.4.1.2.1 Tipo y calidad de mallado del pistón estándar

Para la geometría se declara un mallado de alta calidad, se aplica una medida con una resolución de número 7, con un centro de ángulo de extensión grueso y una transición rápida; la calidad de la malla aplicada es de alta suavidad.

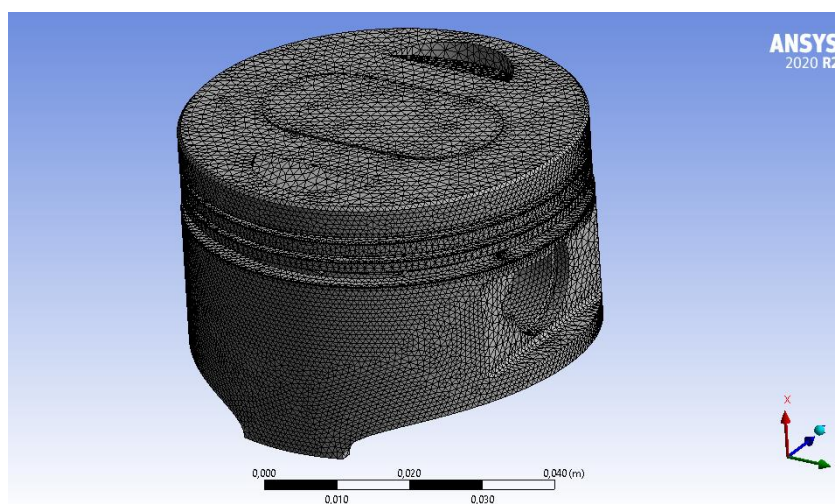


Figura 9-3: Mallado del pistón estándar

Fuente: Autores, 2020

3.4.1.2.2 Condiciones para realizar el análisis estático con pistón estándar

Para este estudio se ingresan los datos de presión media efectiva, que indica la tabla 5-3 y además se declara un soporte fijo en los orificios del bulón.

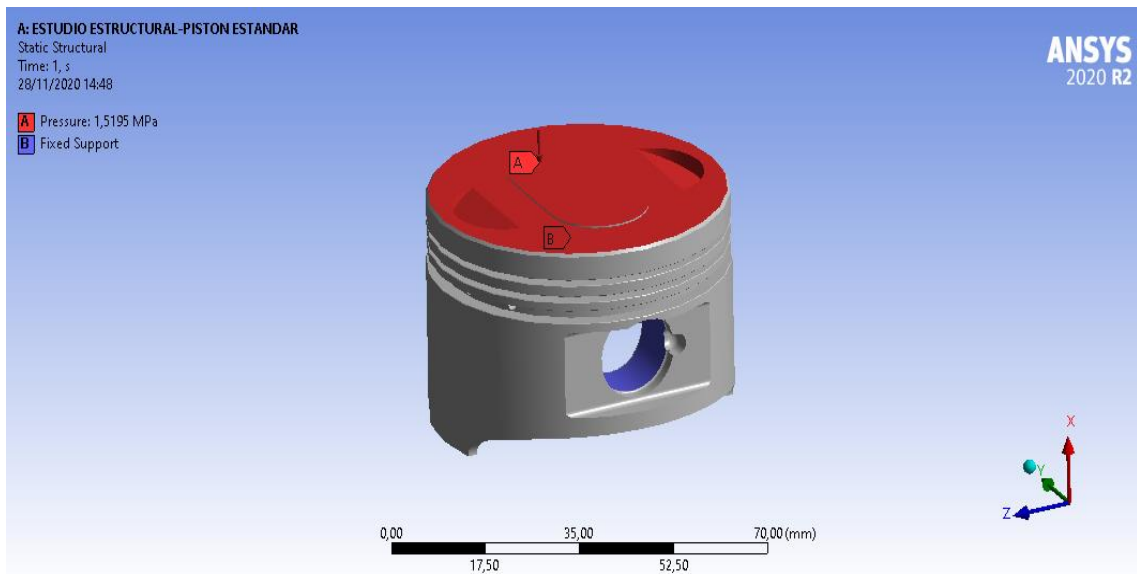


Figura 10-3: Aplicación de Magnitudes a pistón estándar

Fuente: Autores, 2020

3.4.1.2.3 Deformación total del pistón

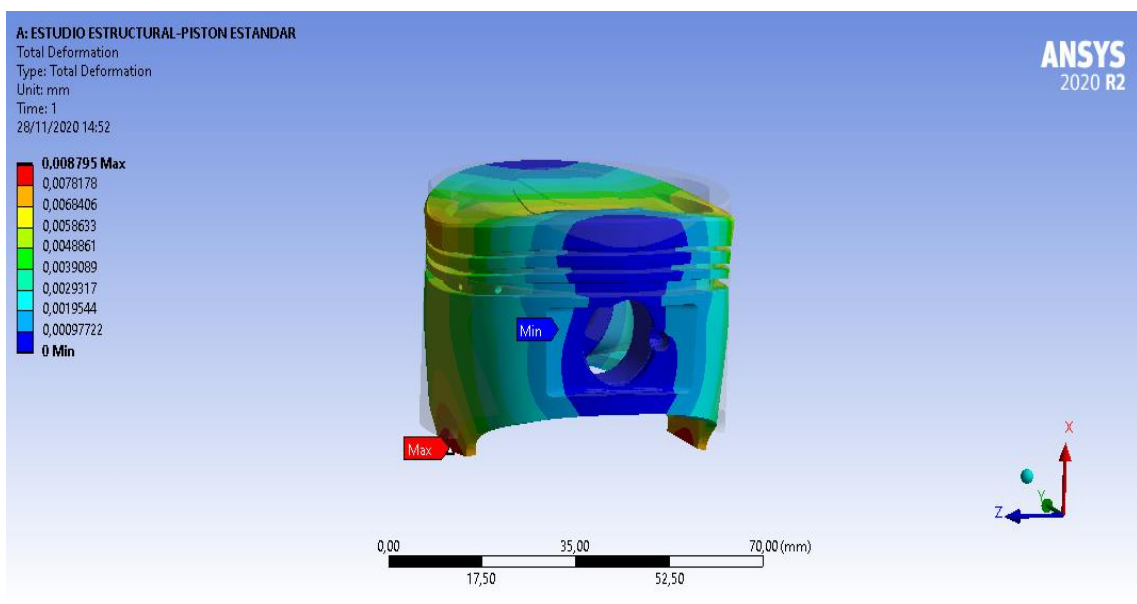


Figura 11-3: Deformación total de pistón original

Fuente: Autores, 2020

3.4.1.2.4 Estrés equivalente

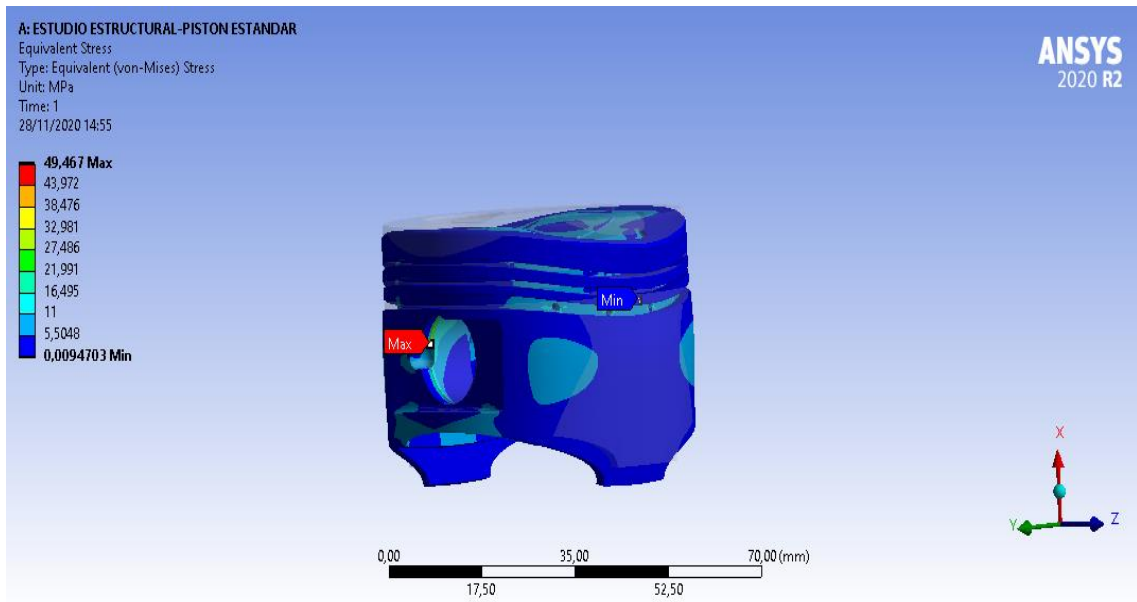


Figura 12-3: Estrés equivalente del pistón estándar

Fuente: Autores, 2020

3.4.1.2.5 Deformación elástica equivalente

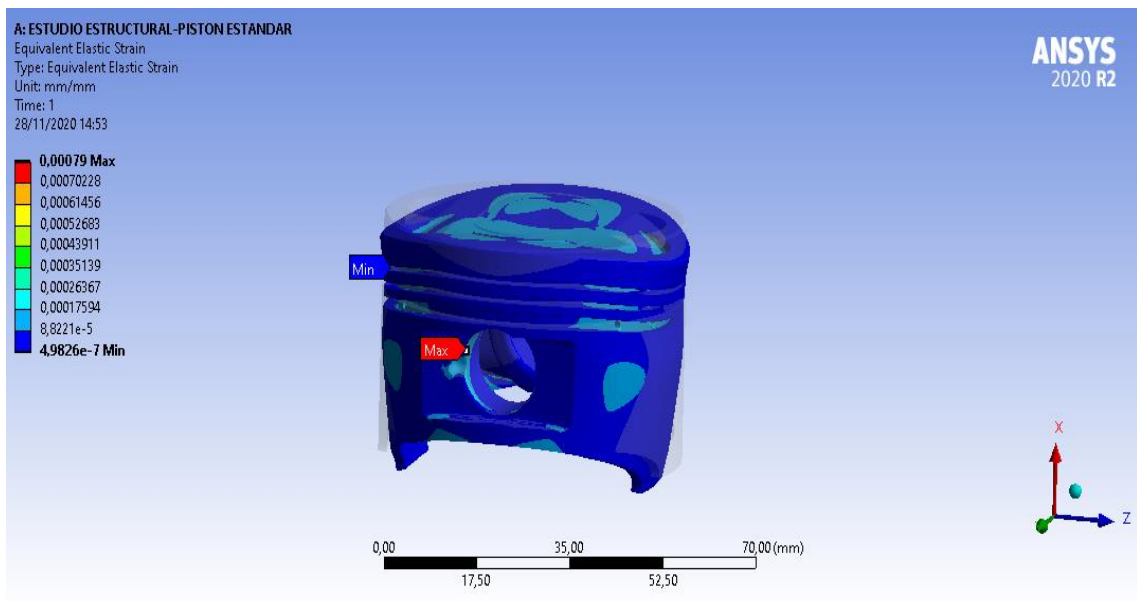


Figura 13-3: Deformación elástica equivalente del pistón estándar

Fuente: Autores, 2020

3.4.1.2.6 Factor de seguridad de estrés

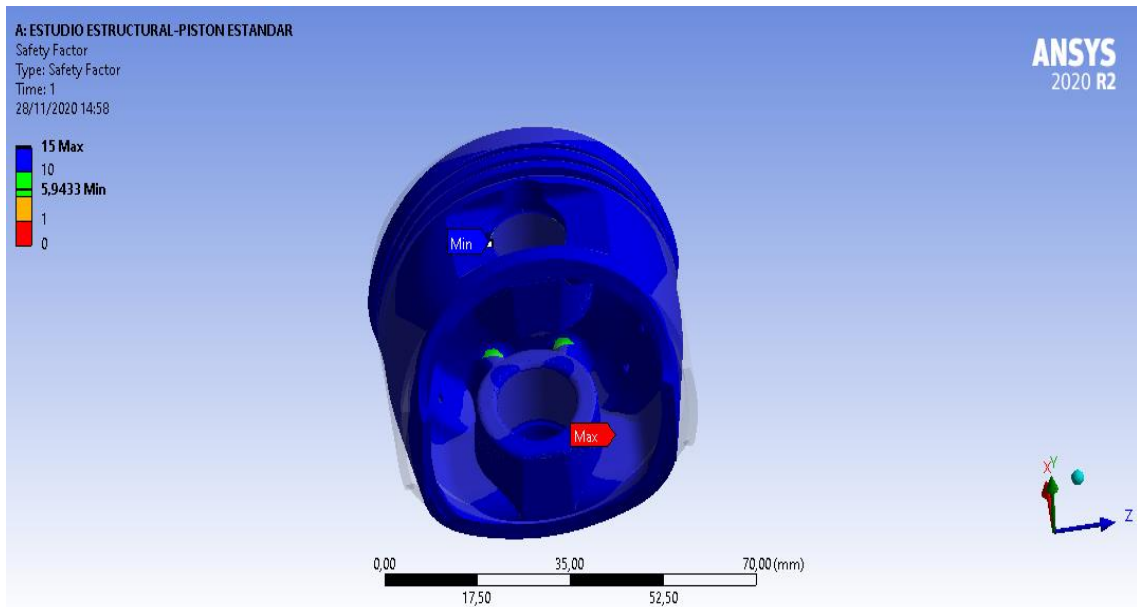


Figura 14-3: Factor de seguridad de estrés de pistón estándar

Fuente: Autores, 2020

3.4.1.2.7 Factor de seguridad de fatiga

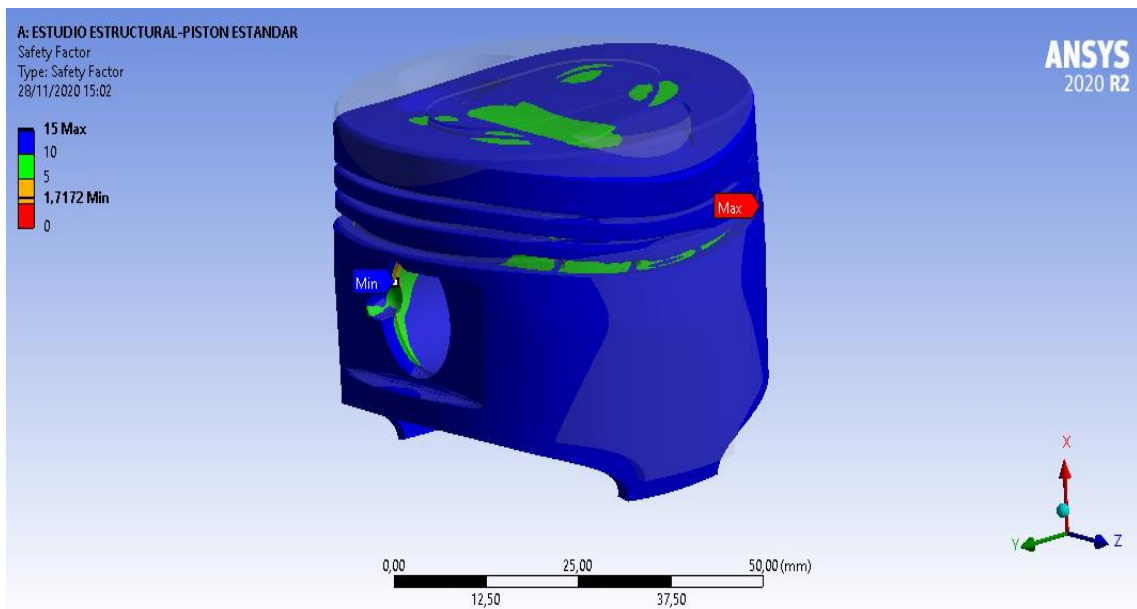


Figura 15-3: Factor de seguridad de fatiga del pistón estándar

Fuente: Autores, 2020

3.4.1.2.8 Ciclos de vida del pistón

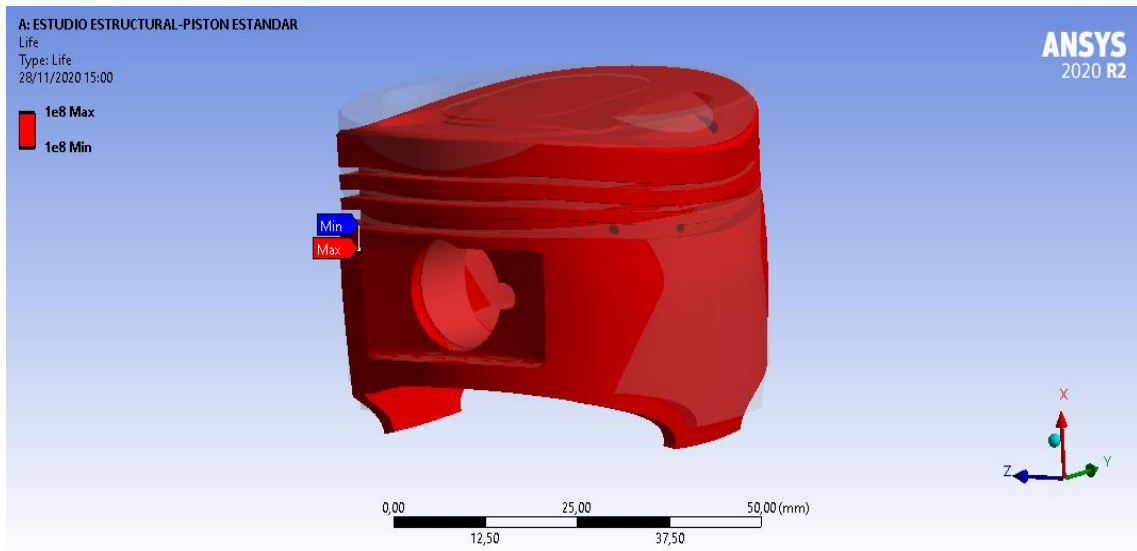


Figura 16-3: Ciclos de Vida útil del pistón estándar

Fuente: Autores, 2020

3.4.1.3 Simulación dinámica con el pistón estándar

Una vez obtenida la geometría en forma de ensamblaje de los elementos necesarios del motor, con el pistón estándar en SolidWorks como indica la Figura 3-3, se procede a utilizar el estudio en ANSYS Workbench llamado Transient Structural, donde se ingresa la geometría completa.

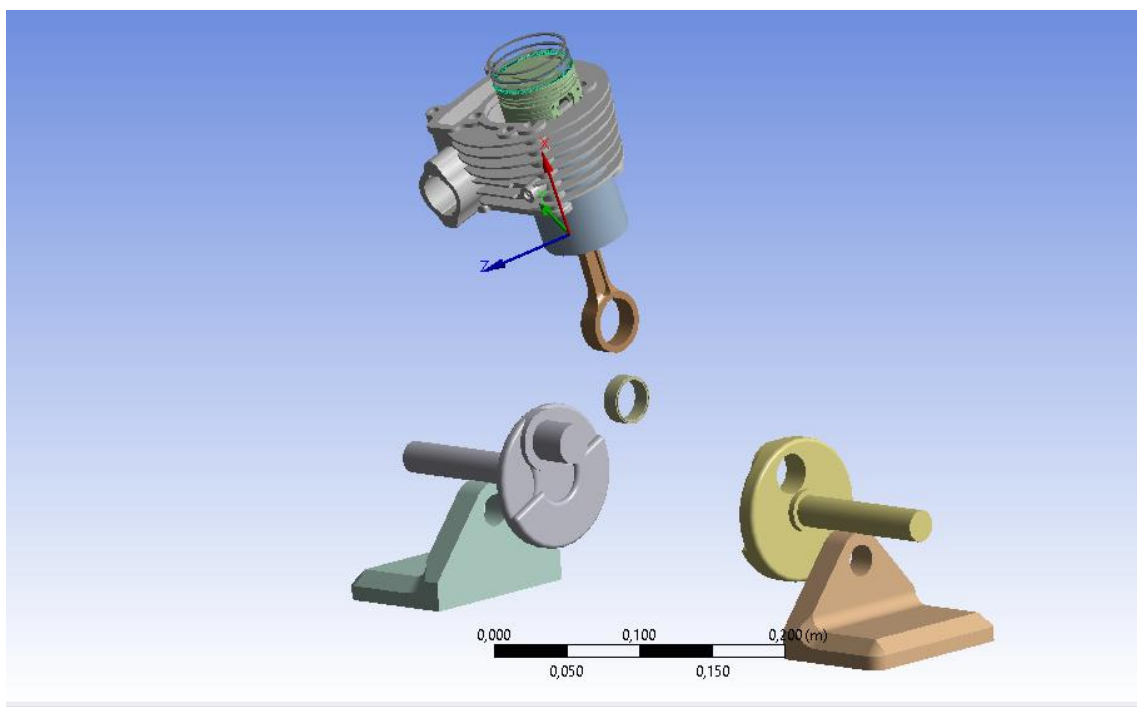


Figura 17-3: Partes de motor para simulación dinámica

Fuente: Autores, 2020

3.4.1.3.1 Condiciones para realizar el análisis dinámico con el pistón estándar

Las condiciones que se considera en el análisis dinámico con el pistón estándar son: presión media efectiva en la parte superior del pistón, torque efectivo en el vástago del cigüeñal, valores que se obtiene de la tabla 5-3 y una articulación con una velocidad rotacional máxima de 733,04 rad/s en el vástago del cigüeñal como se puede observar en la figura 18-3.

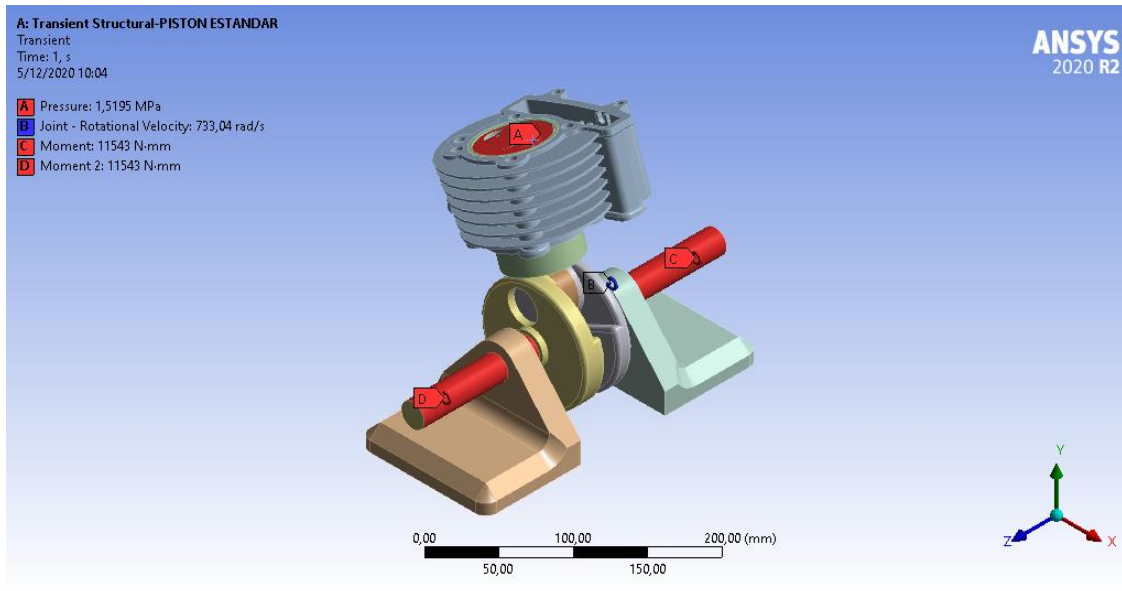


Figura 18-3: Parámetros para simulación dinámica con pistón estándar

Fuente: Autores, 2020

3.4.1.3.2 Desplazamiento total Lineal del pistón estándar

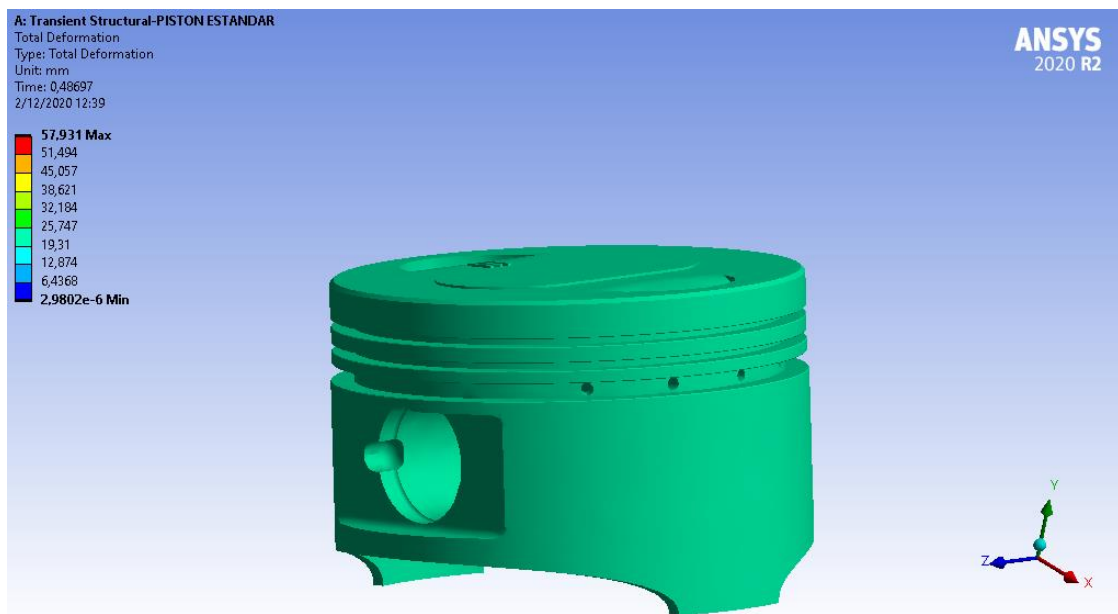


Figura 19-3: Desplazamiento lineal total del pistón estándar

Fuente: Autores, 2020

3.4.1.3.3 Estrés equivalente del pistón estándar

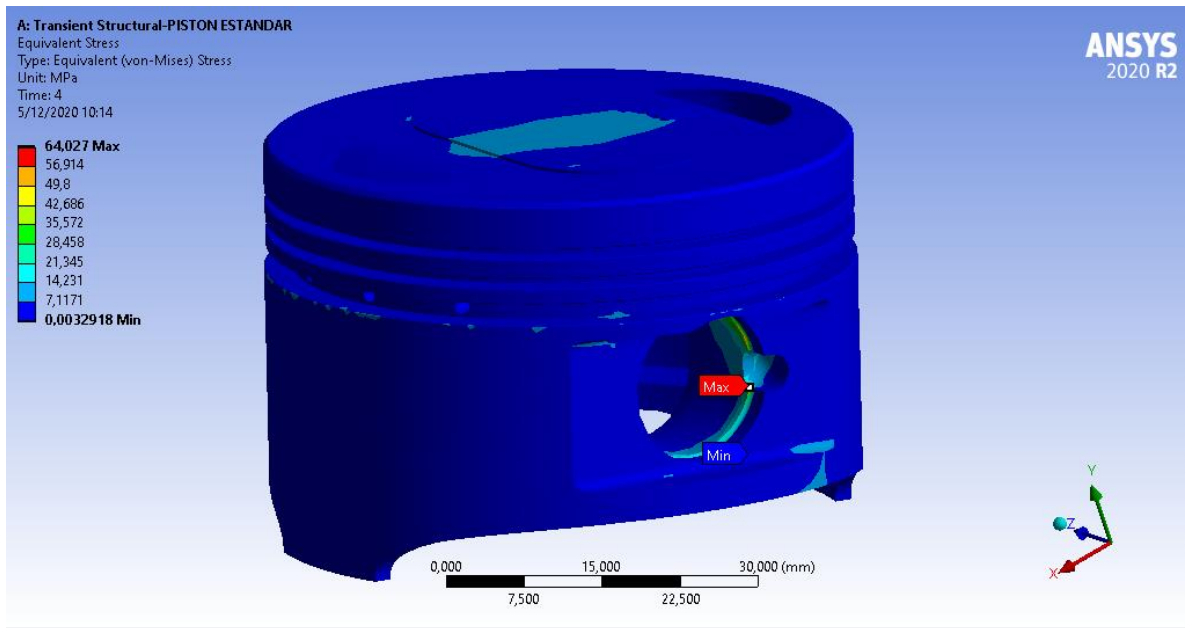


Figura 20-3: Estrés equivalente del pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.1.3.4 Velocidad lineal total del pistón estándar

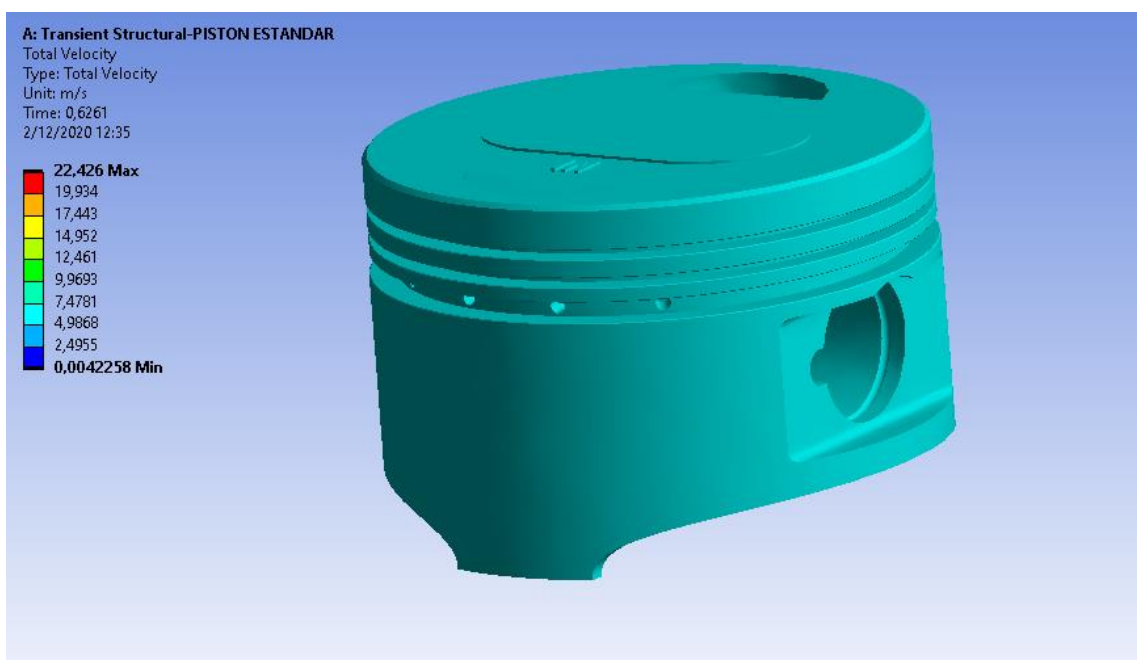


Figura 21-3: Velocidad lineal total del pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.1.3.5 *Declaración de los materiales de las partes del motor*

Tabla 6-3: Partes y materiales del motor

PARTES DE MOTOR	
GEOMETRÍA	MATERIAL
Cilindro Motor	Aluminum alloy, cast, 413.0
Camisa de cilindro	Low alloy steel, AISI 4140
Pistón	Aluminio 4032-t6
Soporte de cigüeñal	Structural Steel
Cigüeñal	Low alloy steel, AISI 4135
Rodamiento	Low alloy steel, 300M (low carbon)
Biela	Low alloy steel, AISI 4135
Bulón	Carbon steel, 1015, annealed
Orín de estanqueidad	Cast iron, EN GJL 250
Orín de frente de fuego	Cast iron, EN GJL 250
Orín de aceite	Cast iron, EN GJL 250
Orín de aceite ondulado	Bronze, CuAl10Fe3, C95200, cast (aluminum bronze)

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

3.4.1.3.6 *Declaración de conexiones y articulaciones de la geometría del motor*

Tabla 7-3: Declaración de movimientos y articulaciones del motor

ARTICULACIONES	
MOVIMIENTO	PARTE A PARTE
Fijo	Suelo a soporte de cigüeñal
Fijo	Suelo a soporte de cigüeñal
Revolución	Soporte de cigüeñal a cigüeñal

Fijo	Parte de cigüeñal a cigüeñal
Fijo	Cigüeñal a rodamiento
Revolución	Rodamiento a biela
Revolución	Biela a bulón
Fijo	Bulón a pistón
Traslacional	Pistón a cilindro
Fijo	Suelo a cilindro
Fijo	Pistón a orín frente de fuego
Fijo	Pistón a orín de estanqueidad
Fijo	Orín de aceite a orín ondulado
Fijo	Orín ondulado a orín de aceite
Fijo	Pistón orín de aceite
Fijo	Camisa a cilindro de motor

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

3.4.1.4 Simulación térmica con pistón estándar

Para el estudio térmico se utiliza Transient Thermal, el mismo que permite verificar el comportamiento de calor y temperatura en función del tiempo, para esto se ingresa la geometría y se declara el tipo y calidad de mallado descrito anteriormente en el apartado 3.5.1.2.1.

3.4.1.4.1 Condiciones para realización de análisis térmico con pistón modificado

Se aplica una temperatura en la cabeza del pistón de 650 grados centígrados, la cual llega a ser aplicada instantáneamente en el momento de ignición, con un coeficiente de transferencia de calor de $6,6444E-5 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$

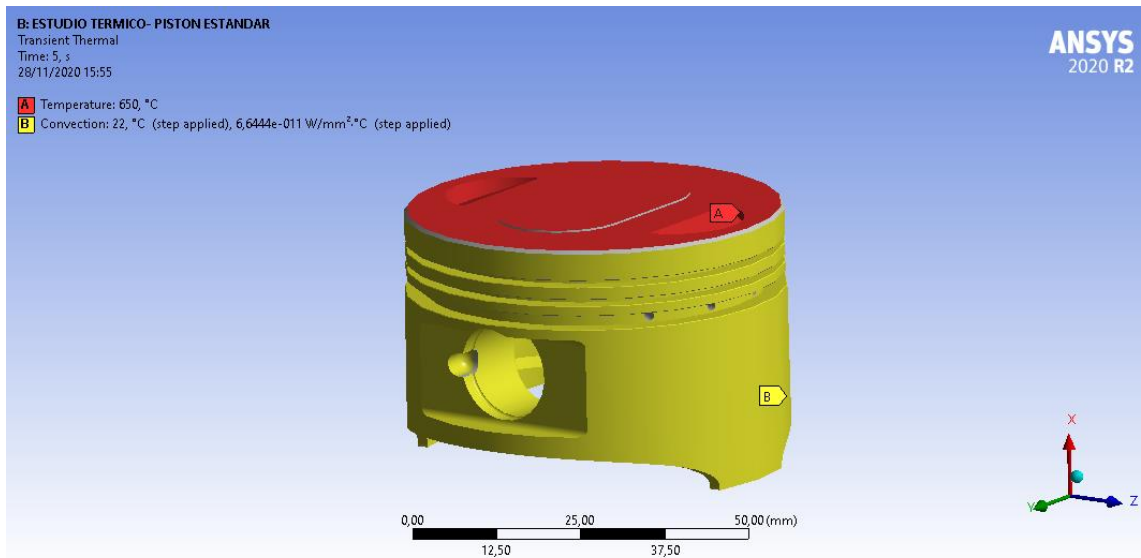


Figura 22-3: Aplicación de condiciones para estudio térmico de pistón estándar

Fuente: Autores, 2020

3.4.1.4.2 *Dispersión térmica de temperatura en el pistón estándar*

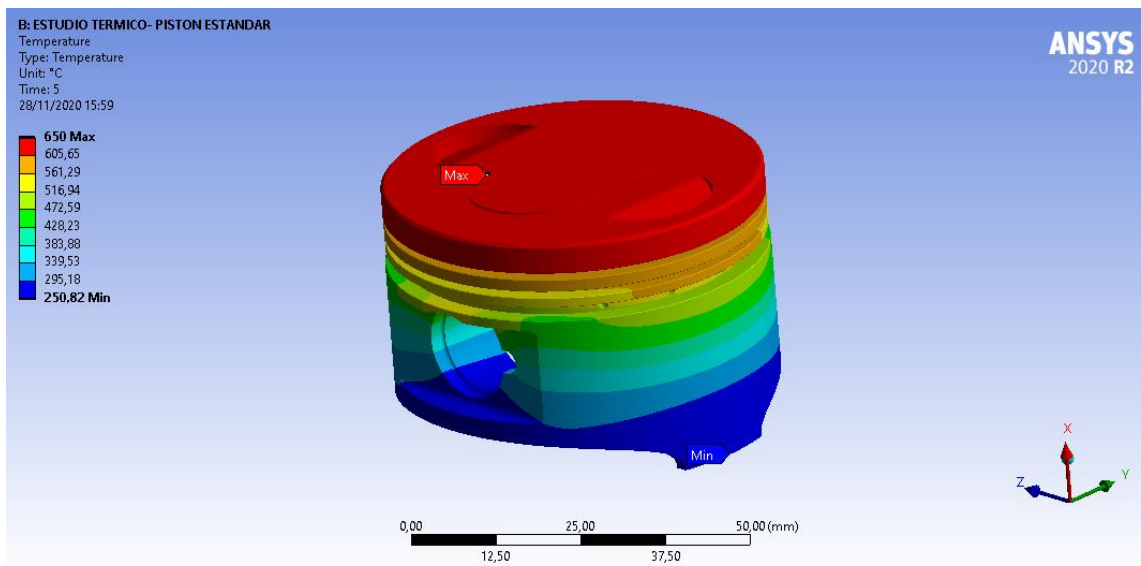


Figura 23-3: Dispersión de temperatura en el pistón estándar

Fuente: Autores, 2020

3.4.1.4.3 Flujo de calor total en el pistón estándar

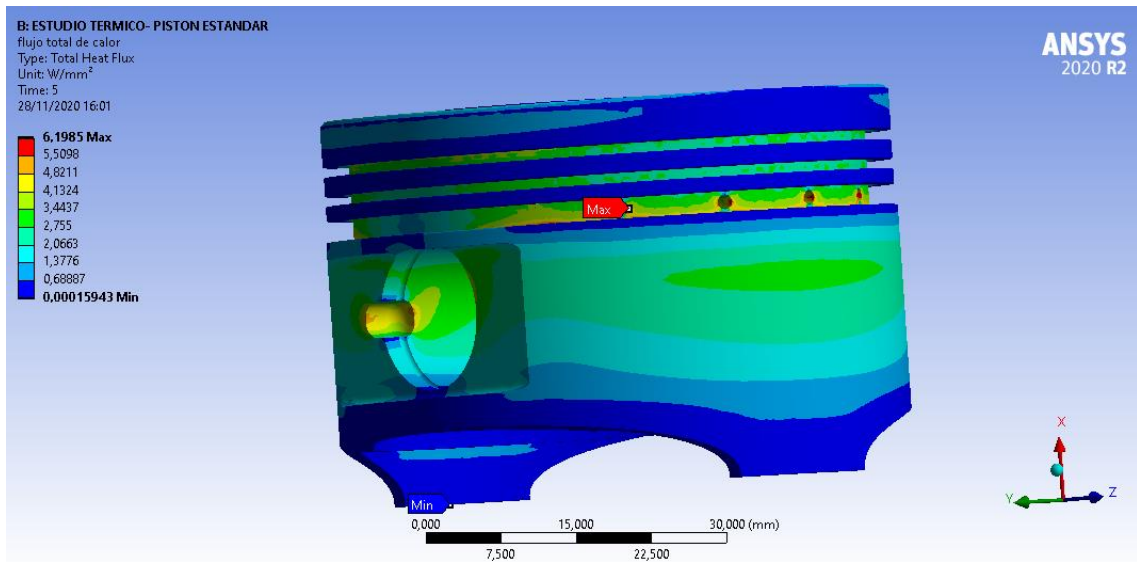


Figura 24-3: Flujo de calor total en el pistón estándar

Fuente: Autores, 2020

3.4.2 Estudio termodinámico con pistón modificado de motor Qingqi 150cc

Con el pistón modificado, se realiza los mismos cálculos que en el apartado 3.5.1. y se obtiene la tabla 8-3.

3.4.2.1 Resultados de cálculo termodinámico con pistón modificado

Tabla 8-3: Resultados con pistón modificado

RESULTADOS CON PISTÓN MODIFICADO		
PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Eficiencia termodinámica	0.5927	N/A
Calor admitido	0,3858	KJ
Calor rechazado	0,1572	KJ
Trabajo neto	0,2287	KJ
Presión media efectiva	1534,0991	Kpa
Potencia	0,0922	Kcal
	18,14	CV

Potencia teórica	17,89	HP
Potencia indicada	14,31	HP
Potencia efectiva	11,45	HP
Torque teórico	18,20	Nm
Torque indicado	14,56	Nm
Torque efectivo	11,65	Nm
Flujo de combustible	0,5271	g/s
Consumo específico	165,7337	g/HP.h

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

3.4.2.2 Simulación estática con pistón modificado

Una vez obtenida la geometría modificada del pistón en SolidWorks, como indica en la figura 5-3 y 6-3, se ingresa al software ANSYS para utilizar el módulo de análisis, Static Structural y aplicando el mismo material que en el pistón estándar se establece el tipo y calidad de mallado.

3.4.2.2.1 Tipo y calidad de mallado

Para la realización del tipo y calidad de mallado se utiliza las mismas condiciones descritas en el apartado 3.5.1.2.1.

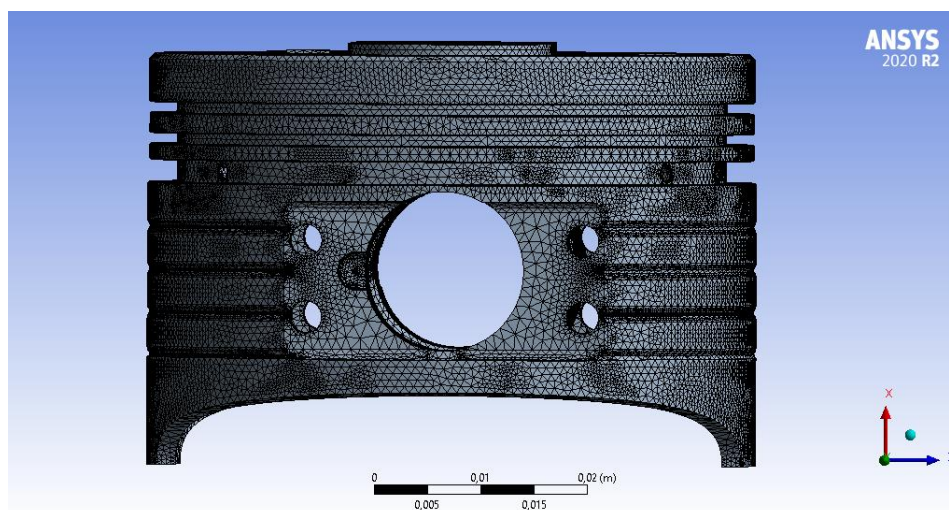


Figura 25-3: Mallado de pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.2.2.2 Condiciones para realizar en análisis estático

Para realizar el análisis estático estructural, se ingresa la presión media efectiva obtenida de la tabla 6-3 y se indica un soporte fijo en los orificios del bulón.

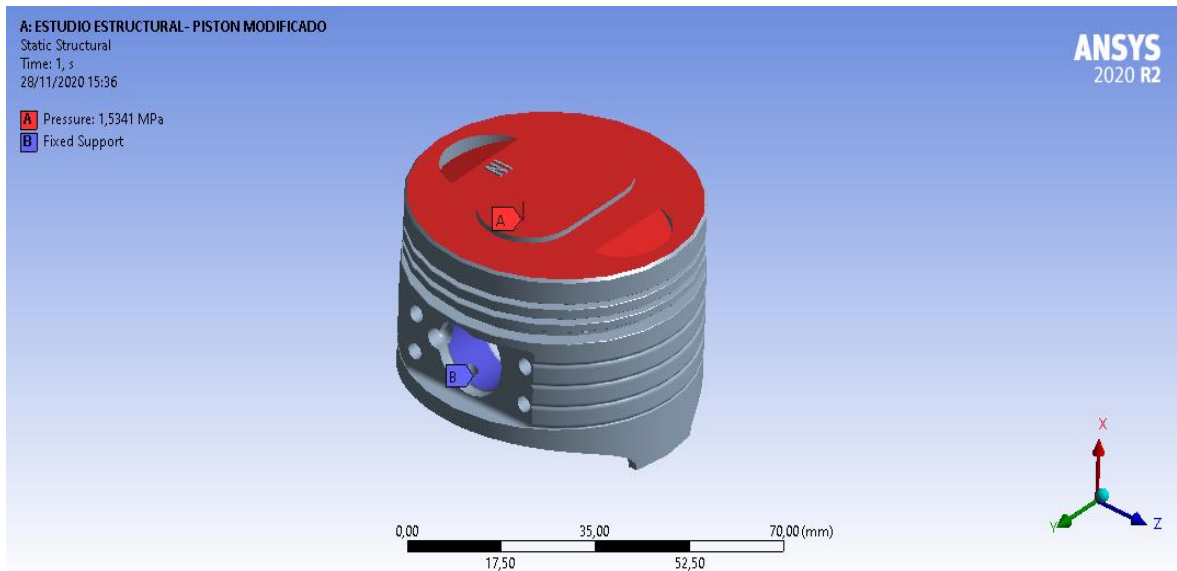


Figura 26-3: Aplicación de magnitudes a pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.2.2.3 Deformación total del pistón modificado

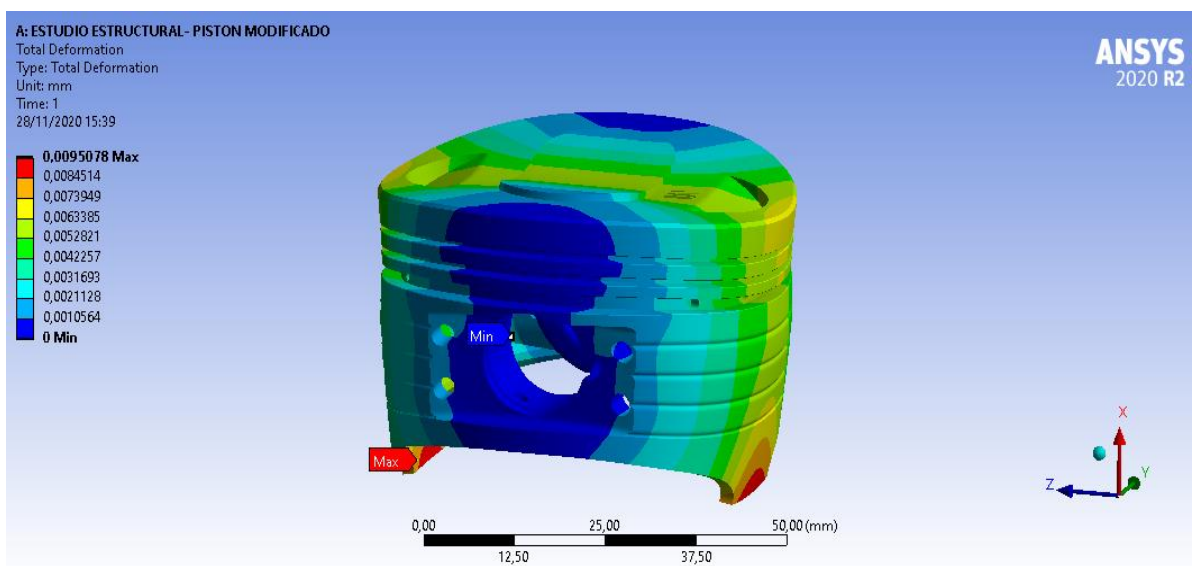


Figura 27-3: Deformación total del pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.2.2.4 Estrés equivalente de pistón modificado

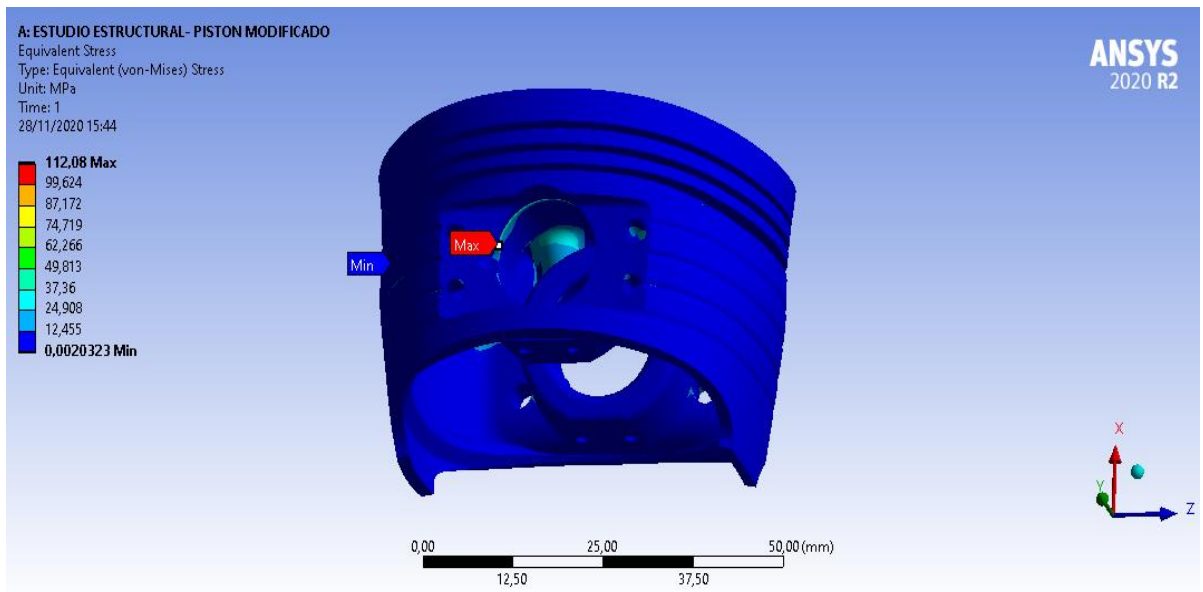


Figura 28-3: Estrés equivalente del pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.2.2.5 Deformación elástica equivalente

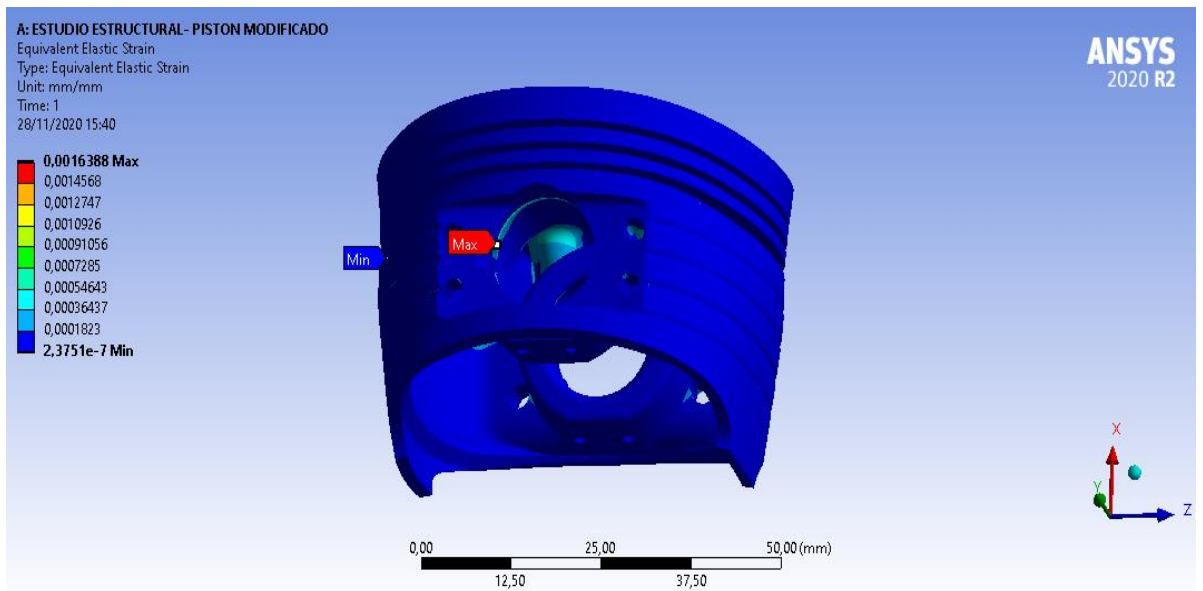


Figura 29-3: Deformación elástica equivalente del pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.2.2.6 Factor de seguridad de estrés del pistón modificado

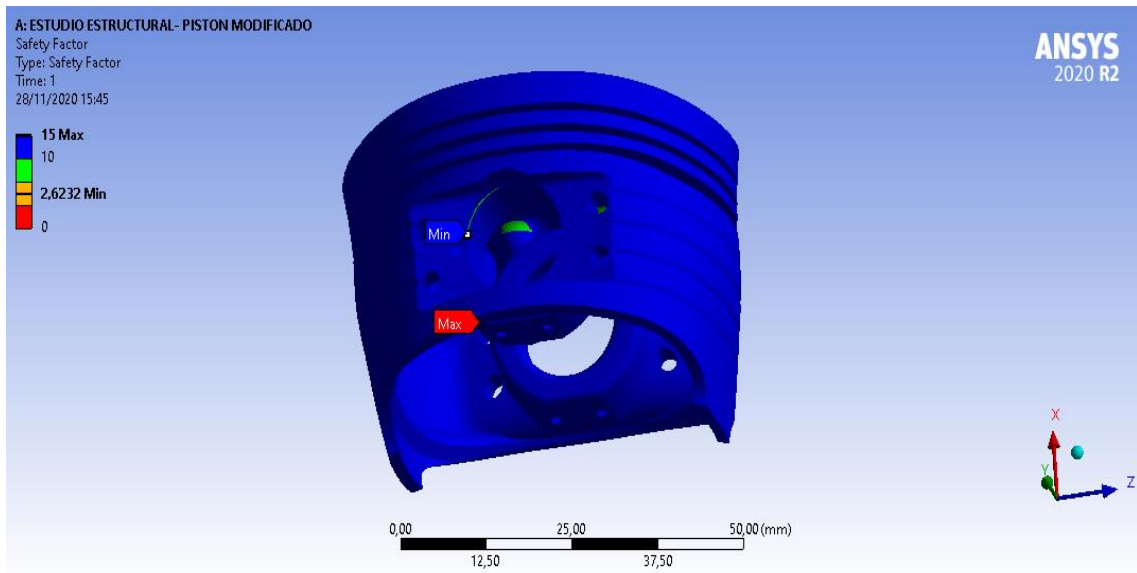


Figura 30-3: Factor de seguridad de estrés del pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.2.2.7 Ciclos de vida del pistón

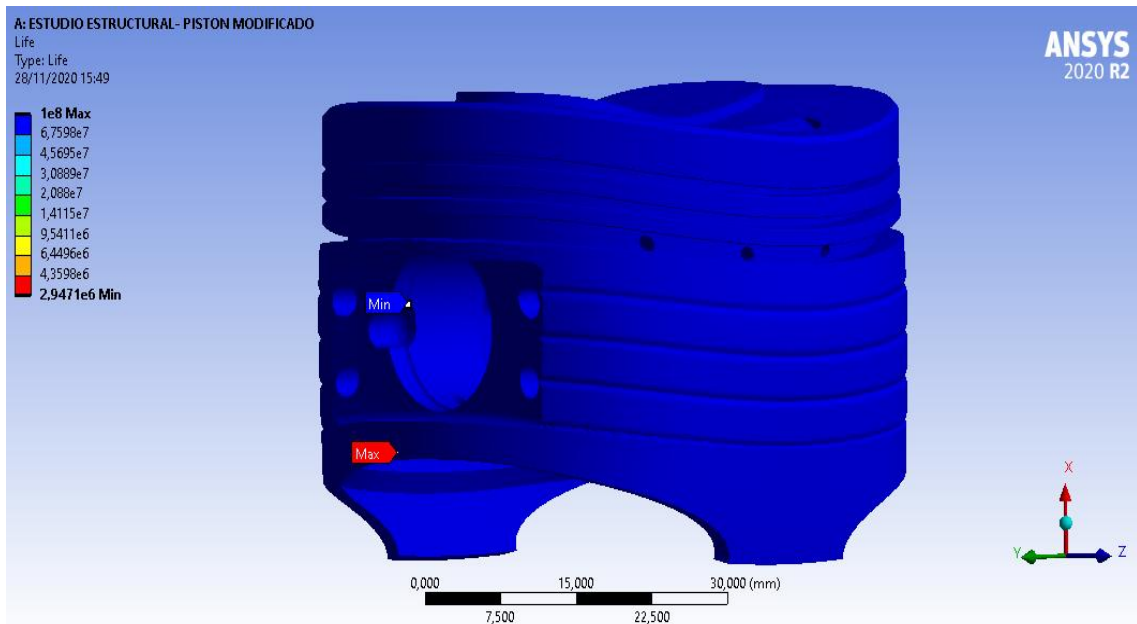


Figura 31-3: Ciclos de vida útil del pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.2.2.8 Factor de seguridad de fatiga del pistón

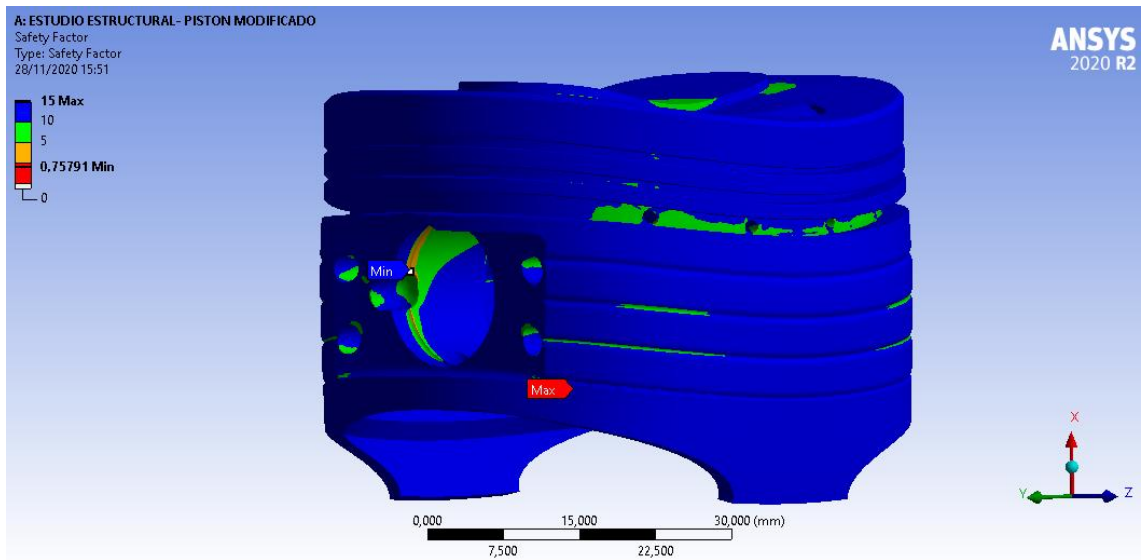


Figura 32-3: Factor de seguridad de la fatiga del pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.2.3 Simulación dinámica con pistón modificado

Una vez obtenida la geometría completa en forma de ensamblaje de los elementos necesarios en SolidWorks, como indica la Figura 3-3, se procede a utilizar el módulo de ANSYS Workbench llamado Transient Structural, donde se ingresa la geometría.

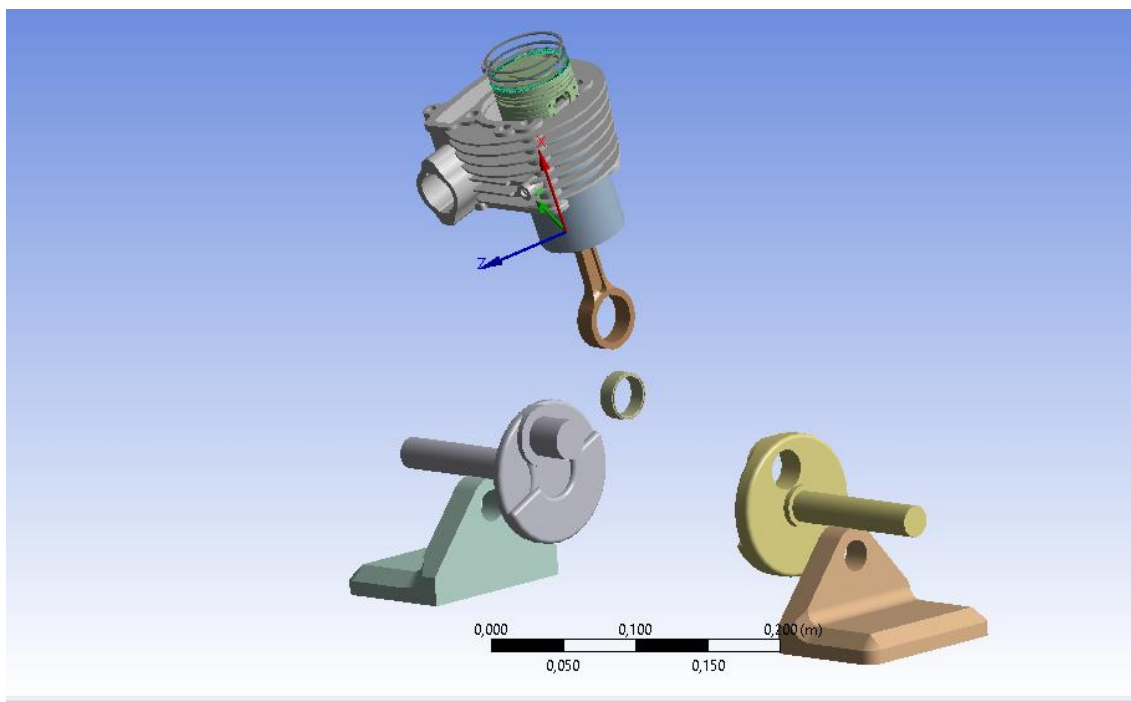


Figura 33-3: Geometría de motor para simulación dinámica con pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.2.3.1 Declaración de materiales de las partes geométricas del motor

Para el estudio dinámico del pistón modificado, se utiliza como referencia la tabla 6-3, donde se encuentra especificado los materiales y las partes del motor que se involucran en este estudio, reemplazando por la geometría del pistón modificado como muestra en la figura 2-3.

3.4.2.3.2 Declaración de conexiones y articulaciones de la geometría del motor con el pistón modificado

Se declara las mismas conexiones que se toma de referencia de la tabla 7-3, en la cual está identificado cada junta y articulación del motor como indica la figura 33-3, pero en este caso con el pistón modificado.

3.4.2.3.3 Condiciones para realizar el análisis dinámico con el pistón modificado

Las condiciones que se considera en el análisis dinámico del pistón son: presión media efectiva en la parte superior del pistón, torque efectivo en el vástago del cigüeñal, valores que se obtiene de la tabla 8-3 y una articulación con una velocidad rotacional máxima de 733,04 rad/s en el vástago del cigüeñal como se puede observar en la figura 33-3.

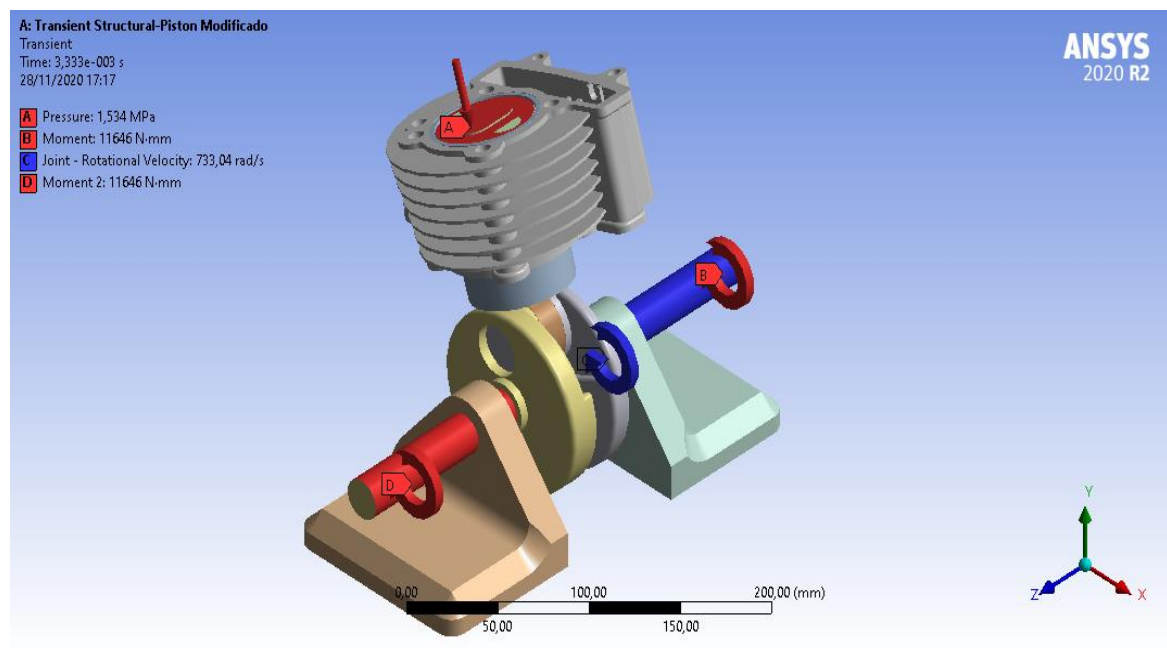


Figura 34-3: Aplicación de magnitudes a motor con pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.2.3.4 Desplazamiento total Lineal del pistón modificado

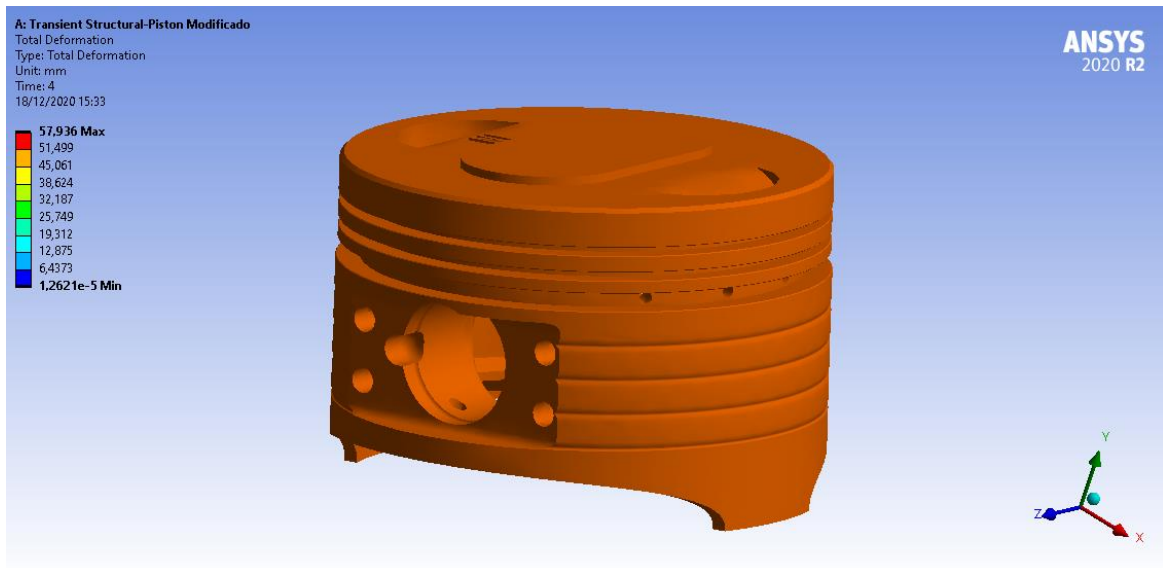


Figura 35-3: Desplazamiento lineal total del pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.2.3.5 Estrés equivalente del pistón modificado

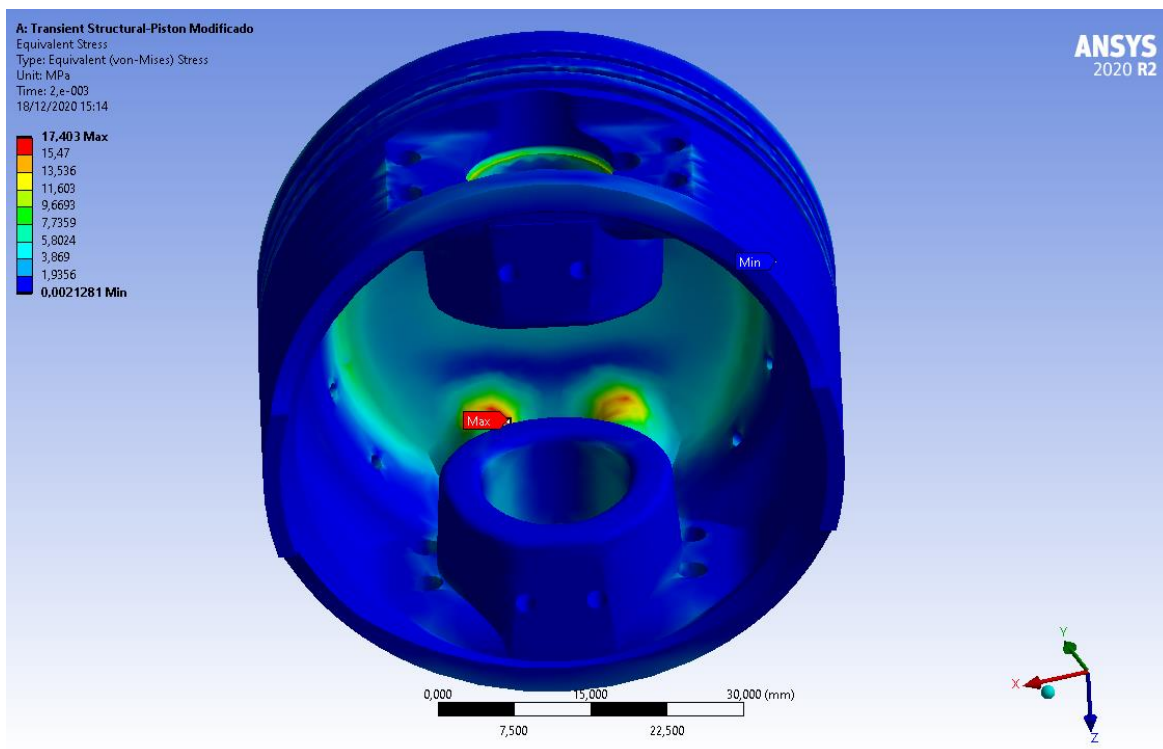


Figura 36-3: Estrés equivalente del pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.2.3.6 Velocidad lineal total del pistón modificado

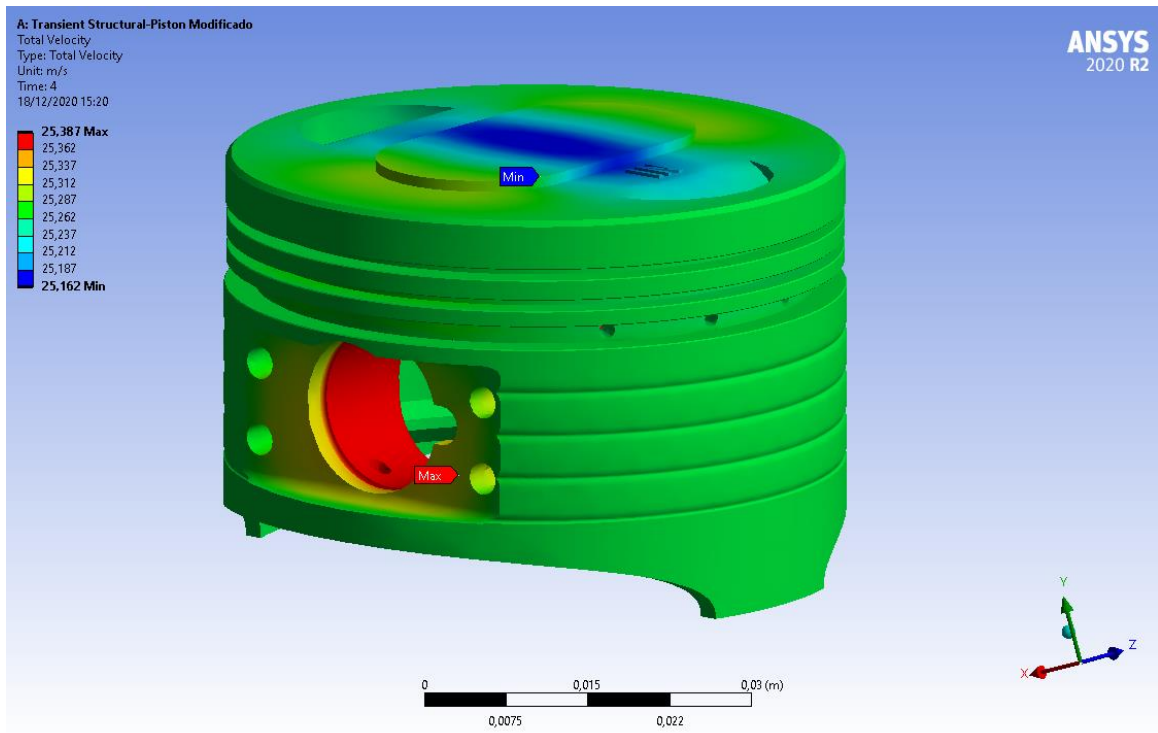


Figura 37-3: Velocidad lineal total del pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.2.4 Simulación térmica con pistón modificado

Al igual que en el pistón estándar, se aplica una temperatura en la cabeza del pistón de 650 °C la cual llega a ser aplicada instantáneamente en el momento de ignición, con un coeficiente de transferencia de calor de 6,6444E-5 W/m².°C del aluminio, como se puede observar en la figura 38-3.

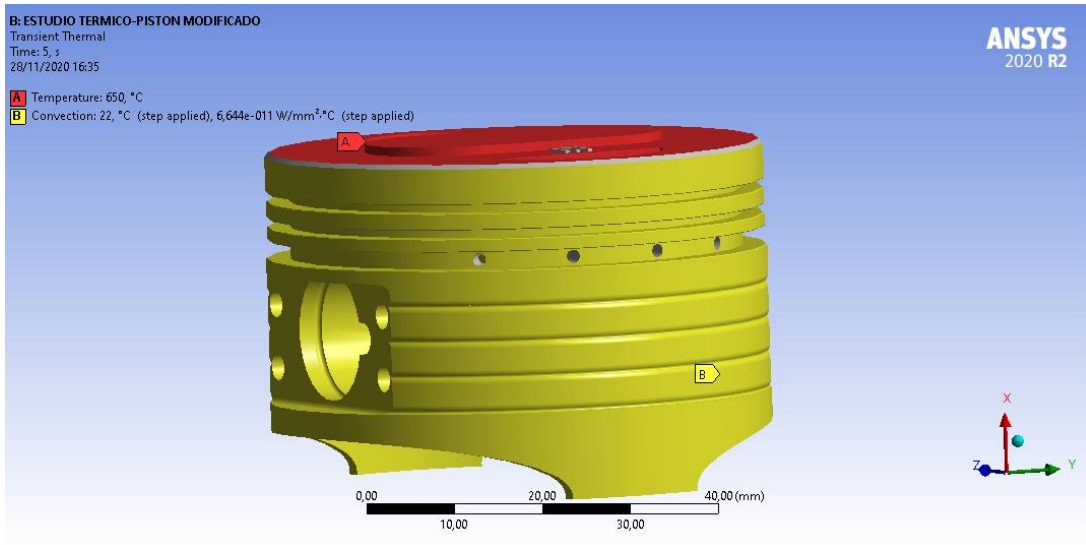


Figura 38-3: Aplicación de condiciones para estudio térmico del pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.2.4.1 *Dispersión térmica de temperatura en el pistón modificado*

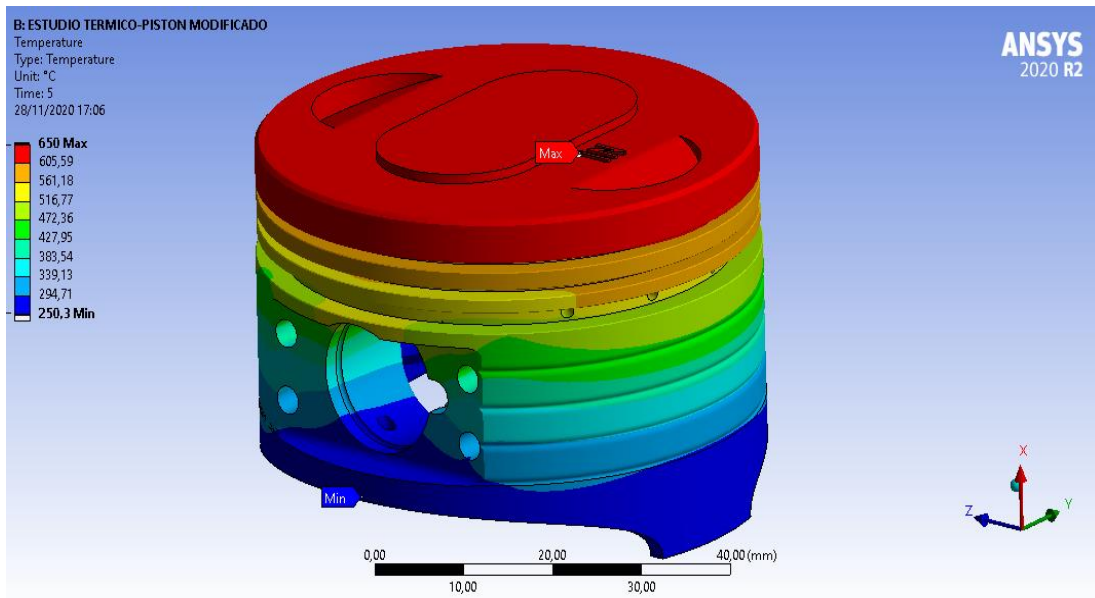


Figura 39-3: Dispersión térmica de temperatura en pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.4.2.4.2 Flujo de calor total en el pistón modificado

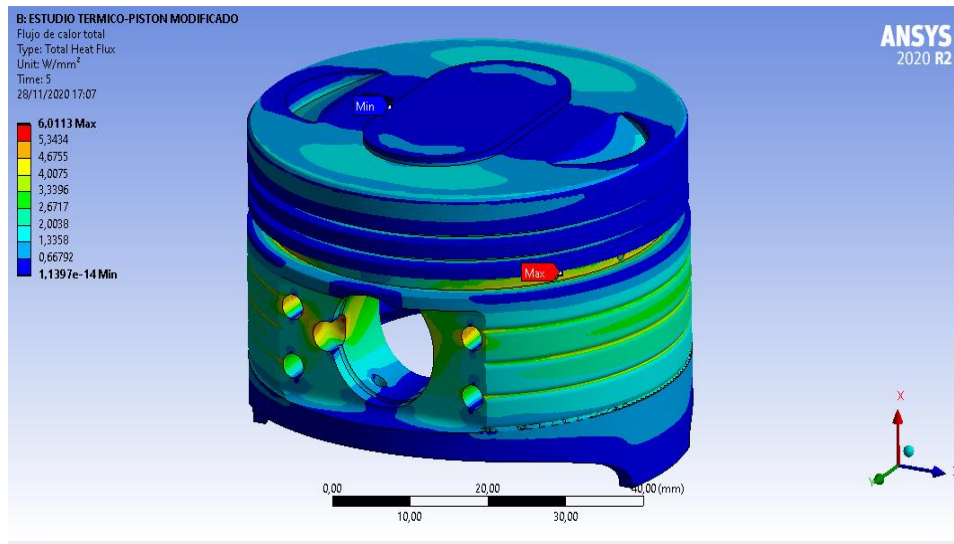


Figura 40-3: Flujo total de calor en el pistón modificado

Fuente: Autores, 2020

3.5 Fundición del pistón modificado

3.5.1 Impresión en 3D de moldes

Para la preparación de los moldes, se imprimen las cajas de macho y matriz permanente en 3D, en una impresora Creality, modelo Ender-3 Pro, el material utilizado es fibra de carbono, relleno de 30%, a una temperatura de 200°C el extrusor, con una boquilla de 0.4 mm, la cama a 60°C y con una calidad de 0,1 mm entre cada capa de material.

3.5.1.1 Cajas de macho

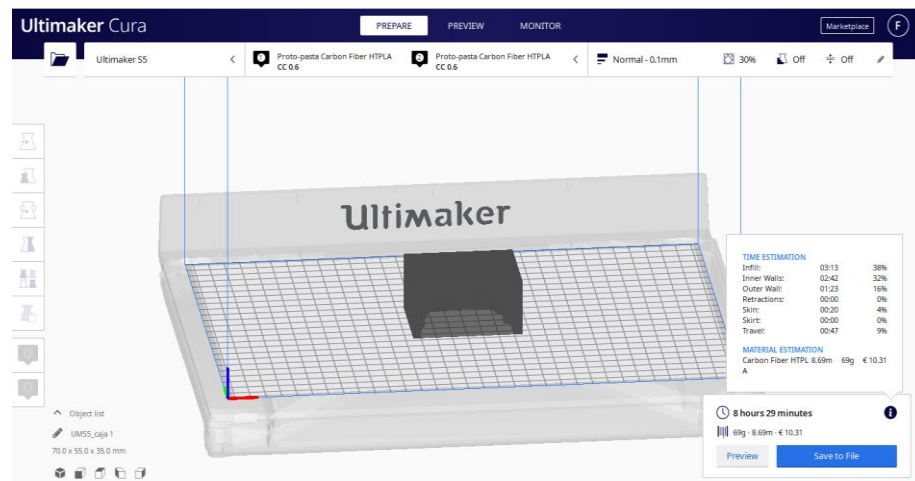


Figura 41-3: Caja de macho 1

Fuente: Autores, 2020

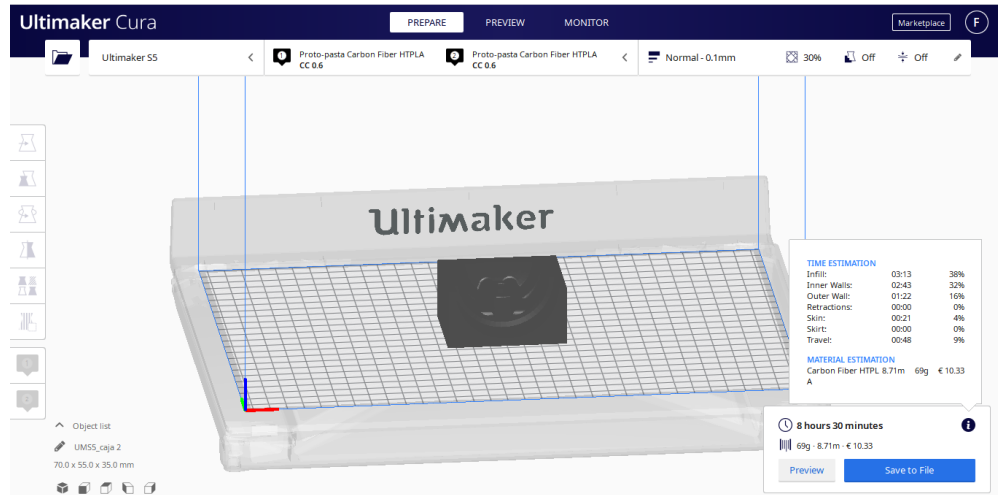


Figura 42-3: Caja de macho 2

Fuente: Autores, 2020

3.5.1.2 Matriz Permanente

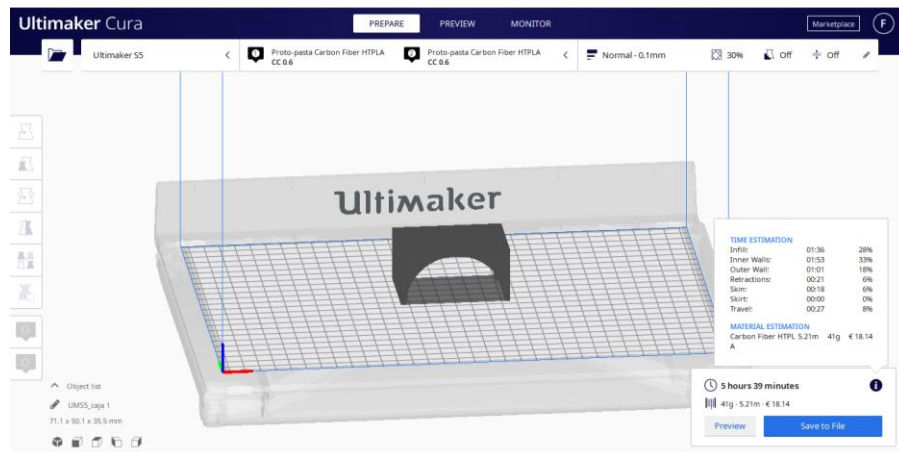


Figura 43-3: Caja 1 de matriz permanente.

Fuente: Autores, 2020

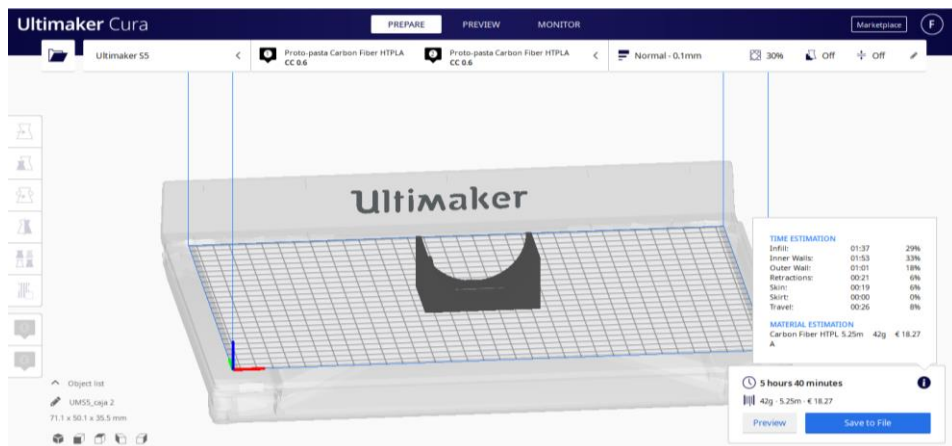


Figura 44-3: Caja 2 de matriz permanente.

Fuente: Autores, 2020

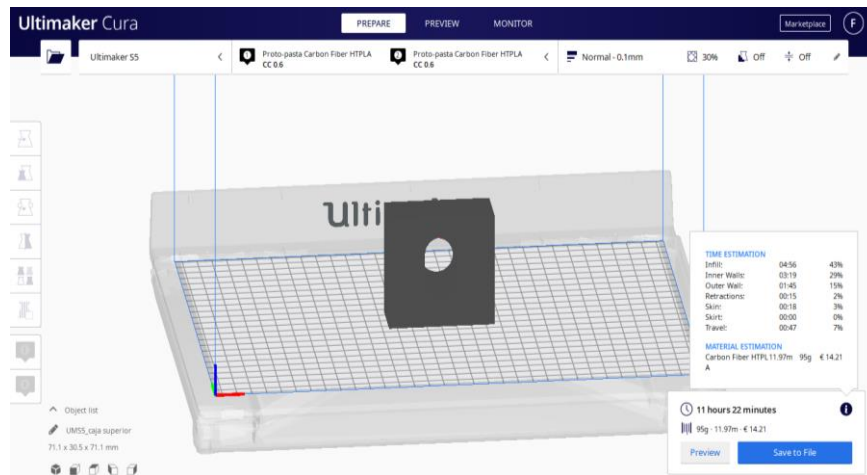


Figura 45-3: Caja superior de matriz permanente.

Fuente: Autores, 2020

3.5.2 Preparación de moldes

Se procede a eliminar las imperfecciones de la impresión, utilizando lija de agua N° 150, como se observa en la figura 45-3.



Figura 46-3: Desbaste de rugosidades de fibra de carbono.

Fuente: Autores, 2020

3.5.3 Proceso de moldeo

3.5.3.1 Preparación de arena

Para preparar la arena de sílice, es necesario seguir los siguientes pasos:

Paso N°1

Se elimina las impurezas que existen en la arena de sílice por medio de tamización, como se observa en la figura 46-3.



Figura 47-3: Tamización de arena de sílice.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°2

A continuación, se agrega aglutinante (Silicato de sodio), figura 47-3, tomando en cuenta que por cada $\frac{1}{4}$ qq de arena se debe agregar 2 lt de resina.



Figura 48-3: Silicato de Sodio

Fuente: Autores, 2020

Paso N°3

Como se observa en la figura 48-3, se mezcla uniformemente la resina con la arena de sílice, hasta formar una masa húmeda.



Figura 49-3: Mezcla uniforme de arena con resina

Fuente: Autores, 2020

3.5.3.2 *Elaboración de molde para matriz de Bronce*

Paso N°1

Se elabora una caja de madera, la cual consta de dos partes desarmables, como se observa en la figura 49-3.

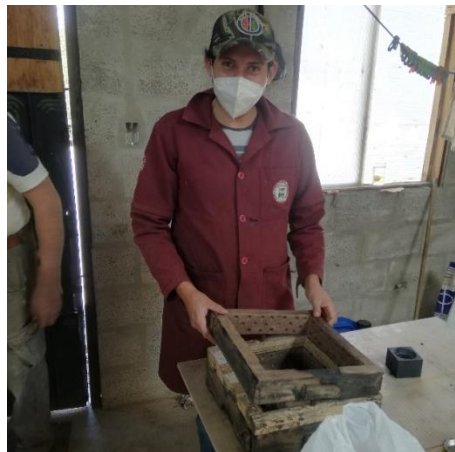


Figura 50-3: Elaboración de caja para moldes de matriz de bronce

Fuente: Autores, 2020

Paso N°2

Se ubica las tres piezas del molde, para la matriz de bronce, como se observa en la figura 50-3 para después colocar encima de estas un separador (talco industrial).

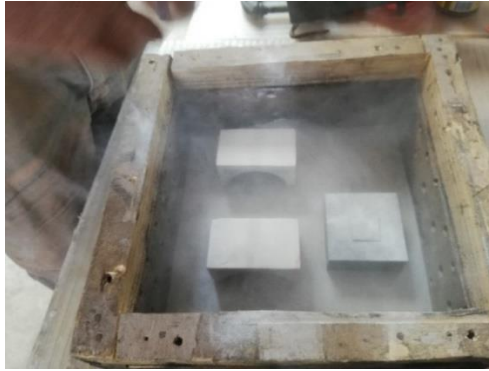


Figura 51-3: Colocación de piezas en molde de matriz de bronce.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°3

Como se observa en la figura 51-3, se coloca arena de sílice preparada anteriormente.



Figura 52-3: Elaboración de caja para moldes de matriz de bronce.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°4

A continuación, se coloca tubos en lugares estratégicos de las piezas, como se observa en la figura 52-3, creando orificios que servirán posteriormente para verter el bronce de fundición, después se coloca arena de sílice hasta el límite superior de la caja y se retira los tubos.



Figura 53-3: Creación de orificios para verter bronce de fundición.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°5

Posteriormente, se realiza orificios alrededor de la caja, mismos que servirán para evacuar los gases presentes en la inyección del CO₂, como se refleja en la figura 53-3.



Figura 54-3: Creación de orificios para verter bronce de fundición.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°6

Luego se inyecta CO₂ (Dióxido de carbono), para acelerar el proceso de enfriamiento de la arena de sílice preparada anteriormente, como se refleja en la figura 54-3.



Figura 55-3: Inyección de CO₂.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°7

A continuación, se remueve el material que se encuentra alrededor de las piezas, como se observa en la figura 56-3.



Figura 56-3: Remoción de arena de silicio.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°8

Seguidamente se coloca la segunda parte de la caja para después agregar el separador (talco industrial), para posteriormente remover las piezas con facilidad, como se observa en la figura 57-3.



Figura 57-3: Colocación de talco industrial.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°9

A continuación, se agrega arena de sílice hasta la parte superior de la caja, presionando con fuerza con ayuda de herramientas como martillo, combo, etc, como se aprecia en la figura 58-3. Posteriormente se deben repetir los pasos 4, 5 y 6, mencionados anteriormente.



Figura 58-3: Colocación de talco industrial.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°10

Finalmente se extraen las piezas impresas en 3D y se corrige errores con mucha delicadeza, con ayuda de resina y arena de sílice, como se refleja en la figura 59-3.

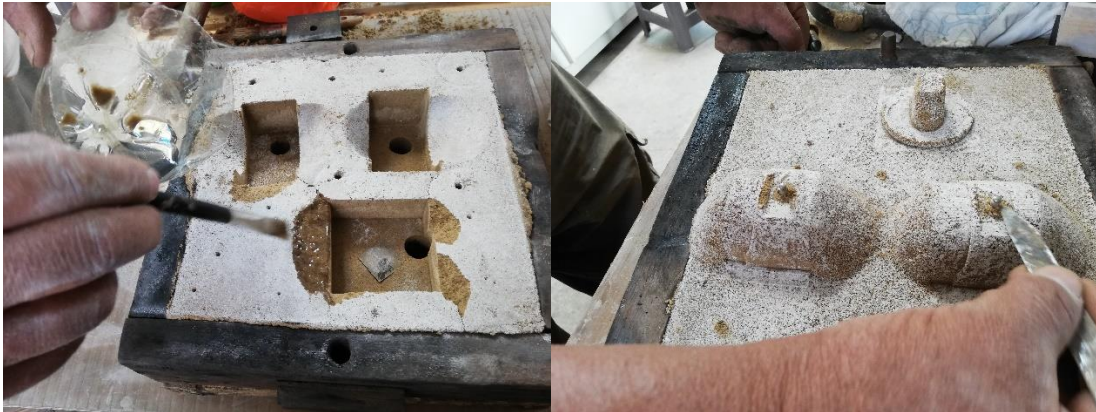


Figura 59-3: Corrección de errores en figuras de molde.

Fuente: Autores, 2020

3.5.3.3 *Elaboración de machos*

Paso N°1

Se coloca el separador (talco industrial) en la parte interna de las piezas, como se refleja en la Figura 60-3.



Figura 60-3: Colocación de talco industrial.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°2

A continuación, se coloca la arena de sílice, al mismo tiempo que se compacta con ayuda de un martillo de goma, como se observa en la figura 61-3.



Figura 61-3: Compactación de la arena de sílice.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°3

Se coloca una prensa entre ambas piezas, de forma que cierre uniformemente las dos partes del macho, como se refleja en la figura 62-3.



Figura 62-3: Prensado de caja de machos.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°3

Luego, se realiza orificios alrededor del macho, mismos que servirán para evacuar los gases presentes en la inyección posterior del CO₂, como se refleja en la figura 63-3.



Figura 63-3: Creación de orificios para molde de macho.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°4

Posteriormente, se inyecta CO₂ (Dióxido de carbono), para acelerar el proceso de enfriamiento de la arena de sílice preparada anteriormente, como se refleja en la figura 64-3



Figura 64-3: Inyección de CO₂

Fuente: Autores, 2020

Paso N°5

En la figura 65-3, se puede observar la extracción de las piezas del macho, es importante recordar que se debe tener mucho cuidado, pues es la última y más difícil operación.

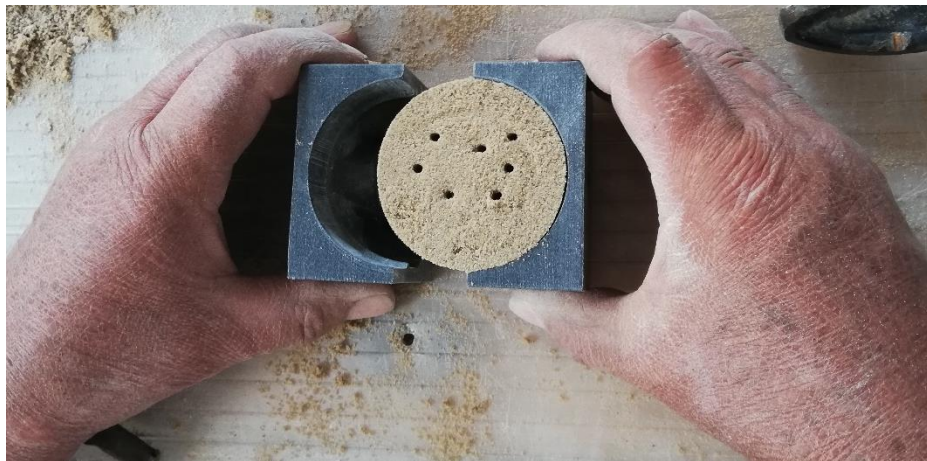


Figura 65-3: Separación de moldes de macho.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°6

A continuación, se realizan 6 veces los pasos anteriores, para obtener 6 machos idénticos, como se observa en la figura 66-3, para obtener el mismo número de pistones fundidos, al finalizar todo el proceso de fundición.



Figura 66-3: Machos finalizados

Fuente: Autores, 2020

3.5.4 *Fundición de Matriz Permanente*

Paso N°1

Se prepara el crisol, después se lo ubica dentro del horno de fundición, como se observa en la figura 67-3.



Figura 67-3: Crisol con horno de fundición.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°2

Se agrega Silicato de cobre e hidróxido de sodio, mismos que servirán para separar impurezas presentes en el cobre y preparar la base interna del crisol, tal como se observa en la figura 68-3.



Figura 68-3: Silicato de cobre e hidróxido de sodio.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°3

Luego se añade vidrio, en este caso se utilizó una botella, la misma que creará una especie de nata luego que el metal alcance su punto de fusión, lo que facilitará la fundición, como se observa en la figura 69-3.



Figura 69-3: Colocación de vidrio en el crisol.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°4

Posteriormente se inserta el bronce en el crisol, como se puede observar en la figura 70-3.



Figura 70-3: Colocación de bronce en el crisol.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°5

Después, se mezcla la arena de sílice con agua para formar una masa espesa, la cual se aplica en la parte superior del horno, con la finalidad de hermetizar con la tapa de este, como se observa en la figura 71-3.



Figura 71-3: Aplicación de arena de sílice con agua al horno.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°6

A continuación, se conecta la manguera de gas al cilindro y se verifica que no haya ninguna fuga para preparar el quemador, como se observa en la figura 72-3.



Figura 72-3: Conexión de GLP.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°7

Luego se conecta el ventilador centrífugo al quemador, como se observa en la figura 73-3, el cuál aportará oxígeno necesario para la fundición.



Figura 73-3: Instalación del ventilador centrífugo.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°8

A continuación, se enciende el quemador del horno, como se refleja en la figura 74-3.



Figura 74-3: Encendido del quemador.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°9

Luego se coloca la tapa del horno, para calentar el bronce durante una hora y treinta minutos, como se refleja en la figura 75-3.



Figura 75-3: Colocación de la tapa del horno.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°10

A continuación, se elimina la humedad de los moldes, con ayuda de un soplete, véase la figura 76-3.



Figura 76-3: Eliminación de humedad.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°11

Luego se quita la caja de madera del molde, para agregar alrededor de la unión de madera, la masa espesa que se utilizó en el paso N°5, véase la figura 77-3.



Figura 77-3: Aplicación de arena de sílice con agua al molde.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°12

Después de esperar el tiempo necesario, se vierte el bronce fundido sobre los alimentadores de cada molde, véase la figura 78-3.



Figura 78-3: Vertido de bronce fundido.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°13

Posteriormente, se quitan las piezas de bronce de los moldes, véase la figura 79-3.



Figura 79-3: Extracción de pieza de bronce.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°14

Luego se enfrían las piezas con agua al ambiente, véase la figura 80-3.



Figura 80-3: Extracción de pieza de bronce.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°15

Después se retira la arena de sílice y el exceso de material presente en cada una de las piezas, véase la figura 81-3.



Figura 81-3: Eliminación de exceso de material.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°16

Finalmente, se lima las porosidades de cada una de las piezas, para tener una superficie totalmente lisa, como se puede observar en la figura 82-3.



Figura 82-3: Eliminación de porosidad de bronce.

Fuente: (Propia)

3.5.5 *Fundición del Pistón Modificado*

Paso N°1

Se limpia el aluminio a utilizar, eliminando todas las impurezas presentes, véase la figura 83-3.



Figura 83-3: Eliminación de impurezas del aluminio.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°2

Después se agrega la aleación de silicio, hierro, cobre, Magnesio y Wolframio en el crisol, para obtener el aluminio 4032-T6 como se observa en la figura 84-3.



Figura 84-3: Aleaciones de aluminio.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°3

Luego se coloca el crisol dentro del horno, tal como se observa en la figura 85-3.



Figura 85-3: Crisol en el horno.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°4

Posteriormente se inserta el aluminio en el crisol, como se puede observar en la figura 86-3.



Figura 86-3: Colocación de aluminio en el crisol.

Fuente: Autores, 2020

Los pasos N° 5-10 se detallaron en la fundición de la matriz permanente, del apartado 3.6.4., tomando en cuenta, que el aluminio se calienta únicamente por 30 minutos aproximadamente.

Paso N°12

Luego se inserta el macho dentro de la matriz permanente, de tal forma que encaje perfectamente, véase la figura 87-3.

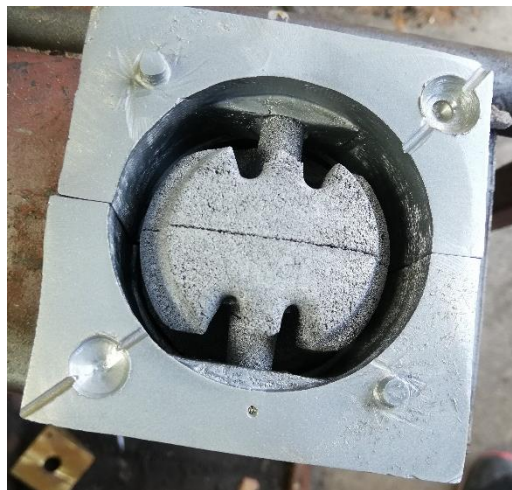


Figura 87-3: Colocación de macho en matriz permanente.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°13

Posteriormente, se sellan todas las aberturas por donde se puede derramar el aluminio fundido, véase la figura 88-3.



Figura 88-3: Eliminación de aberturas.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°14

Después se calienta la matriz y el macho para luego verter el aluminio fundido, véase la figura 89-3.



Figura 89-3: Calentamiento de piezas.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°15

A continuación, se coloca la tapa superior y se asegura la matriz permanente a una mesa metálica, con ayuda de prensas, como se observa en la figura 90-3.



Figura 90-3: Fijación de matriz permanente.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°16

Una vez transcurridos los 30 minutos y observando que el aluminio se encuentre totalmente líquido, se procede a verter por el alimentador, véase la figura 91-3.



Figura 91-3: Colocación de aluminio fundido.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°17

Posteriormente, se procede a golpear el alimentador, con ayuda de un martillo, para mejorar las propiedades del aluminio fundido, como se observa la figura 92-3.



Figura 92-3: Ubicación de átomos de pistón.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°18

Luego se extrae el pistón de la matriz de bronce, como se observa en la Figura 93-3



Figura 93-3: Extracción del pistón.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°19

Finalmente se obtiene el pistón fundido con aluminio 4032-T6, el cuál se deja enfriar a temperatura ambiente, para posteriormente ser mecanizado, como se observa en la figura 94-3.



Figura 94-3: Pistón fundido.

Fuente: Autores, 2020

3.6 Mecanización del pistón

Una vez fundido el pistón, el siguiente paso es la mecanización de este, mediante CNC con la utilización de fresadora y torno con controlador FANUC.

Como punto de partida, se tiene un peso total de 184 g, según se observa la figura 95-3.



Figura 95-3: Peso de pistón fundido.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°1

Se realiza el proceso de cilindrado, hasta obtener el diámetro de 56,4 mm, como se observa en la figura 96-3.



Figura 96-3: Proceso de cilindrado.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°2

A continuación, se realiza el desbaste de material para que se alojen los rines, además de las nuevas ranuras de lubricación que son parte de las modificaciones planteadas, como se observa en la figura 97-3.



Figura 97-3: Ranuras de segmentos.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°3

Posteriormente, con ayuda de un taladro de pedestal y con una broca de 1,5mm, se realizan los agujeros que son parte de la lubricación del pistón, véase la figura 98-3.



Figura 98-3: Agujeros de lubricación.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°4

A continuación, se realizan los espacios para las válvulas de admisión y escape.



Figura 99-3: Espacio para válvulas.

Fuente: Autores, 2020

Como se observa en la figura 99-3, después de realizar varias operaciones, se tiene hasta ahora un peso de 108g.

Paso N°5

Luego se procede a utilizar la máquina CNC con controlador Fanuc, para dar forma a la parte superior del pistón, como se puede observar la figura 100-3.



Figura 100-3: CNC Fanuc de 3 ejes.

Fuente: Autores, 2020

Posteriormente, con ayuda del programa Mastercam se procede a generar el código, para realizar las operaciones de desbaste en la parte superior del pistón.

```

1 G21
2 G0 G17 G40 G49 G80 G90
3 M9
4 G0 G90 G54 X-15.25 Y8.75 S2000 M3
5 G43 H1 Z25.
6 Z5.
7 G1 Z0.0F70.
8 G2 X0. Y24. I15.25 J0. F190.
9 X15.25 Y8.75 I0. J-15.25
10 G1 Y-8.75
11 G2 X0. Y-24. I-15.25 J0.
12 X-15.25 Y-8.75 I0. J15.25
13 G1 Y8.75
14 G0 Z25.
15 M5
16 G90 Z150
17 M30
18
19
20
  
```

Figura 101-3: Código de desbaste parte superior/pistón.

Fuente: Autores, 2020

Después de revisar el código en el programa CIMCO 8.00.48, véase la figura 100-3, se utiliza la máquina CNC, para dar un mejor acabado a los espacios de válvulas, como también retirar el excedente de material, como se observa en la figura 102-3.



Figura 102-3: Eliminación de material de cabeza de pistón.

Fuente: Autores, 2020

Luego de haber realizado las operaciones anteriores, se tiene un peso de 106 g, véase la figura 103-3.



Figura 103-3: Peso de pistón (106 g).

Fuente: Autores, 2020

Paso N°6

A continuación, se genera el código para realizar el desbaste de material, de la parte rectangular por donde se retira el bulón, como se observa en la figura 104-3.

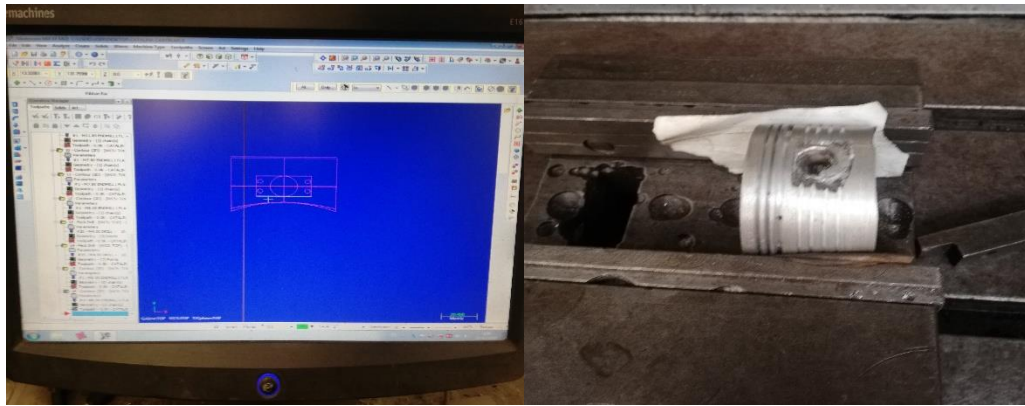


Figura 104-3: Desbaste de material de zona de bulón.

Fuente: Autores, 2020

En la figura 105-3, se observa el código que se utiliza para obtener el desbaste de material, que se mencionó anteriormente.

```

1 %
2 O0000 (CUADRAD)
3 G21
4 G0 G17 G40 G49 G80 G90
5 M9
6 G0 G90 G54 X17.35 Y-8 S2100 M3
7 G43 H1 Z25.
8 Z5.
9 G1 Z-3.9F70.
10 X17.35 Y-17.7
11 Y-39.7 F190.
12 X24.35
13 Y-17.7
14 X17.35
15 G0 Z25.
16 M5
17 G90 Z150
18 M30
19 %
20
  
```

Figura 105-3: Código de desbaste de material de zona de bulón.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°7

Posteriormente, se realiza las perforaciones (cuatro en cada lado) de lubricación, alrededor del orificio donde va ubicado el bulón, véase la figura 106-3, del código generado.

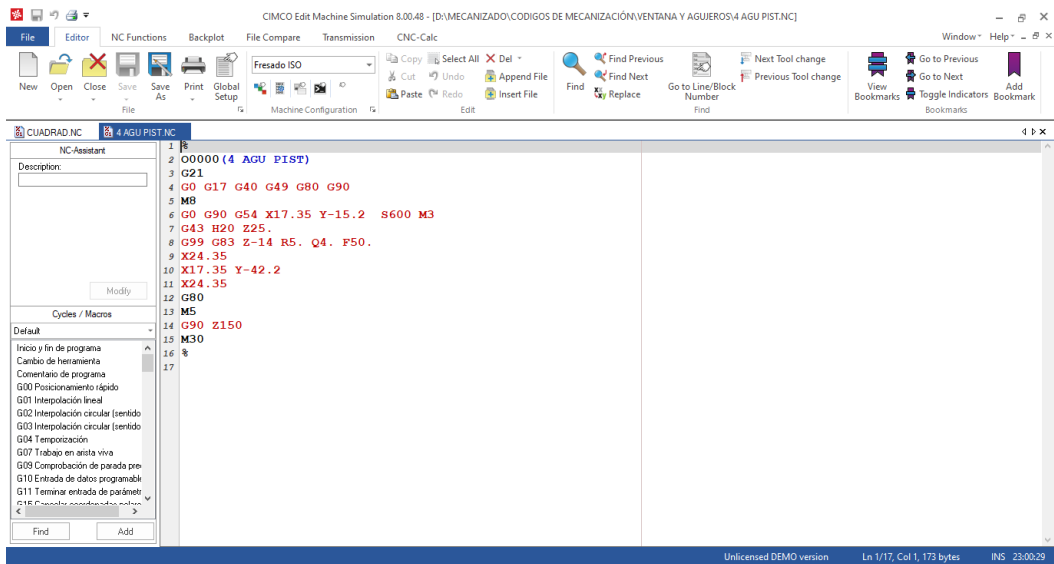


Figura 106-3: Código de perforaciones de lubricación.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°8

Después, se realiza orificio del bulón, como se observa en la figura 107-3 y en la figura 108-3, el código utilizado para dicha operación.



Figura 107-3: Orificio de bulón.

Fuente: Autores, 2020

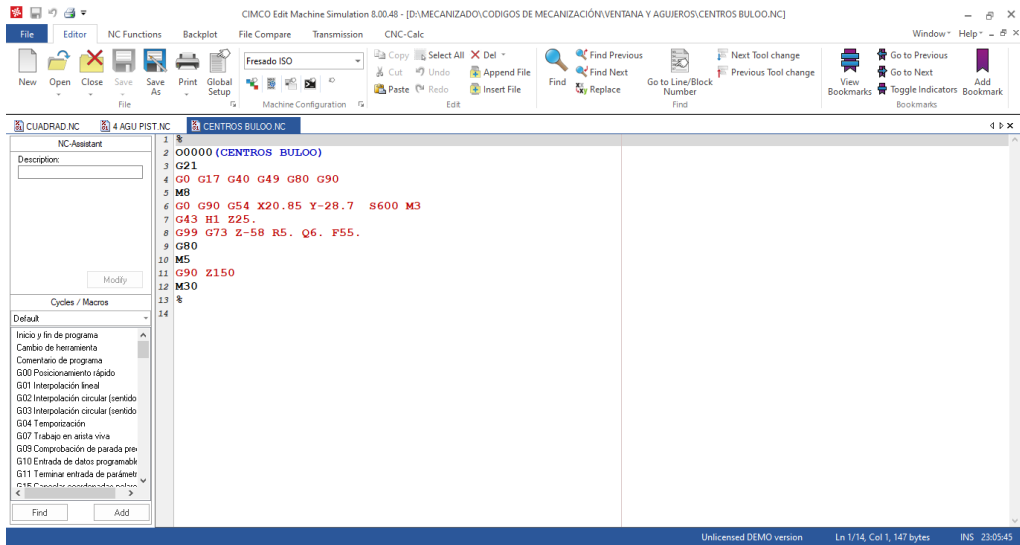


Figura 108-3: Código de orificio de bulón.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°9

Después, se realiza la mecanización de las faldas, véase la figura 109-3 y en la figura 110-3 se puede observar el código de la operación.



Figura 109-3: Mecanización de faldas.

Fuente: Autores, 2020

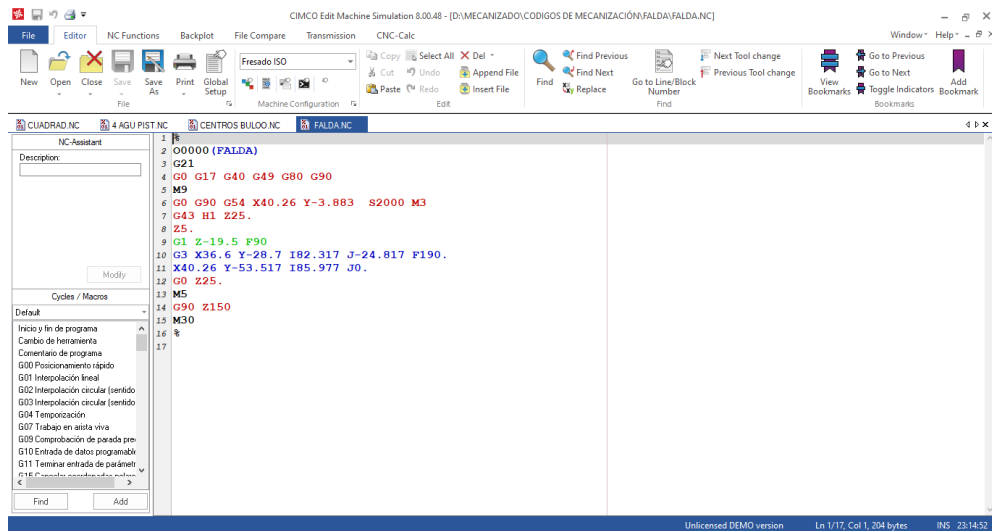


Figura 110-3: Código de Mecanización de faldas de pistón.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°10

Finalmente, se utiliza una lija de agua N°180 para pulir el material y dar los acabados necesarios, véase la figura 111-3.

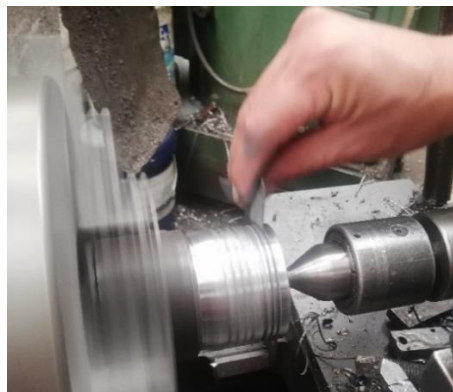


Figura 111-3: Proceso de pulido del pistón.

Fuente: Autores, 2020

En la figura 112-3, después de culminar con el mecanizado, se puede observar que el pistón tiene un peso final de 90g,



Figura 112-3: Peso final del pistón.

Fuente: Autores, 2020

3.7 Pruebas de consumo de combustible

La prueba de consumo consiste en vaciar el depósito de combustible, luego colocar 50 MI de gasolina extra, encender el motor y tomar el tiempo que transcurre hasta que el depósito se vacíe nuevamente, esto se realiza a diferentes revoluciones: 3000, 4000 y 5000 RPM. A continuación, se explica a detalle.

Paso N°1

Se carbura el motor, ajustando completamente el tornillo de consumo de bajos y luego se debe girar en sentido antihorario dos vueltas y media para regular el paso de aire. Después se debe regular el tornillo de consumo de medios para estabilizar el motor a 3000 RPM, si se regula a menores revoluciones, el motor tiende a vibrar en exceso y a apagarse, véase la figura 113-3.



Figura 113-3: Carburación de motor.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°2

Luego, se desconecta la manguera de salida del depósito de combustible, para vaciar completamente el mismo, véase la figura 114-3.



Figura 114-3: Vaciado de tanque de combustible.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°3

Posteriormente, se conecta la manguera de salida del depósito de combustible, se vierte 50 MI con ayuda de una jeringuilla de 60 MI a un recipiente milimetrado para tener mayor exactitud en las pruebas realizadas, como se observa en la figura 115-3.



Figura 115-3: Medición de combustible.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°4

A continuación, se vierte el combustible medido al depósito, luego se realizan dos marcas, para saber el momento exacto cuándo se consuman los 50 MI de gasolina extra, como se observa la figura 116-3.



Figura 116-3: Vertido de 50 MI de gasolina.

Fuente: Autores, 2020

3.7.1 *Fabricación de maqueta didáctica*

Debido a que únicamente se compró el motor Qingqi 150cc, es necesario fabricar una base de metal para el mismo, con su respectivo sistema eléctrico y demás accesorios, de tal forma que sea didáctica y sobre todo facilite la realización de las pruebas que conlleven el tema en análisis. El procedimiento correspondiente, se detalla a continuación:

Paso N°1

Se realiza el diseño con ayuda del programa SolidWorks, considerando su material, esfuerzos y demás factores importantes, como se observa en la figura 117-3.

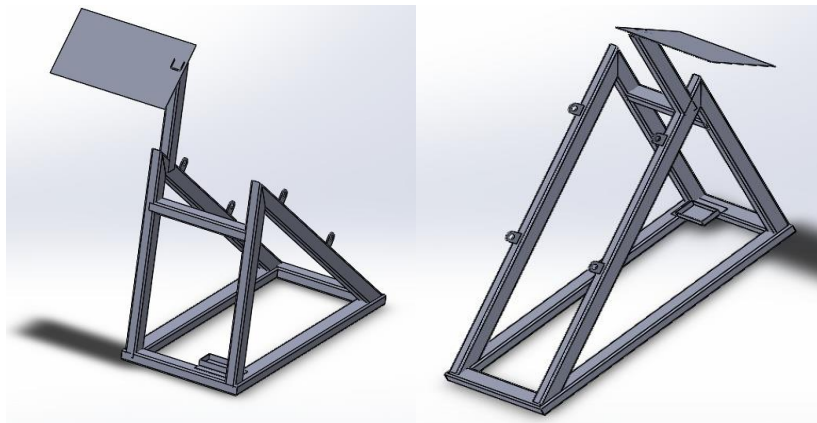


Figura 117-3: Base de motor Qingqi 150cc.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°2

A continuación, se procede a soldar los metales, utilizando perfil tipo C de hierro negro formado en frío, como se observa en la figura 118-3.



Figura 118-3: Soldadura de perfiles.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°3

Posteriormente, se verifica medidas entre el motor y la base, véase la figura 119-3.



Figura 119-3: Acoplamiento entre motor y base.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°3

Luego, se realiza el desbaste de las superficies irregulares y se elimina las rugosidades ocasionadas por la suelda para posteriormente pintar la base, véase la figura 120-3.



Figura 120-3: Pintura de base.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°4

Finalmente, se coloca el motor sobre la base para después realizar la instalación eléctrica, adaptación de un depósito de combustible, tubo de escape con silenciador y una placa didáctica de acrílico, donde se ubicarán todos los mandos, como se observa la figura 121-3.



Figura 121-3: Desbaste y pintura de base.

Fuente: Autores, 2020

3.7.2 Pruebas de consumo con pistón estándar

3.7.2.1 Prueba a 3000 RPM

Después de realizar tres pruebas diferentes de consumo, se obtiene la tabla 9-3.

Tabla 9-3: Pruebas de consumo a 3000 RPM con pistón estándar.

PRUEBAS A 3000 RPM		
PRUEBAS	TIEMPO (min)	COMBUSTIBLE (MI)
Nº1	11:18:08	50
Nº2	11:04:55	50
Nº3	10:58:42	50

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

Luego se saca una media de los tiempos (transformando a horas), para dividir con el volumen del combustible (en litros) y así poder obtener el caudal o consumo de combustible.

Volumen=50MI=0,05L

Tiempo= 0,1388h

Finalmente se calcula el consumo, dividiendo el volumen por el tiempo.

$$Q = \frac{V}{t}$$

(40)

Donde:

Q= Consumo de combustible

V= Volumen

t= Tiempo

$$Q_1 = \frac{0,05 L}{0,1388 h}$$

$$Q_1 = 0,36 \frac{L}{h}$$

3.7.2.2 Pruebas a 4000 RPM

Después de realizar tres pruebas diferentes de consumo, se obtiene la tabla 10-3.

Tabla 10-3: Pruebas de consumo a 4000 RPM con pistón estándar.

PRUEBAS A 4000 RPM		
PRUEBAS	TIEMPO (min)	COMBUSTIBLE (MI)
Nº1	08:10:83	50
Nº2	08:08:84	50
Nº3	08:44:85	50

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

Volumen=0,05L

Tiempo= 0,1043h

$$Q_2 = \frac{0,05 L}{0,1043h}$$

$$Q_2 = 0,4792 \frac{L}{h}$$

3.7.2.3 Pruebas a 5000 RPM

Después de realizar tres pruebas diferentes de consumo, se obtiene la tabla 11-3.

Tabla 11-3: Pruebas de consumo a 5000 RPM con pistón estándar.

PRUEBAS A 5000 RPM		
PRUEBAS	TIEMPO (min)	COMBUSTIBLE (MI)
Nº1	06:16:28	50
Nº2	06:45:07	50
Nº3	06:43:49	50

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

Volumen=0,05L

Tiempo= 0,0822h

$$Q_3 = \frac{0,05 L}{0,0822 h}$$

$$Q_3 = 0,6081 \frac{L}{h}$$

3.7.3 Pruebas de consumo con pistón modificado

3.7.3.1 Montaje de pistón modificado

Paso Nº1

Se retira la tapa válvulas, como se observa en la figura 122-3.



Figura 122-3: Extracción del tapa válvulas.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°2

Después, se extraen las levas con su respectivo árbol, teniendo en cuenta la posición y marca de cadena con la rueda dentada, véase la figura 123-3

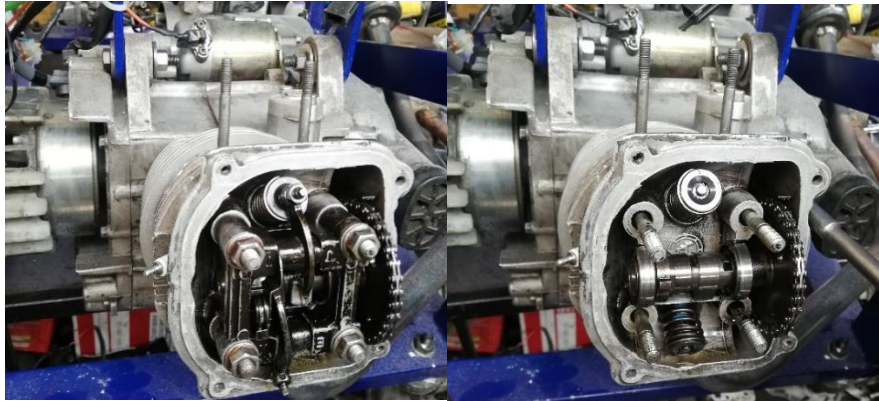


Figura 123-3. Extracción de árbol de levas.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°3

A continuación, con mucho cuidado se retira el cabezote y cilindro, ambas piezas quedan totalmente armadas, véase la figura 124-3.



Figura 124-3: Cabezote y cilindro.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°4

Posteriormente, se retiran los seguros del bulón para extraer el mismo, lo que permitirá liberar al pistón, como se observa en la figura 125-3.



Figura 125-3: Extracción de pistón.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°5

Como siguiente paso, se extraen los rines del pistón estándar y se ubican en el pistón modificado para luego ubicar el bulón y verificar que todo encaje perfectamente, como se observa en la figura 126-3.



Figura 126-3: Ubicación de bulón.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°6

A continuación, se coloca el pistón, por medio del bulón sujetando a la biela y con sus respectivos seguros, véase la figura 127-3.

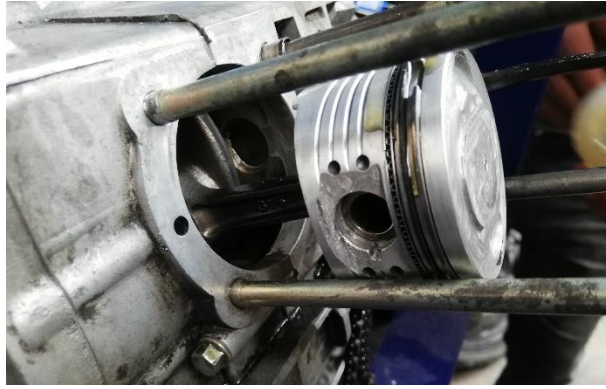


Figura 127-3: Colocación del pistón.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°7

Posteriormente, se lubrica las paredes del pistón y camisa del cilindro para después con mucho cuidado encajar el cilindro a través de los espárragos y guías, el cual permitirá el ingreso del pistón, véase la figura 128-3.

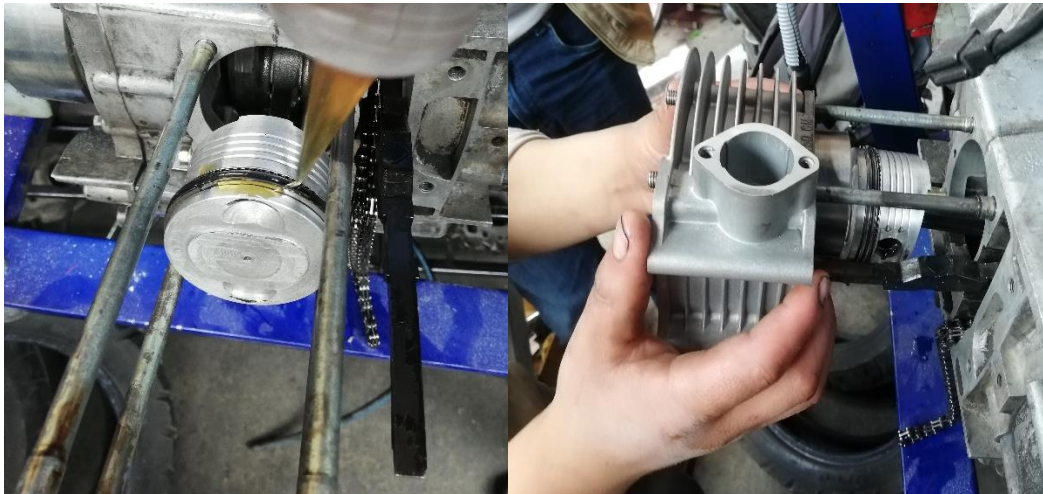


Figura 128-3: Colocación del cilindro.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°8

Luego, se coloca el cabezote para realizar las respectivas comprobaciones de los elementos móviles, es importante acotar que se debe utilizar el torquímetro para apretar las cuatro tuercas de las levas, con una medida de 20 lb-pie, como se observa en la figura 129-3.

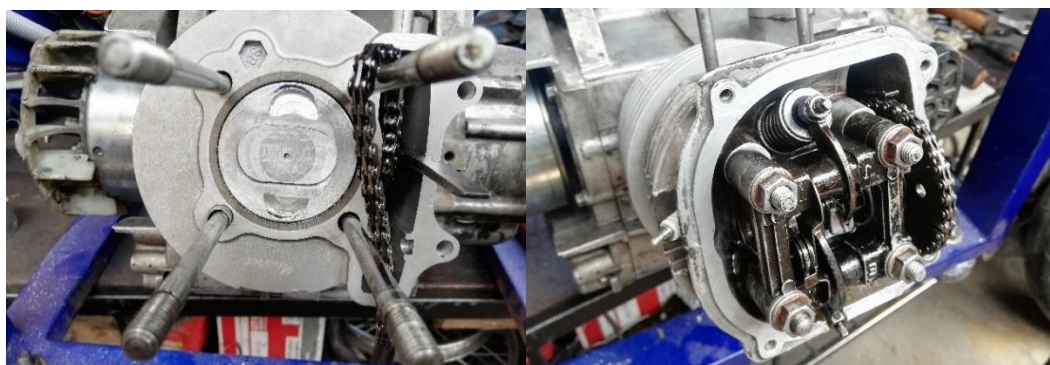


Figura 129-3: Colocación del cabezote.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°9

Finalmente, se coloca el tapa válvulas y se procede a encender el motor, se recomienda dejar encendido el motor al menos 10 minutos, sin aceleraciones bruscas, véase la figura 130-3.



Figura 130-3: Encendido de motor.

Fuente: Autores, 2020

3.7.3.2 Pruebas con pistón modificado

3.7.3.2.1 Pruebas a 3000 RPM

Tabla 12-3: Pruebas de consumo a 3000 RPM con pistón modificado.

PRUEBAS A 3000 RPM		
PRUEBAS	TIEMPO (min)	COMBUSTIBLE (MI)
N°1	11:18:08	50
N°2	11:04:55	50
N°3	10:58:42	50

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

Volumen=50MI=0,05L

Tiempo= 0,1359 h

$$Q_4 = \frac{0,05 L}{0,1359 h}$$

$$Q_4 = 0,3679 \frac{L}{h}$$

3.7.3.2.2 Pruebas a 4000 RPM

Tabla 13-3: Pruebas de consumo a 4000 RPM con pistón modificado.

PRUEBAS A 4000 RPM		
PRUEBAS	TIEMPO (min)	COMBUSTIBLE (MI)
Nº1	08:10:83	50
Nº2	08:08:84	50
Nº3	08:44:85	50

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

Volumen=0,05L

Tiempo= 0,0934 h

$$Q_5 = \frac{0,05 L}{0,0934 h}$$

$$Q_5 = 0,5353 \frac{L}{h}$$

3.7.3.2.3 Pruebas a 5000 RPM

Tabla 14-3: Pruebas de consumo a 5000 RPM con pistón modificado.

PRUEBAS A 5000 RPM		
PRUEBAS	TIEMPO (min)	COMBUSTIBLE (MI)
Nº1	06:16:28	50
Nº2	06:45:07	50
Nº3	06:43:49	50

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

Volumen=0,05L

Tiempo= 0,0713h

$$Q_6 = \frac{0,05 L}{0,0713 h}$$

$$Q_6 = 0,7010 \frac{L}{h}$$

3.8 Pruebas de gases de escape

Para las pruebas se utiliza un analizador de gases, de la marca Maha, modelo MET 6.3, estudiando dos condiciones diferentes del motor: frío y caliente, para verificar el comportamiento de gases como; monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos (HC), oxígeno (O₂), entre otros. El procedimiento se detalla a continuación:

Paso N°1

Se enciende el analizador, luego se abre la aplicación MAHA en el ordenador para conectar el cable LAN al puerto de red de área local PC, como se observa en la figura 131-3.



Figura 131-3: Analizador de gases MAHA.

Fuente: Autores, 2020

Paso N°2

Se conecta un extremo de las pinzas trigger a la entrada RPM del analizador y el otro extremo al cable de la entrada a la bujía del motor, véase la figura 132-3.



Figura 132-3: Colocación de pinzas trigger

Fuente: Autores, 2020

Paso N°3

Se conecta un extremo de la sonda de medición al puerto de entrada del analizador y el otro extremo al tubo de escape del motor, como se observa en la figura 133-3.



Figura 133-3: Colocación de sonda

Fuente: Autores, 2020

Paso N°6

Finalmente se espera el tiempo necesario, hasta que el equipo esté listo, luego se sigue los pasos respectivos en el software para realizar el análisis de gases, como se observa en la figura 134-3.



Figura 134-3: Medición de gases

Fuente: Autores, 2020

3.8.1 Pruebas con pistón estándar



Gráfico 2-3: Medición de gases con pistón estándar, motor frío.

Realizado por: Autores, 2020



Gráfico 3-3: Medición de gases con pistón estándar, motor caliente.

Realizado por: Autores, 2020

3.8.2 Pruebas con pistón modificado



Gráfico 4-3: Medición de gases con pistón modificado, motor frío.

Realizado por: Autores, 2020



Gráfico 5-3: Medición de gases con pistón modificado, motor caliente.

Realizado por: Autores, 2020

3.9 Resultados con pistón estándar y modificado

Esta parte está constituida por tres partes: cálculo termodinámico, prueba de consumo de combustible y análisis de emisiones de gases, los cuales se detallan a continuación:

3.9.1 Cálculo termodinámico

Es importante mencionar que los resultados obtenidos en la tabla 15-3 son aproximados, se ha adjuntado como complemento de las demás pruebas prácticas realizadas, considerando parámetros iniciales iguales en ambos casos de estudio, cambiando únicamente las medidas del pistón y por ende en la cámara de combustión. Se observa un ligero aumento en todos los parámetros considerados del pistón modificado, como por ejemplo: una presión media efectiva (pme) de 1519,48 Kpa en el motor Qingqi con pistón estándar frente a una pme de 1534,09 Kpa con el pistón modificado; torque efectivo con el pistón estándar de 11,54 Nm y 11.65 Nm con el pistón modificado y una potencia efectiva a 7000 RPM de 11,34 y 11,45 Hp, con pistón estándar y modificado, respectivamente.

Tabla 15-3: Resultados con pistón estándar

RESULTADOS DE CÁLCULOS TERMODINÁMICO			
PARÁMETRO	PISTÓN ESTÁNDAR	PISTÓN MODIFICADO	UNIDADES
	VALOR		
Eficiencia termodinámica	0.5827	0.5927	N/A
Calor admitido	0,3887	0,3858	KJ
Calor rechazado	0,1622	0,1572	KJ
Trabajo neto	0,2265	0,2287	KJ
Presión media efectiva	1519,4806	1534,0991	Kpa
Potencia	0,09290	0,0922	Kcal
Potencia teórica	17,97	18,14	CV
	17,73	17,89	HP
Potencia indicada	14,18	14,31	HP
Potencia efectiva	11,34	11,45	HP
Torque teórico	18,04	18,20	Nm
Torque indicado	14,43	14,56	Nm
Torque efectivo	11,54	11,65	Nm
Flujo de combustible	0,5310	0,5271	g/s
Consumo específico	168,5759	165,7337	g/HP.h

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

3.9.2 Simulaciones

3.9.2.1 Simulación estática estructural entre pistón estándar y modificado

Después de realizar las modificaciones correspondientes al pistón original, se simuló ambos modelos para comprobar que el diseño establecido soporte las cargas, esfuerzos y temperaturas en condiciones normales de trabajo del motor. Como se disminuyó 3g en relación al modelo original, era de esperarse que todos los parámetros analizados tengan un ligero aumento en su valor, en el caso de la deformación del modelo estándar, se tiene 0,008795 mm frente al valor de 0,009508 mm del modelo modificado, es decir aumentó 0,000713 mm; de igual forma ocurre con el estrés elástico equivalente, se tiene un aumento de 0,00093 mm/mm entre el pistón estándar y modificado; en el estrés equivalente es donde se observa el mayor aumento, se tiene un valor de 49,467 y 112,08 correspondiente al pistón estándar y modificado respectivamente, como se observa en la tabla 16-3; el factor de seguridad del pistón modificado sigue siendo aceptable, con un valor de 2,6232, cumpliendo con los parámetros mínimos y la fatiga se mantiene en ambos casos, con un valor de 1×10^8 , es decir, van a tener el mismo número de ciclos hasta culminar su vida útil.

Tabla 16-3: Resultados de simulación estática estructural con pistón estándar y modificado

RESULTADOS SIMULACIÓN ESTÁTICA ESTRUCTURAL				
PARÁMETRO		PISTÓN ESTÁNDAR	PISTÓN MODIFICADO	UNIDADES
		VALOR		
Deformación total		0,008795	0,009508	mm
Deformación elástica equivalente		0,00070	0,00163	mm
Estrés equivalente (Von-Mises)		49,467	112,08	Mpa
Factor de seguridad		5,9433	2,6232	
Fatiga	Vida	1×10^8	1×10^8	

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

3.9.2.2 Simulación térmica entre pistón estándar y modificado

La temperatura que se aplicó en la cabeza del pistón, como ya se explicó anteriormente fue de 650°C, en ambos casos de estudio se tiene el mismo comportamiento refiriéndose a los valores máximos y mínimos de temperatura a lo largo del pistón, el flujo total de calor en el pistón modificado tiene a ser menor, como se observa en la tabla 17-3.

Tabla 17-3: Resultados de simulación térmica con pistón estándar y modificado

RESULTADOS SIMULACIÓN TÉRMICA				
PARÁMETRO		PISTÓN ESTÁNDAR	PISTÓN MODIFICADO	UNIDADES
		VALOR		
Temperatura	Max	650	650	°C
	Min	250,82	250,3	
Flujo total de calor	Max	6,1985	6,0113	W/mm ²
	Min	1,5943x10 ⁻⁴	1,1397x10 ⁻¹⁴	

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

3.9.2.3 Simulación dinámica entre pistón estándar y modificado

El desplazamiento total o carrera del pistón, tiende a ser igual en ambos casos de estudio, el estrés equivalente (Von Mises) tiene un aumento de 17,368 Mpa entre el pistón estándar y modificado y la velocidad lineal del pistón se mantiene en 22,426 m/s en ambos modelos, como se observa en la tabla 18-3, asegurando el buen funcionamiento del pistón modificado en condiciones normales de trabajo del motor Qingqi 150cc.

Tabla 18-3: Resultados de simulación dinámica con pistón estándar y modificado

RESULTADOS SIMULACIÓN DINÁMICA ESTRUCTURAL			
PARÁMETRO	PISTÓN ESTÁNDAR	PISTÓN MODIFICADO	UNIDADES
	VALOR		
Desplazamiento total del pistón	57,931	57,936	mm

Estrés equivalente (Von Mises)	64,027	17,403	Mpa
Deformación elástica equivalente	9,052E-4	3,638E-3	mm
Velocidad lineal	22,426	25,387	m/s
Factor de seguridad de estrés	4,5918	1,195	
Vida útil	1,0E8	1,0E8	Ciclos

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

3.9.3 Pruebas de consumo

Como se observa en la tabla 19-3 y en el gráfico 6-3, el consumo de combustible a 3000 RPM se mantiene igual tanto en el motor Qingqi con el pistón estándar como con el modificado, a 4000 RPM se tiene un ligero cambio de 0,5343 l/h frente a 0,4792 l/h con el pistón estándar, es decir un pequeño aumento de 0,0561 l/h. A 5000 RPM es donde, se puede notar la mayor diferencia de consumo, pues se tiene un aumento de 0,1 l/h entre el motor con pistón estándar y modificado.

Tabla 19-3: Pruebas de consumo con pistón estándar y modificado.

PRUEBAS DE CONSUMO CON PISTÓN ESTÁNDAR Y MODIFICADO		
RPM	CONSUMO (lt/h)	
	PISTÓN ESTÁNDAR	PISTÓN MODIFICADO
3000	0,36	0,3679
4000	0,4792	0,5353
5000	0,6081	0,7010

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

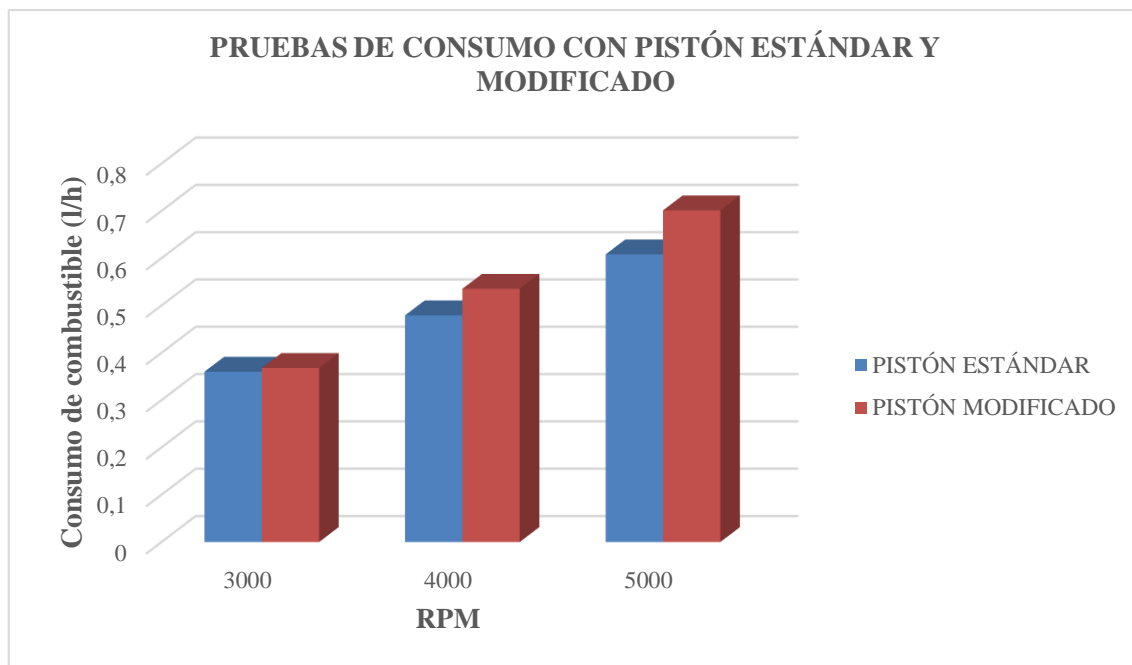


Gráfico 6-3: Pruebas de consumo con pistón estándar y modificado.

Realizado por: Autores, 2020

3.9.4 Emisión de gases

Los valores que se observan en la tabla 20-3 y que sirven para el análisis en este tema de titulación, son únicamente con el motor caliente, los valores con el motor frío se adjuntan como referencia para futuras investigaciones, en el gráfico 7-3 se puede observar con mayor claridad los datos comparativos con el motor caliente. Los hidrocarburos (HC) se mantienen en ambos casos de estudio con un valor de 235 ppm, el monóxido de carbono (CO), tiene una disminución considerable en el motor Qingqi con pistón modificado de 2,48 % frente al 3,21% con el pistón estándar, es decir se ha reducido 0,73% de contaminación.

Tabla 20-3: Pruebas de emisiones con pistón estándar y modificado.

PRUEBAS DE EMISIONES CON PISTÓN ESTÁNDAR Y MODIFICADO					
VALORES MEDIDOS	UNIDADES	PISTÓN ESTÁNDAR		PISTÓN MODIFICADO	
		MOTOR FRÍO	MOTOR CALIENTE	MOTOR FRÍO	MOTOR CALIENTE
CO	%v	5,29	3,21	5,30	2,48
CO ₂	%v	11,2	12,6	11,11	11,3

HC	ppm	321	235	383	235
O₂	%v	1,03	0,39	0,54	2,52
λ		0,884	0,917	0,860	1,036

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

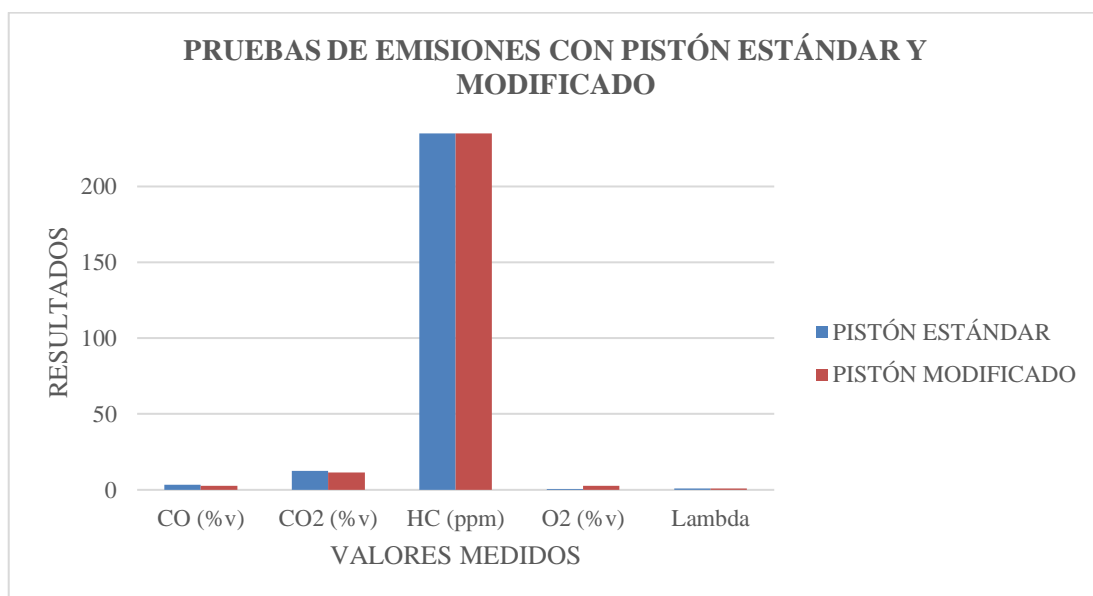


Gráfico 7-3: Prueba de emisiones con pistón estándar y modificado, motor caliente

Realizado por: Autores, 2020

3.9.4.1 Niveles de emisiones permitidos en Ecuador

3.9.4.1.1 Prueba estática en Ralentí

Todas las motocicletas y tricimotos que utilicen como combustible gasolina o mezcla gasolina-aceite, durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o ralentí, a temperatura normal de operación, no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las señaladas en la tabla 21-3. (INEN, 2018)

Tabla 21-3: Límites máximos de emisiones. Prueba estática en ralentí

TIPO DE MOTOR	CO (%V)	HC (ppm)
Todas	3,5	2000

Fuente: (INEN, 2018)

Realizado por: Autores, 2020

NOTA: Aplica a partir de los modelos 2014.

Observando la Tabla 21-3 y analizando los resultados de la tabla 20-3., en ambos casos, motor Qingqi con pistón estándar y modificado, cumplen con los reglamentos mínimos establecidos por el INEM (Instituto Ecuatoriano de Normalización).

4. GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1 Planificación

Las actividades necesarias para llevar a cabo los objetivos planteados de este trabajo de titulación se muestran en la tabla 1-4.

Tabla 1-4: Organización de actividades

N°	ACTIVIDAD	CÓDIGO	RESP.
1	Inicio	A	Fabián J
2	Investigación bibliográfica	B	Fabián J
3	Adquisición de motor Qingqi 150cc	C	Edy U
4	Obtención del CAD del pistón original con SolidWorks	D	Edy U
5	Elaboración de modificaciones del pistón original mediante SolidWorks	E	Fabián J
6	Simulación estática, dinámica y térmica con pistón estándar y modificado con Ansys	F	Edy U
7	Redacción de introducción y capítulo 1 del trabajo de titulación	G	Fabián J
8	Elaboración de machos y matriz permanente en SolidWorks	H	Fabián J
9	Impresión en 3D de machos y matriz permanente	I	Edy U
10	Preparación de moldes de arena para matriz permanente	J	Edy U
11	Fundición de matriz permanente en bronce	K	Edy U
12	Preparación de machos con arena de sílice y silicato de sodio	L	Fabián J
13	Fundición de pistón con aluminio 4032-T6	M	Fabián J
14	Redacción del capítulo 2 del trabajo de titulación	N	Edy U
15	Mecanización de pistón fundido mediante torno CNC con controlador Fanuc	O	Edy U
16	Elaboración de maqueta didáctica para motor Qingqi 150cc	P	Fabián J

17	Instalación de sistema eléctrico y montaje de motor Qingqi 150cc en maqueta	Q	Fabián J
18	Pruebas de consumo y emisiones de gases con pistón estándar	R	Edy U
19	Montaje de pistón modificado	S	Edy U
20	Pruebas de consumo y emisiones de gases con pistón modificado	T	Edy U
21	Redacción del capítulo 3 del trabajo de titulación	U	Fabián J
22	Redacción del capítulo 4 y 5 del trabajo de titulación	V	Fabián J
23	Revisión, corrección y aprobación del trabajo de titulación	W	Edy U
24	Impresión del trabajo de titulación	X	Edy U
25	Empastado	Y	Edy U
26	Fin	Z	Fabián J

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

4.2 Cronograma

El cronograma de actividades se muestra en los gráficos 1-4 y 2-4.

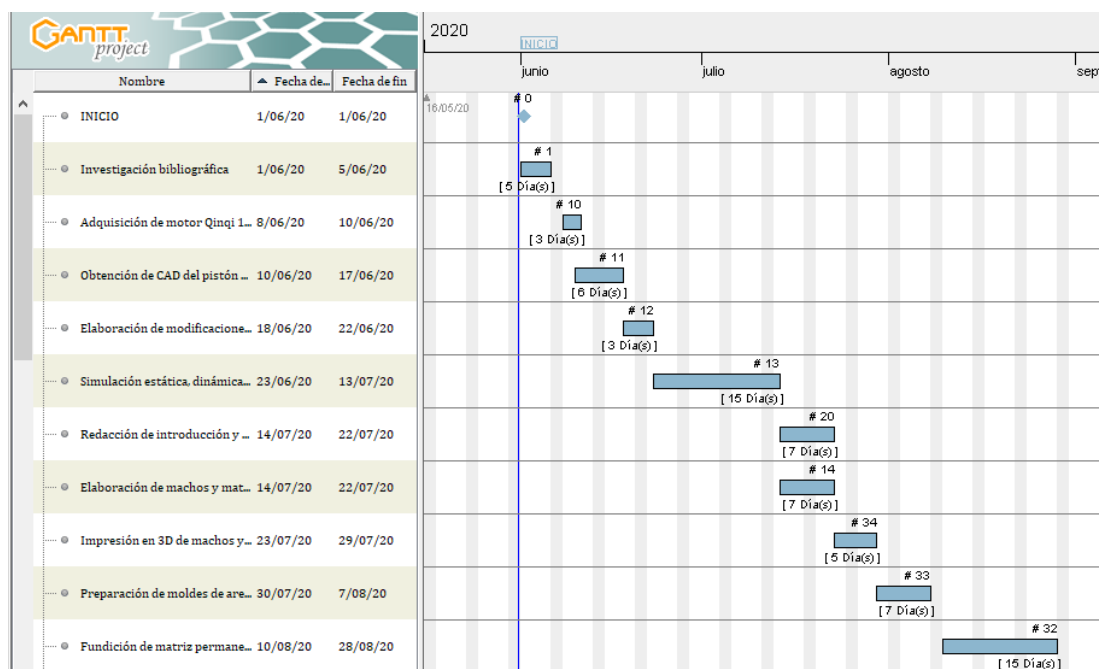


Gráfico 1-4: Cronograma 1 de actividades

Realizado por: Autores, 2020

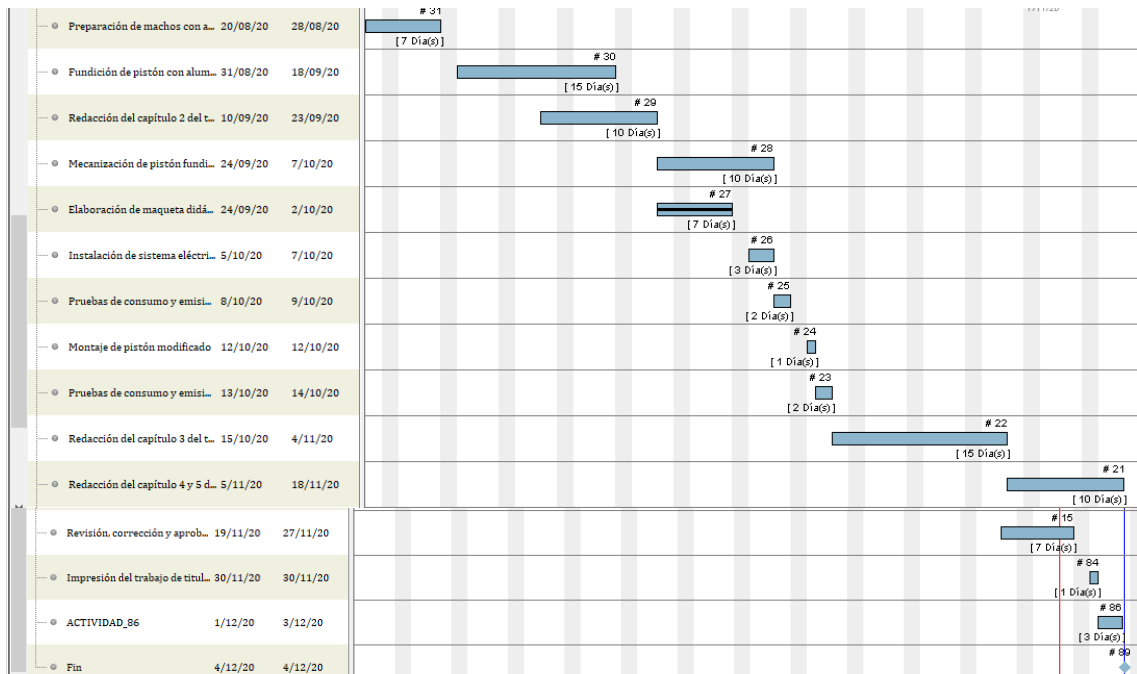


Gráfico 2-4: Cronograma 2 de actividades

Realizado por: Autores, 2020

Según los cronogramas de actividades, el tiempo estimado para la realización del trabajo de titulación fue de 187 días, equivalente a 6 meses.

4.3 Recursos y materiales

4.3.1 Recursos humanos

El trabajo de titulación fue desarrollado por un gran equipo, cada uno aportó con conocimientos y experiencias que sirvieron para validar el trabajo.

El equipo de trabajo estuvo conformado por:

- Director
- Asesor
- Miembros
- Asesor de metalurgia

4.3.2 Recursos materiales

Durante la elaboración del trabajo de titulación fue necesario adquirir ciertos recursos, los cuales se indican en la tabla 2-4.

Tabla 2-4: Recursos materiales.

HERRAMIENTAS		EQUIPOS	
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Vehículo	2	Laptops
1	Motor Qingqi 150cc	1	Impresora 3D creality Ender-3 Pro
1	Calibrador pie de rey	1	Balanza digital Montero
1	Vacuómetro		
1	Goniómetro		
1	Dremel Proskit modelo PT-5501A		
1	Taladro stanley		
1	Flexómetro		
1	Arco de sierra		
1	Arco de sierra		
MATERIALES		SOFTWARES	
1	Madera para moldes	1	SolidWorks 2020
1	Tanque de CO ₂	1	Ansys Workbench 2020
1	Arena de sílice	1	Cura
1	Silicato de Sodio (Resina para arena de sílice)	1	Gantt Project
3	G.L.P	1	Mastercam
1	Aerosol color gris		
1	Lija de agua N°150, 80, 400		
1	Jeringuilla de 60 Ml		
1	Jarra milimetrada		

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

4.3.3 Recursos económicos

Los gastos efectuados para elaborar el trabajo de titulación fueron solventados por medios propios.

4.3.4 Presupuesto

4.3.4.1 Costos Directos

Los costos directos, son aquellos que están relacionados directamente con la ejecución del diseño, fundición y mecanizado del pistón del motor Qingqi 150cc, los cuáles se detallan a continuación:

Tabla 3-4: Detalle de costos directos.

COSTOS DIRECTOS			
Cantidad	Descripción	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
1	Motor Qingqi 150cc	150	150
1	Mantenimiento correctivo de motor Qingqi 150cc	103,15	103,15
1	Fabricación de base para motor Qingqi 150cc	85,18	85,18
1	Sistema Eléctrico de Base de motor Qingqi 150cc.	72,24	72,24
7	Moldes en fibra de carbono impresos en 3D.	12	84
1	Madera para moldes	0,75	0,75
1	Tanque de CO ₂	32	32
1	Arena de sílice (1/4 qq)	50	50
1	Silicato de Sodio (Resina para arena de sílice)	50	50
3	G.L.P	2	6
1	Aerosol color gris	2,75	2,75
1	Fundición de aluminio	400	400
1	Calibrador pie de rey	21	21
1	Balanza digital Montero	20	20
1	Vacuómetro	25	25
1	Goniómetro	11	11
1	Bureta	30	30
1	Mecanizado de pistón	80	80
1	Dremel Proskit modelo PT-5501A	65	65
1	Lija de agua N°150	1,50	1,50

1	Gasolina Extra (Galón)	1,85	1,85
1	Jeringuilla de 60 Ml	0,60	0,60
1	Jarra milimétrica	0,85	0,85
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS			1292,87

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

4.3.4.2 Costos indirectos

Los costos indirectos, son aquellos que no están directamente relacionados con la ejecución del diseño, fundición y mecanizado del pistón del motor Qingqi 150cc, es decir no influyen con los resultados alcanzados, se detallan en la tabla 4-4.

Tabla 4-4: Detalle de costos indirectos.

COSTOS INDIRECTOS			
Cantidad	Descripción	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
1	Transporte	200	200
1	Impresiones y copias	100	100
1	Asesoría técnica	100	100
3	Empastado	15	45
1	Gastos varios	100	100
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS			545

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

4.3.4.3 Costos Totales

Está conformado por la suma de los costos directos e indirectos, se detalla en la tabla 5-4.

Tabla 5-4: Costo total.

COSTOS TOTALES	
Costos directos	\$1292,87
Costos indirectos	\$545
COSTO TOTAL	\$1837,87

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

CONCLUSIONES

Se ha establecido el mejor diseño del pistón modificado partiendo del pistón original por medio de ingeniería inversa, obteniendo una mejor lubricación, reducción en su peso de 3g y aumento de 0.5549 en la relación de compresión del motor.

Se ha realizado un estudio del comportamiento del pistón estándar y modificado, analizando esfuerzo, deformación, factor de seguridad, temperatura, flujo total de calor, fatiga y velocidad lineal.

Se ha comparado los resultados de las simulaciones entre el pistón estándar y modificado para validar el mejor modelo del pistón y proceder a la manufactura correspondiente.

Se han incrementado ligeramente los parámetros obtenidos en la simulación estática estructural, correspondientes al pistón modificado, como son: deformación total, deformación elástica equivalente, estrés equivalente, además disminuyó levemente el factor de seguridad, manteniéndose dentro del rango aceptable (2,6232), así como para los demás valores analizados. En lo que corresponde a la simulación térmica, disminuyó notablemente el flujo total de calor en el pistón modificado, debido a una mejor distribución del calor con la nueva geometría del pistón. Respecto a la simulación dinámica, la velocidad lineal del pistón original es de 22,426 m/s, mientras que el pistón modificado nos indica una velocidad de 25,387 m/s a 733,04 rad/s o 7000 RPM, como también la vida útil del pistón con un valor de 1×10^8 , hasta que culmine su ciclo de vida.

Se fabricó el pistón modificado con aluminio 4032-T6 por medio de fundición por gravedad en coquilla, utilizando arena de sílice y silicato de sodio para la preparación de los moldes y además se mecanizó el pistón fundido por medio de CNC con la utilización de fresadora y torno con controlador FANUC.

Se ha realizado pruebas de consumo de combustible a diferentes revoluciones y análisis de emisiones de gases, siendo más beneficioso el nuevo pistón en comparación al estándar en ciertos aspectos como: reducción de CO, conservando el valor de HC como también de consumo de combustible a 3000 y 4000 RPM y aumentando ligeramente 0,1 l/h a 5000 RPM.

RECOMENDACIONES

Al momento de realizar el CAD de los moldes, hembras y machos para fundición, se debe tener en cuenta el porcentaje de contracción de cada material, molde y resina utilizado, ya que al obtener la pieza final fundida, las medidas tendrán una variación significativa.

Para obtener una mejor calidad de fundición, se recomienda utilizar matrices permanentes en todo el proceso, el costo de metalurgia se incrementaría pero los resultados serían superiores en comparación a los matrices hechas en arena.

Utilizar material resistente en la impresión 3D, como fibra de carbono, ABS o de características superiores y con una calidad de impresión de 0,1 o 0,2 mm con relleno de 50% entre cada capa de material para obtener mejores acabados con los detalles internos de las piezas a fundir.

Utilizar el equipo de protección personal, materiales y herramientas necesarios para la fundición ya que se trabaja con temperaturas extremadamente altas y el área de trabajo se torna muy peligrosa.

Estar siempre bajo la supervisión de una persona experimentada y con la capacitación necesaria en el área de fundición ya que son procedimientos de alto peligro y que conllevan mucha responsabilidad.

Realizar las pruebas de consumo de combustible y emisión de gases en condiciones similares de temperatura y humedad para tener más fiabilidad en la comparación de los datos.

Se recomienda de manera muy especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, adquirir materiales, herramientas y todo lo necesario para realizar procedimientos de metalurgia.

GLOSARIO

Deflagración: Combustión que se produce con gran rapidez, acompañada de llama y sin explosión. (Fundéu, 2021)

Lumbrera: Se denominan lumbreras a las aberturas que tienen la finalidad de permitir la admisión del aire fresco o mezcla aire-combustible y la expulsión de los gases quemados. El pistón, establece las fases, es decir el instante y la duración de la apertura y del cierre de ambas lumbreras. (El maquinante, 2019)

Crisol: Un crisol es un recipiente que se fabrica con materiales refractarios, utilizado para la fundición de ciertas sustancias a alta temperatura. Por lo general se producen con grafito y arcilla. (Pérez y Merino, 2019)

Reactante: Los reactivos, en definitiva, son elementos químicos que establecen una interacción con otras sustancias en el marco de una reacción química, generando una sustancia con propiedades diferentes que recibe el nombre de producto. (Pérez y Merino, 2013)

Acrílico: En el terreno de la química, se emplea como adjetivo para calificar a aquel material obtenido a través de la polimerización de un compuesto químico llamado ácido acrílico. (Pérez y Merino, 2015)

BIBLIOGRAFIA

MUÑOZ M. & ROVIRA DE ANTONIO, A. *Motores de combustión interna*. [en línea]. Madrid -España: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2016. [Consulta: 15 julio 2020]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/48846>

TECSUP. *Ciclo de motores 2 y 4 Tiempos*. [En línea], 15 de junio 2017. [Citado el: 15 julio 2020]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/351380390/Ciclo-de-Motores-2-y-4-Tiempos>.

GAVILANES Jéssica, CHÁVEZ Héctor. Análisis microestructural, diseño del cigüeñal y la biela de una motocicleta de 4 tiempos - desagregación tecnológica [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de mecánica, Escuela de ingeniería Automotriz. Riobamba, Ecuador. 2016. p.4 [Consulta: 15 de julio 2020.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5830>.

CANALMOTOR. *MAPFRE*. [En línea], 20 de noviembre de 2019. [Citado el: 15 de julio de 2020.] <https://www.motor.mapfre.es/motos/noticias-motos/refrigeracion-por-aire-por-o-agua/>

CHACHAPOYA, John & GARCÍA, Marlon. Diseño y manufactura de un bloque motor mono cilíndrico para una motocicleta de 150C.C. con una aleación de aluminio 7075. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz, Riobamba, Ecuador. 2019. [Citado el: 15 de julio de 2020.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13559>

CABEZAS, Willian & MOYANO, Marco. Análisis de torque, potencias consumo de combustible y emisiones contaminantes a diferentes concentraciones de gasolina/etanol en un banco de pruebas motor corsa 1.6 LT. de la C.I.A. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz, Riobamba, Ecuador. 2016. [Citado el: 05 de Agosto de 2020.]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5637>

PAYRI, P & DESANTES, J. *Motores de combustión interna alternativos*. [en línea]. Barcelona-España: Reverté, 2011. [Consulta: 05 agosto 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/38247431/Motores_de_Combustion_Interna_Alternativos_Payri

PERALES, Raquel. *Sistemas CAD, CAM, CAE Y CNC.* [En línea], 19 de febrero de 2015. [Citado el: 06 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/alexiaperez7374/sistemas-cad-cam-cae-y-cnc>.

SACOTO, Roberto & LÓPEZ, David. Diseño y construcción de piezas automotrices en aleaciones de aluminio tratado térmicamente. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz, Cuenca, Ecuador. 2012. [Citado el: 18 de agosto de 2020.]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/1442>.

SALAZAR, César. Estudio para la implementación de un dinamómetro de chasis modelo x tracción dos ruedas del fabricante DYNOCOM en un Taller Automotriz. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz, Guayaquil, Ecuador. 2016. [Citado el: 19 de agosto de 2020.]. Disponible en <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1050>.

ÁVILA, Alfredo. Estudio e implementación del dinamómetro de chasis modelo x tracción 2 ruedas del fabricante dynocom. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz, Guayaquil, Ecuador. 2016. [Citado el: 19 de agosto de 2020.]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1023>.

MAFLA, Carlos. Evaluar el funcionamiento de un motor con sistema de inyección electrónica CRDI con y sin recirculación de gases de escape. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Escuela de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, Ibarra, Ecuador. 2019. [Citado el: 19 de agosto de 2020.]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9241>.

CASTRO, Guillermo. *Fundiciones.* [En línea], 15 de febrero de 2009. [Citado el: 07 de julio de 2020]. Disponible en: https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Fundiciones.pdf.

ORTIZ, Armando; et al. “*Modelado de procesos de manufactura*”. [En línea], 29 de octubre de 2013. [Citado el: 23 de noviembre de 2020.] Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2548/05-MPM-Cap2-Final.pdf?sequence=5>

OROZCO, Erick & CERVERA, Jorge. “*Diseño y Distribución de Instalaciones Industriales Apoyado en el Uso de la Simulación de Procesos*”. *Investigación en innovación en Ingenierías*. [En línea], 2013, (Colombia) 1(1), pp. 6-12. [Consulta: 19 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1050>

FERNÁNDEZ, Javier. *Fundición protocolo curso de procesos de manufactura Edición 2008-2 facultad Ingeniería industrial laboratorio de Producción*. 2008. [En línea], 20 de febrero de 2008. [Citado el: 08 de julio de 2020.]. Disponible en: https://www.academia.edu/21596885/FUNDICI%C3%93_N_PROTOCOLO_CURSO_DE_PROCESOS_DE_MANUFACTURA_EDICION_2008-2_FACULTAD_INGENIERIA_INDUSTRIAL_LABORATORIO_DE_PRODUCCION.

FERRÉ, Rafael. *Fabricación asistida por computador-CAM*. [En Línea]. Barcelona-España: Marcombo, 2009 [Consulta: 08 de julio de 2020]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/45840>

NABORI, Andrade. 2016. El uso e influencia de la tecnología CNC en la producción artística contemporánea del Ecuador. (Trabajo de titulación) (Maestría). [En línea] Universidad Central del Ecuador, Instituto de Investigación y Posgrado, Facultad de Artes, Quito, Ecuador. 2016. [Citado el: 09 de agosto de 2020]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7845/1/T-UCE-0002-36.pdf>

PALLO, Estefania & VALDIVIEZO, Adriana. Estudio de las propiedades de las arenas y su influencia en las piezas fundidas en ciertos talleres de fundición de la ciudad de Quito. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [En línea] Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador. 2018. [Citado el: 10 de agosto de 2020.]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19942/1/CD-9393.pdf>

RAFFINO, María. *Lenguaje de programación*. [En línea], 11 de julio de 2020. [Citado el: 27 de julio de 2020]. Disponible en: <https://concepto.de/lenguaje-de-programacion/>.

LINCANGO, Diego & VEGA, Klever. Evaluación de los factores de emisiones durante el ciclo europeo NEDC en un MCIA de encendido por compresión utilizando mezclas de combustibles diésel premium y biodiesel, producido por transesterificación básica y en condiciones supercríticas. (Trabajo de titulación) (Maestría). [En línea] Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador. 2019 [Citado el: 23 de noviembre de 2020.]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20389/1/CD%209861.pdf>.

RÍOS, R & VARGAS, L. *Procesos de fabricación en metales*. [en línea]. Bogotá-Colombia: Ediciones de la U. 2018. [Consulta: 24 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/70323>.

ORLANDO, Kevin. *¿Qué combustible es el mejor?*. [En línea], 02 de marzo de 2019. [Citado el: 11 de octubre de 2020.] Disponible en: <https://elblogdebajaj.blogspot.com/2019/>

Sánchez, M. *Elaboración de programas de CNC para la fabricación de piezas por arranque de viruta (UF0879)*. [En Línea]. Málaga-España: IC Editorial, 2012. [Consulta: 12 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/42596>.

SWITEK, W; et al. *Simulación y Modelado en el Diseño Mecánico de un Reductor de Velocidad*. [En Línea], 2004, (Chile) 15(2), pp. 15-21. [Consulta: 12 de octubre de 2020]. ISSN 0718-0764. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642004000400003&lng=es&nrm=iso. ISSN 0718-0764. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642004000400003>.

MARÍN, Rafael. *Recomendaciones para realizar el proceso de Ingeniería Inversa*. [En línea], 28 de enero de 2019. [Citado el: 16 de noviembre de 2020.] Disponible en: <https://revistadigital.inesem.es/informatica-y-tics/ingenieria-inversa/>

INEN. *RTE INEN 136 (1R) “Motocicletas”* [blog]. [Consulta: 25 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://inenreglamentacion.blogspot.com/2018/09/rte-inen-136-1r-motocicletas.html>

PULKRABEK, Willard. *Engineering Fundamentals of the internal combustion engine*. [en línea]. Wisconsin-Estados Unidos: Pretice hall, 1997. [Consulta: 20 de noviembre de 2020]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/Engineering_Fundamentals_of_the_Internal.html?id=LSVuQgAACAAJ&redir_esc=y

ANSYS. *Herramienta de estrés (grupo)*. [En línea], 28 de marzo de 2020. [Citado el: 17 de noviembre de 2020.] Disponible en: https://ansyshelp.ansys.com/?ReturnUrl=%2FViews%2FSecured%2Fcorp%2Fv202%2Fen%2Fwb_sim%2Fds_Stress_Tool_o_r.html%23ds_Stress_Tool_o_r

VEGA, Victor. *Introducción a Ansys.* [En línea], 18 de febrero de 2019. [Citado el: 18 de noviembre de 2020.] Disponible en: <https://ditlag.wordpress.com/2019/02/18/introduccion-a-ansys/#:~:text=Ansys%20es%20un%20software%20especializado,y%20vol%C3%BAmenes%20finitos%20para%20fluidos>

PÉREZ, Julián & MERINO, María. *Crisol.* [En línea], 01 de marzo de 2015. [Citado el: 11 de septiembre de 2020.] Disponible en: <https://definicion.de/crisol/>

EL MAQUINANTE. *Lumbreras del cilindro.* [En línea], 22 de mayo de 2019. [Citado el: 16 de septiembre de 2020.] Disponible en: <https://elmaquinante.blogspot.com/2019/05/lumbreras-del-cilindro-definicion.html>

FUNDEÚ, B. *Una deflagración no es una explosión.* [En línea], 03 de enero de 2021. [Citado el: 20 de septiembre de 2020.] Disponible en: https://www.estandarte.com/noticias/idioma-espanol/deflagracin-ngo-es-sinnimo-de-explosin-_793