

**Universidad Internacional del Ecuador**  
**Facultad de Ingeniería Automotriz**

**Diseño y fabricación de pistones a sobre medida (+0.010 y +0.020) para  
motores honda GX120 y GX160 en torno CNC y centro de mecanizado CNC**

Tesis de grado para la obtención del título de  
Ingeniero en mecánica automotriz

Xavier Antonio Guarderas Saldaña

Director: Ing. Juan Carlos Rubio.

Quito, Noviembre de 2013

## CERTIFICACIÓN

Yo, Xavier Guarderas Saldaña, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

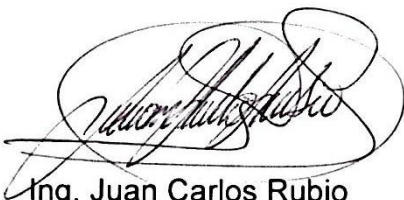
Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Xavier Guarderas S.

C.I. 1719086314

Yo, Ing. Juan Carlos Rubio, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo él responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Ing. Juan Carlos Rubio

Director de tesis

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de gran esfuerzo en especial a mis padres y abuelito, los cuales me han apoyado siempre en todo momento de mi vida, les agradezco de todo corazón por el gran soporte que me brindan a cada momento, por sus preocupaciones, angustias y consejos, los cuales me han guiado y me seguirán guiando a lo largo de la vida. Les agradezco por todo el conocimiento que se me ha permitido tener y por todo el amor que me brindan.

Les agradezco de igual manera a todos mis queridos profesores, los cuales me han brindado esa ayuda no solamente académica, sino también una amistad sincera, así mismo sus consejos y anécdotas que nos han compartido.

Con mucho cariño,

Xavier Antonio Guarderas Saldaña

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios, por haberme brindado toda la ayuda necesaria para poder realizar este trabajo, el cual ha sido de gran esfuerzo. A mi familia, por apoyarme siempre en este trabajo tan importante, y en toda la capacitación que se me ha permitido seguir a lo largo de la vida; así mismo a todas las personas que hicieron que todo esto sea posible, al Ing. Juan Carlos Rubio, por su paciencia y colaboración en el desarrollo de la misma, al Ing. Juan Pablo Vilañez, por su ayuda brindada, a las empresas como La Llave, Indumot Honda, Iván Bohman, Versatmetals, Springer y a la Escuela Politécnica Nacional, las cuales me han brindado información y soporte técnico en distintas áreas dentro del proceso de la tesis.

Muchas gracias,

Xavier Antonio Guarderas Saldaña



## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	<b>1</b>
1.1.1 Objetivo general. ....	1
1.1.2 Objetivos específicos.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	1
1.3 INTRODUCCIÓN .....	<b>3</b>
1.4. MARCO TEÓRICO .....	4
<b>MÁQUINAS CNC</b> .....	<b>4</b>
1.4.1 Tipos de máquinas CNC .....	4
1.4.1.1 Utilización de máquinas CNC.....	5
1.4.1.2 Ventajas. ....	5
1.4.1.3 Desventajas.....	5
1.4.2 Programación del torno CNC .....	5
1.4.2.1 Introducción a la programación. ....	5
1.4.2.1.1. Funciones geométricas. ....	6
1.4.2.1.2. Funciones preparatorias.....	7
1.4.2.1.3. Funciones misceláneas o auxiliares.....	8
1.4.2.1.4. Funciones tecnológicas.....	9
1.4.2.1.5. Método práctico para el cálculo del avance del torno.....	9
1.4.2.1.6. Función "T".....	11
1.4.2.1.7. Función "N".....	11
1.4.2.1.8. Sistema de coordenadas.....	12
1.4.2.2. Estructura de un programa para torno y centro de mecanizado.....	13
1.4.2.3. Programación de los desplazamientos en torno CNC.....	13
1.4.2.3.1. Función G00.....	13
1.4.2.3.2. Función G01.....	13
1.4.2.3.3. Interpolación circular con indicación del radio.....	14
1.4.2.4. Coordenadas cartesianas absolutas e incrementales.....	15
1.4.2.4.1. Coordenadas cartesianas absolutas.....	15
1.4.2.4.2. Coordenadas cartesianas incrementales.....	15
1.4.2.5. Compensación del radio de la herramienta.....	16
1.4.2.6. Tipos de herramientas.....	18
1.4.2.6.1. Herramientas externas.....	20
1.4.2.6.2. Herramientas internas.....	24
1.4.3. Programación del centro de mecanizado CNC .....	25
1.4.3.1. Funcionamiento de un centro de mecanizado CNC.....	25
1.4.3.2. Funciones.....	26
1.4.3.2.1. Funciones geométricas.....	26
1.4.3.2.2. Funciones preparatorias.....	27
1.4.3.2.3. Funciones misceláneas.....	28

1.4.3.2.4. Funciones tecnológicas.....	29
1.4.3.2.5. Función “T”.....	29
1.4.3.2.6. Función “N”.....	29
1.4.3.3. Sistema de coordenadas.....	29
1.4.3.4. Programación de los desplazamientos en centro de mecanizado CNC..	30
1.4.3.4.1. Función G00.....	31
1.4.3.4.2. Función G01.....	31
1.4.3.4.3. Movimiento circular.....	32
1.4.3.5. Compensación del radio de la herramienta.....	33
1.4.3.6. Ciclos fijos de mecanizado.....	34
1.4.3.6.1. Ciclo de Taladrado en un punto - G81.....	34
1.4.3.6.2. Ciclo de Contra mandrinado - G82.....	35
1.4.3.6.3. Ciclo de taladrado profundo – G83.....	37
1.4.3.6.4. Roscado sincrónico (rosca derecha) – G84.....	37
1.4.3.7. Tipos de herramientas.....	39
1.4.3.7.1. Herramientas externas.....	39
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>46</b>
<b>DISEÑO DE PISTONES.....</b>	<b>46</b>
2.1 PISTONES.....	46
2.1.1 Tipos de pistones.....	50
2.1.2 Tipos de fabricación de pistones.....	55
2.1.3 Materiales.....	56
2.1.3.1 Tipos de materiales de los pistones.....	58
2.1.3.2 Propiedades de los materiales.....	61
2.1.4 Diseño del pistón con sobre medida para los motores Honda GX120 y GX160.....	66
2.1.4.1 Formas de pistones de los motores Honda GX120 STD y GX160 STD...	69
2.1.4.2 Cálculos de pistones de los motores Honda GX120 y GX160.....	73
2.1.4.3 Resultados y elección de material.....	87
2.1.4.4 Elaboración de diseño en SolidWorks.....	89
2.1.4.5 Resultados de pruebas del diseño en SolidWorks.....	92
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>97</b>
<b>FABRICACIÓN DE PISTONES PARA LOS MOTORES HONDA GX120 Y GX160.....</b>	<b>97</b>
3.1. PROGRAMACIÓN PARA LAS MÁQUINAS CNC.....	97
3.1.1. Programación de torno CNC.....	97
3.1.2. Programación de centro de mecanizado CNC.....	100
3.1.3. Programación del centro de mecanizado CNC (bulón).....	107
3.2. FABRICACIÓN.....	108
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>115</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>115</b>

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	115
4.1.1. Fabricación.....	115
4.1.2. Pruebas destructivas.....	116
4.1.2.1. Ensayo de dureza Brinell.....	116
4.1.2.2. Ensayo de compresión a los pistones.....	118
4.1.2.3. Ensayo de compresión.....	125
4.1.2.4. Ensayo de tracción.....	127
4.1.3. Ventajas y desventajas de los pistones fabricados Vs. pistones STD.....	129
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>130</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>131</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>132</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>133</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

### Capítulo I

<b>Tabla 1.1:</b> Funciones preparatorias para torno CNC. ....	8
<b>Tabla 1.2:</b> Funciones Misceláneas o auxiliares. ....	9
<b>Tabla 1.3:</b> Funciones preparatorias para centro de mecanizado CNC. ....	28

### Capítulo II

<b>Tabla 2.1:</b> Aleaciones del aluminio. ....	57
<b>Tabla 2.2:</b> Propiedades típicas de aleaciones de aluminio. ....	59
<b>Tabla 2.3:</b> Aleaciones para pistones. ....	59
<b>Tabla 2.4:</b> Composición química de aleaciones de aluminio para pistones MAHLE (porcentaje por peso). ....	60
<b>Tabla 2.5:</b> Propiedades físicas de aleación 4032-T6. ....	62
<b>Tabla 2.6:</b> Propiedades físicas y mecánicas de pistones MAHLE para fundición de aluminio. ....	63
<b>Tabla 2.7:</b> Efectos de los metales en aleaciones. ....	64
<b>Tabla 2.8:</b> Dimensiones permisibles para pistones de motores a gasolina y diésel. .....	67
<b>Tabla 2.9:</b> Máximas temperaturas medidas en el pistón para diferente aplicaciones. ....	68
<b>Tabla 2.10:</b> Distribución de flujo de calor de varios tipos de pistones. ....	68
<b>Tabla 2.11:</b> Cálculo a 2000rpm del pistón STD del motor GX120. ....	76
<b>Tabla 2.12:</b> Cálculo a 3600rpm del pistón STD del motor GX120. ....	76
<b>Tabla 2.13:</b> Cálculo de HP y Torque con el pistón +0,010 del motor GX120. ....	77
<b>Tabla 2.14:</b> Cálculo a 1000rpm del pistón +0,010 del motor GX120. ....	77
<b>Tabla 2.15:</b> Cálculo a 2000rpm del pistón +0,010 del motor GX120. ....	77
<b>Tabla 2.16:</b> Cálculo a 3600rpm del pistón +0,010 del motor GX120. ....	78
<b>Tabla 2.17:</b> Cálculo de HP y Torque con el pistón +0,020 del motor GX120. ....	78
<b>Tabla 2.18:</b> Cálculo a 1000rpm del pistón +0,020 del motor GX120. ....	79
<b>Tabla 2.19:</b> Cálculo a 2000rpm del pistón +0,020 del motor GX120. ....	79
<b>Tabla 2.20:</b> Cálculo a 3600rpm del pistón +0,020 del motor GX120. ....	80
<b>Tabla 2.21:</b> Cálculo a 2000rpm del pistón STD del motor GX160. ....	83
<b>Tabla 2.22:</b> Cálculo a 3600rpm del pistón STD del motor GX160. ....	83
<b>Tabla 2.23:</b> Cálculo de HP y Torque con el pistón +0,010 del motor GX160. ....	84
<b>Tabla 2.24:</b> Cálculo a 1000rpm del pistón +0,010 del motor GX160. ....	84
<b>Tabla 2.25:</b> Cálculo a 2000rpm del pistón +0,010 del motor GX160. ....	84
<b>Tabla 2.26:</b> Cálculo a 3600rpm del pistón +0,010 del motor GX160. ....	85
<b>Tabla 2.27:</b> Cálculo de HP y Torque con el pistón +0,020 del motor GX160. ....	86
<b>Tabla 2.28:</b> Cálculo a 1000rpm del pistón +0,020 del motor GX160. ....	86
<b>Tabla 2.29:</b> Cálculo a 2000rpm del pistón +0,020 del motor GX160. ....	86
<b>Tabla 2.30:</b> Cálculo a 3600rpm del pistón +0,020 del motor GX160. ....	87
<b>Tabla 2.31:</b> Comparación de las aleaciones de aluminio para la fabricación de pistones. ....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo I

<b>Figura 1.1.</b> Orientación de los ejes en el torno CNC .....	6
<b>Figura 1.2.</b> Radio de la punta del inserto.....	10
<b>Figura 1.3.</b> Inserto de desbaste externo.....	10
<b>Figura 1.4</b> Origen máquina y origen pieza.....	12
<b>Figura 1.5</b> Forma de trabajo de las Funciones G00 y G01 .....	14
<b>Figura 1.6</b> Interpolación circular con indicación de radio.....	14
<b>Figura 1.7</b> Inserto de torno CNC.....	16
<b>Figura 1.8</b> Compensación a izquierdas G41 y compensación a derechas G42 ..	16
<b>Figura 1.9</b> Compensación del radio de la herramienta .....	17
<b>Figura 1.10</b> Códigos de orientación de las herramientas .....	18
<b>Figura 1.11</b> Torneado exterior .....	19
<b>Figura 1.12</b> Profundidad de desbaste vs. Avance de corte .....	19
<b>Figura 1.13</b> Torneado exterior .....	20
<b>Figura 1.14</b> Vista lateral de torneado exterior.....	20
<b>Figura 1.15</b> Otras aplicaciones de torneado exterior .....	21
<b>Figura 1.16</b> Insertos usados para torneado exterior .....	21
<b>Figura 1.17</b> Ranurado y tronzado exterior .....	22
<b>Figura 1.18</b> Roscado exterior .....	22
<b>Figura 1.19</b> Brocas para taladrado .....	23
<b>Figura 1.20</b> Porta herramientas para insertos CoroTurn® 107 sujeción por tornillo .....	23
<b>Figura 1.21</b> Torneado interior .....	24
<b>Figura 1.22</b> Ranurado interior.....	24
<b>Figura 1.23</b> Roscado interior .....	25
<b>Figura 1.24</b> Ejes de movimiento del centro de mecanizado de 3 ejes.....	26
<b>Figura 1.25</b> Cero máquina y el cero pieza del centro de mecanizado CNC .....	30
<b>Figura 1.26</b> Función G00 y Función G01 .....	31
<b>Figura 1.27</b> Interpolación circular G02-G03.....	32
<b>Figura 1.28</b> Compensación del radio de la herramienta .....	34
<b>Figura 1.29</b> Taladrado en un punto-G81 .....	35
<b>Figura 1.30</b> Contra mandrinado – G82.....	36
<b>Figura 1.31</b> Ciclo de taladrado profundo – G83.....	37
<b>Figura 1.32</b> Roscado sincrónico (rosca derecha) – G84 .....	38
<b>Figura 1.33</b> Tipos de fresado en escuadra .....	39
<b>Figura 1.34</b> Fresado de escuadras más profundas .....	40
<b>Figura 1.35</b> Tipos de fresado planeado .....	40
<b>Figura 1.36</b> Fresa de planear para metales no férreos.....	41
<b>Figura 1.37</b> Fresado de perfiles.....	41
<b>Figura 1.38</b> Fresado de ranuras .....	42
<b>Figura 1.39</b> Mecanizado de agujeros y cavidades.....	42
<b>Figura 1.40</b> Fresado/mecanizado en rampa circular exterior.....	43

<b>Figura 1.41</b>	Tallado de engranajes .....	43
<b>Figura 1.42</b>	Achaflanado .....	44
<b>Figura 1.43</b>	Fresas intercambiables de redondeo y chaflán .....	44
<b>Figura 1.44</b>	Brocas integrales de metal duro .....	45
<b>Figura 1.45</b>	Machos de roscado .....	45
<b>Capítulo II</b>		
<b>Figura 2.1</b>	Fuerzas del pistón .....	46
<b>Figura 2.2</b>	Curvas de fuerza .....	47
<b>Figura 2.3</b>	Distribución de la temperatura en pistones de gasolina .....	48
<b>Figura 2.4</b>	Terminología importante del pistón .....	49
<b>Figura 2.5</b>	Partes del pistón.....	49
<b>Figura 2.6.</b>	Efecto bimetálico en un pistón auto térmico .....	51
<b>Figura 2.7.</b>	Pistón auto térmico.....	51
<b>Figura 2.8.</b>	Pistón auto termático.....	52
<b>Figura 2.9.</b>	Pistones asimétricos tipo caja .....	53
<b>Figura 2.10.</b>	Pistón con canal de enfriamiento para motores a gasolina .....	53
<b>Figura 2.11.</b>	Pistón EVOTEC® .....	54
<b>Figura 2.12.</b>	Pistón forjado de aluminio .....	54
<b>Figura 2.13</b>	Vista externa del pistón del motor GX120 .....	69
<b>Figura 2.14</b>	Vista externa del pistón del motor GX120 .....	70
<b>Figura 2.15</b>	Vista interna del pistón del motor GX120 .....	70
<b>Figura 2.16</b>	Vista externa del pistón del motor GX160 .....	71
<b>Figura 2.17</b>	Vista externa del pistón del motor GX160 .....	72
<b>Figura 2.18</b>	Vista interna del pistón del motor GX160 .....	72
<b>Figura 2.19</b>	Vista interna superior del pistón del motor GX160 .....	73
<b>Figura 2.20</b>	Vista externa del pistón .....	89
<b>Figura 2.21</b>	Vista lateral e inferior del pistón.....	90
<b>Figura 2.22</b>	Vista lateral transparente del pistón .....	91
<b>Figura 2.23</b>	Vista en corte del pistón .....	91
<b>Figura 2.24</b>	Análisis térmico del pistón y motor, vista dimétrica en corte .....	93
<b>Figura 2.25</b>	Análisis térmico del pistón y motor, vista lateral en corte .....	94
<b>Figura 2.26</b>	Análisis de tensiones del pistón y motor, vista en corte .....	95
<b>Figura 2.27</b>	Análisis de desplazamientos del pistón y motor, vista en corte .....	96
<b>Capítulo III</b>		
<b>Figura 3.1</b>	Refrendado y cilindrado.....	97
<b>Figura 3.2</b>	Cabeza de pistón.....	98
<b>Figura 3.3</b>	Ranurado de pistones 1,2 y3.....	98
<b>Figura 3.4</b>	Ranurado del pistón 4 .....	99
<b>Figura 3.5</b>	Tronzado de los pistones .....	99
<b>Figura 3.6</b>	Mecanizado interno .....	100
<b>Figura 3.7</b>	Mecanizado interno del pistón.....	101
<b>Figura 3.8</b>	Mecanizado interno del pistón.....	101

<b>Figura 3.9</b> Mecanizado interno del pistón .....	102
<b>Figura 3.10</b> Mecanizado interno del pistón .....	103
<b>Figura 3.11</b> Mecanizado interno del pistón .....	104
<b>Figura 3.12</b> Mecanizado interno del pistón .....	105
<b>Figura 3.13</b> Mecanizado interno .....	106
<b>Figura 3.14</b> Mecanizado lateral del pistón .....	107
<b>Figura 3.15</b> Mecanizado lateral del pistón .....	108
<b>Figura 3.16</b> Cilindrado del material .....	109
<b>Figura 3.17</b> Herramienta de Ranurado y proceso de ranurado en el torno .....	109
<b>Figura 3.18</b> Determinación del origen pieza por medio .....	110
<b>Figura 3.19</b> Proceso de mecanizado interno .....	111
<b>Figura 3.20</b> Giro de 90° y mecanizado en el costado del pistón .....	112
<b>Figura 3.21</b> Pistón con un costado mecanizado y listo a mecanizarse el otro...	112
<b>Figura 3.22</b> Perforados en el canal de lubricación.....	113
<b>Figura 3.23</b> Giro de 90° y mecanizado en el costado del pistón.....	114
<b>Capítulo IV</b>	
<b>Figura 4.1</b> Corte de pistón .....	116
<b>Figura 4.2</b> Ensayo de dureza Brinell a 3 muestras de duraluminio.....	117
<b>Figura 4.3</b> Ensayo de dureza Brinell a cabeza de pistón.....	118
<b>Figura 4.4</b> Pistón del motor GX120 STD antes del ensayo de compresión.....	119
<b>Figura 4.5</b> Gráfica de Carga vs. Desplazamiento del pistón del motor GX120 STD .....	120
<b>Figura 4.6</b> Pistón del motor GX120 STD, durante y luego del ensayo de compresión .....	120
<b>Figura 4.7</b> Pistón del motor GX160 STD antes del ensayo de compresión.....	120
<b>Figura 4.8</b> Gráfica de Carga vs. Desplazamiento del pistón del motor GX160 STD .....	122
<b>Figura 4.9</b> Pistón del motor GX160 STD, durante y luego del ensayo de compresión .....	122
<b>Figura 4.10</b> Pistón fabricado +0,010 del motor GX120,.....	123
<b>Figura 4.11</b> Pistón fabricado +0,010 del motor GX120,.....	124
<b>Figura 4.12</b> Gráfica de Carga vs. Desplazamiento del pistón.....	124
<b>Figura 4.13</b> Probeta 1 antes y después del ensayo de compresión .....	125
<b>Figura 4.14</b> Probeta 2 antes y después del ensayo de compresión .....	126
<b>Figura 4.15</b> Gráfica de Carga vs. Desplazamiento del ensayo de.....	126
<b>Figura 4.16</b> Probeta antes del ensayo de tracción .....	127
<b>Figura 4.17</b> Probeta durante y luego del ensayo de tracción.....	128
<b>Figura 4.18</b> Gráfica de Carga vs. Desplazamiento del ensayo de tracción .....	128

## **Diseño y fabricación de pistones a sobre medida (+0.010 y +0.020) para motores Honda GX120 y GX160 en torno CNC y centro de mecanizado CNC**

Este trabajo de investigación, fue realizado a partir de Marzo de 2013 y detalla la funcionalidad que cumplen los pistones en un motor de combustión interna, así mismo los distintos tipos de pistones que se pueden encontrar en el mercado nacional e internacional, además, se detallan las distintas formas de fabricación y las ventajas que presenta cada una de ellas, se realizó un análisis de los distintos tipos de aleaciones utilizadas en la fabricación de pistones, y sus características físicas y químicas de cada aleación, además de observar cómo influyen los distintos tipos de metales en una aleación, finalmente se llegó a determinar que la aleación más adecuada es la 4032-T6.

Se detalla un cálculo dinámico de los motores Honda GX120 y del GX160 en función de las cargas, fuerzas, velocidades y aceleraciones que posee un pistón. El diseño de los pistones con sobre medida es lo más parecido a los pistones STD de cada motor, a diferencia de que su fabricación es realizada en máquinas CNC, sin embargo, el diseño de los pistones ha sido sometido a pruebas computarizadas, para determinar sus cualidades físicas normales de trabajo y su resistencia máxima.

Se detalla el respectivo funcionamiento del torno CNC y del centro de mecanizado CNC, así mismo, se explica cada una de las respectivas funciones que intervienen al momento de realizar una programación para cada proceso del maquinado y se detalla, también, brevemente los tipos de herramientas usadas en dichas máquinas. Se realizó una programación de forma manual, la cual puede ser usada por las máquinas CNC y se puede observar el proceso de mecanizado y seguir línea a línea la programación respectiva para cada proceso, e ir visualizando por medio de una simulación computarizada el avance del mismo.



## **ABSTRACT**

### **Design and manufacture of oversized pistons (+0.010 and +0.020) for Honda engines GX120 and GX160 in CNC lathe and CNC machining center.**

This research was conducted from March 2013 and details the functionality that meet the pistons in internal combustion engines, also the different types of pistons that can be found in the national and international market, there is also listed the different types of manufacture and the advantages of each one, the different types of alloys used in the manufacture of pistons, their physical and chemical characteristics of each alloy were analyzed, and also observe how various types of metals influence in an alloy , eventually it was determined that the most suitable alloy to use is the 4032- T6.

Details a dynamic calculation Honda engines GX160 GX120 in function of the loads, forces, speeds and accelerations that has a piston. The design of oversized pistons keeps as close to the pistons of each motor STD, unlike their manufacture is performed in CNC machines, however, the design of the piston has been subjected to computerized tests to determine their normal working physical qualities and maximum strength.

It details the respective operation of CNC lathe and CNC machining center, also, explains each of the respective functions that are during the programming for each machining process and detailed, too briefly the types of tools used in such machines. Programming is performed manually, which can be used by the CNC machines and can be observed the machining process and follow it line by line the programming process, and scroll through a computer simulation advancing it.

# DESARROLLO

## CAPÍTULO I

### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 Objetivo general.

Proponer la factibilidad del diseño y fabricación de pistones con sobre medida (+0.010 y +0.020) para motores Honda GX120 y GX160 en máquinas CNC.

#### 1.1.2 Objetivos específicos.

- Estudiar el cálculo y material de un pistón.
- Realizar el diseño del pistón en SolidWorks.
- Estudiar el manejo adecuado de la maquinaria requerida para dicho fin.
- Probar resistencia de pistón original vs. pistón fabricado en CNC.(Destrucción)

### 1.2 JUSTIFICACIÓN

Ya que en el Ecuador se ha observado la falta de una industria manufacturera de partes internas del motor como pistones, y tomando en cuenta que la potencia del motor se ve afectada cuando los cilindros y pistones poseen un desgaste, se ha escogido diseñar y fabricar pistones con sobre medida para los motores Honda GX120 y GX160 en máquinas CNC (Control Numérico Computarizado). Se escogió este tipo de motores multipropósito por su facilidad de aplicación en distintas máquinas como bombas de agua, generadores eléctricos, vibro apisonadores, go karts, podadoras, etc.

Se escogió a los pistones ya que el diseño que posee la parte interna y externa permite la utilización de dos máquinas CNC, las cuales son un torno y un centro de mecanizado vertical de 3 o 5 ejes dependiendo de la programación realizada.

Una de las partes más importantes de este proyecto es el correcto uso de las máquinas CNC y su respectiva programación. La programación a realizarse no debe tener ningún error para así evitar fallas en la producción o aun peor un

choque de la herramienta contra el material a ser mecanizado. La programación se la puede hacer de forma manual o con la ayuda de un software CAD-CAM.

Con este proyecto se pretende estimular a las generaciones futuras que usen estas máquinas CNC para la fabricación de partes automotrices y así poder impulsar la industria nacional y realizar exportaciones a los países de la región.

Tomando en cuenta como dato adicional que Honda no produce pistones con sobre medida, ya que son realizados en su mayoría por empresas asiáticas, este tipo de producción pudiera aplicarse en nuestro país, con una mano de obra calificada, maquinaria suficiente que facilite una producción en masa y cumpliendo estándares de calidad durante todo el proceso.

Adicionalmente se pretende dar a conocer el manejo de simuladores CNC para comprobar que la programación este correcta y que durante la fabricación no ocurra ningún inconveniente. También se propone un mayor uso del programa de diseño industrial "SolidWorks", ya que mediante este programa se pueden realizar trabajos de gran complejidad en poco tiempo y se pueden someter diferentes cargas a las piezas diseñadas, realizar ensambles y dibujo de planos.

Durante la ejecución del proyecto, se revisarán los materiales usados en la fabricación de pistones, sus cualidades físicas, químicas y así mismo los distintos tipos de pistones y fabricaciones que existen.

Se ha decidido añadir los cálculos realizados a los pistones estándar y a los pistones con sobre medida, para poder observar cómo cambian las fuerzas que actúan sobre el pistón y el rendimiento mecánico de cada motor.

El cálculo realizado, consiste en determinar los caballos de fuerza, torque, capacidad de aire y la eficiencia volumétrica que poseen los motores a 3600RPM. Adicionalmente se realizó un cálculo dinámico a 1000, 2000 y 3600RPM para tener datos más reales para la selección del material. Estos cálculos incluyen la velocidad media y máxima del pistón, aceleración máxima del pistón, fuerza de los gases, fuerza lateral, fuerza de la biela, fuerza tangencial y fuerza radial. Para

poder obtener las fuerzas antes mencionadas, se ha tenido que determinar la velocidad de ingreso del fluido al cilindro y utilizar la presión dinámica ya que el fluido se encuentra en movimiento.

Con todos los cálculos realizados que ha podido seleccionar adecuadamente el material a usarse y se han puesto en práctica los conocimientos de cálculo de motor.

### **1.3 INTRODUCCIÓN**

La presente investigación pretende demostrar que en el Ecuador es posible diseñar y fabricar pistones para motores de la marca Honda, pero en especial pistones a sobre medida de motores estacionarios o multiusos, como son el GX120 y el GX160, de una forma distinta a la convencional.

En el proceso del diseño se tomó la forma básica que poseen los pistones, y se agregaron varios parámetros de diseño, en lo que respecta a tolerancias que posee su forma estructural, adicional mente se realizaron los respectivos cálculos de motor influyentes a los pistones.

El material utilizado principalmente para realizar pistones, es una aleación de aluminio de la serie 4xxx, este tipo de aleación posee una gran cantidad de silicio, el cual es su aleante principal. El silicio ayuda a la reducción de la gravedad específica y al coeficiente de expansión térmica del material, además que ayuda a poseer una correcta fluidez dentro de un molde en un proceso de fundición.

Una parte muy importante de esta investigación realizada, es su fabricación, y el tipo de fabricación utilizado. Comercialmente se utilizan los métodos por fundición y por forja, ya que disminuyen el costo de la producción y se pueden realizar grandes lotes de producción, pero, hay un limitante con estos procesos, ya que para realizar la producción de un nuevo modelo de pistón a baja escala, o para diseños especiales, se tiene que fabricar un nuevo molde, el cual incrementa el costo total de los pistones en una producción pequeña.

Tomando lo antes mencionado, se decidió realizar la fabricación con otro método muy poco utilizado en la fabricación de piezas automotrices, el cual es mediante el desbaste de material por medio de máquinas CNC (Control Numérico Computarizado), partiendo de un cilindro sólido de la aleación de aluminio-silicio, hasta la obtención final de los pistones. Con estas máquinas se pueden fabricar pequeños lotes de producción a un costo razonable y se puede fabricar pistones especiales los cuales en motores de competición son muy aplicables.

Por medio del desarrollo de esta investigación, se promueve también el uso de este tipo de maquinaria especial, muy pocas veces usada en el Ecuador para la fabricación de partes automotrices, cabe mencionar que para el uso de estas máquinas se debe poseer un adecuado conocimiento teórico-práctico y todas las herramientas necesarias de la máquina, al mismo tiempo se promueve el uso de simuladores CNC y de programas de diseño avanzado.

Adicionalmente se ha tomado en cuenta que Honda no fabrica sus propios pistones, ya que ese trabajo es realizado principalmente por fábricas asiáticas, y tomando en cuenta esa parte del mercado, se pudiera llegar a realizar una producción para distribuir los pistones de forma regional a nivel de latino américa, en especial los pistones con sobre medida de los motores antes mencionados.

## **1.4. MARCO TEÓRICO**

### **MÁQUINAS CNC**

#### **1.4.1 Tipos de máquinas CNC**

Las máquinas que utilizan un Control Numérico Computarizado (CNC) son utilizadas en diversos ámbitos de la industria automotriz, naval, aeronáutica, textil, serigrafía, etc.

Este tipo de máquinas que poseen este tipo de control numérico se las emplea principalmente en la fabricación de partes y piezas complejas, en procesos de corte por medio de plasma, corte por chorro de agua a alta presión, electro erosión por hilo, corte por medio de láser, etc.

Las máquinas CNC poseen un controlador, ya sea de la misma marca de la máquina o de un fabricante de controladores, con los cuales se realizan los códigos de programación y se le otorgan distintos comandos que realice la máquina. Sin este controlador no se puede utilizar la máquina y la programación debe tener los códigos adecuados que funcionen con dicho controlador.

#### **1.4.1.1 Utilización de máquinas CNC.**

- Tornos.
- Fresadoras.
- Centros de mecanizado vertical, horizontal, 3, 4 y 5 ejes.
- Fresa de puente o ruteadores.
- Cortadores de plasma, chorro de agua, electro abrasión, laser, etc.

#### **1.4.1.2 Ventajas.**

- Menor tiempo de realización de un trabajo.
- Menor costo de fabricación en grandes procesos o piezas en serie.
- Mayor precisión en el mecanizado, otorgando menor tolerancia de error en las dimensiones finales de la pieza mecanizada.
- Un solo operador puede controlar varias máquinas.

#### **1.4.1.3 Desventajas.**

- Costo elevado de la maquinaria, así como del software.
- Costo elevado de las herramientas utilizadas en la máquina. (Insertos y porta insertos).
- Personal capacitado para el manejo de la máquina.
- Costo elevado en una producción de pocas piezas.

### **1.4.2 Programación del torno CNC**

#### **1.4.2.1 Introducción a la programación.**

La programación de una máquina CNC, es el proceso principal para el correcto uso de la máquina, y también es una parte fundamental al momento de

realizar un mecanizado, ya que la precisión que posea el elemento, depende de la programación.

El programador debe de poseer un gran conocimiento de la codificación ISO (International Organization for Standardization).

Los códigos ISO se dividen en las siguientes funciones:

- Funciones geométricas.
- Funciones generales o preparatorias.
- Funciones misceláneas o auxiliares
- Funciones tecnológicas.
- Función "T".
- Función "N".

#### 1.4.2.1.1. Funciones geométricas.

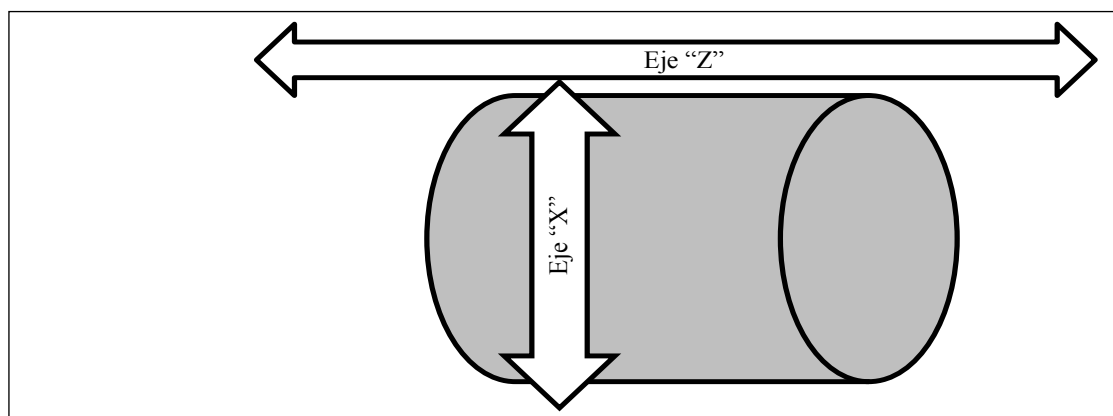
Las funciones geométricas, son las que nos indican las coordenadas en los ejes en los cuales se van a mover los carros desplazables de la máquina.

Los ejes en los cuales se desplazan los carros son el eje "X" y el eje "Z".

El eje "Z" es el que va desde el mandril hacia el contrapunto y el eje "X" es perpendicular al eje "Z". (Figura 1.1)

La programación se realiza en forma de coordenadas, especificando la dirección a moverse más un valor numérico positivo o negativo, ejemplo:

**X+/-6 Z+/-20**



**Figura 1.1. Orientación de los ejes en el torno CNC**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas S.

De esta forma se lleva a cabo toda la programación para realizar un mecanizado, y estos valores positivos o negativos van a depender de donde se haya colocado el cero pieza, el cual lo veremos más adelante.

#### **1.4.2.1.2. Funciones preparatorias.**

Las funciones preparatorias son un complemento a las funciones geométricas, este tipo de funciones nos muestran la forma en como la máquina va a trabajar en una línea de programación. Las funciones preparatorias se componen de la letra mayúscula "G" de General en inglés, seguida de dos dígitos numerales, por ejemplo "G02" es interpolación circular en sentido horario, para realizar redondeos en sentido horario.

En la tabla 1.1 se encuentran las funciones más comunes usadas en CNC, pero, la cantidad de las funciones totales dependen del fabricante y del controlador que la máquina utilice.

Hay que tener en cuenta que no todos los fabricantes utilizan la misma codificación para realizar una misma función.

Las funciones preparatorias se las pueden clasificar en 3 grupos:

- Códigos automáticos al momento del encendido como G00, G40, G70, G80, G90, G95 y G96.
- Códigos MODALES, se encuentran activos hasta que se programe otro código modal del mismo grupo. Dentro de las modales se encuentran desde G00 hasta G03, ciclos fijos, velocidad de corte, RPM, avances, cotas absolutas e incrementales.
- No modales, las cuales hay que colocarlas obligatoriamente en cada línea que se desee dicho movimiento.



**Tabla 1.1: Funciones preparatorias para torno CNC.**

<b>Funciones preparatorias para torno CNC</b>	
<b>Código</b>	<b>Función</b>
<b>G00</b>	Desplazamiento rápido de los ejes
<b>G01</b>	Interpolación lineal con velocidad de avance programado
<b>G02</b>	Interpolación circular en sentido horario
<b>G03</b>	Interpolación circular en sentido antihorario
<b>G04</b>	Pausa programada al final del bloque
<b>G18</b>	Selección del plano X-Z
<b>G33</b>	Roscado a paso constante
<b>G40</b>	Anulación de compensación del radio de la herramienta
<b>G41</b>	Compensación del radio de la herramienta a la izquierda
<b>G42</b>	Compensación del radio de la herramienta a la derecha
<b>G70</b>	Programación de las coordenadas en milímetros
<b>G71</b>	Programación de las coordenadas en pulgadas
<b>G80</b>	Anulación de ciclos fijos
<b>G81 al G89</b>	Ciclos fijos
<b>G90</b>	Programación en coordenadas absolutas
<b>G91</b>	Programación en coordenadas incrementales
<b>G94</b>	Velocidad de avance en mm/min
<b>G95</b>	Velocidad de avance en mm/giro
<b>G96</b>	Velocidad de rotación del hisillo en m/min (velocidad de corte)
<b>G97</b>	RPM directas

Fuente: (CERFIN-SECAP, pp.3-4.)

#### **1.4.2.1.3. Funciones misceláneas o auxiliares.**

Este tipo de funciones, son comandos de control para la máquina, al igual que las funciones preparatorias, estas funciones se componen de dos dígitos numéricos y anteponiendo la letra “M” que proviene de la palabra en inglés “Miscellaneous”, en la Tabla 1.2 se encuentran las principales funciones “M” que son usadas en torno CNC.

**Tabla 1.2:** Funciones Misceláneas o auxiliares.

<b>Funciones Misceláneas o auxiliares</b>	
<b>Código</b>	<b>Función</b>
M00	Parada temporal del programa
M01	Parada opcional del programa
M02	Fin del programa
M03	Giro del husillo en sentido horario
M04	Giro del husillo en sentido anti horario
M05	Parada del husillo
M06	Cambio de herramienta
M08	Encendido del sistema de refrigerante
M09	Apagado del sistema de refrigerante
M30	Fin de programa y retorno al inicio del programa con reset

Fuente: (CERFIN-SECAP, p. 8)

#### **1.4.2.1.4. Funciones tecnológicas.**

Este tipo de funciones, nos ayudan a colocar la velocidad a la que deseamos que gire el husillo y la velocidad de avance (desplazamiento), estos valores se identifican con las letras “S” de Speed para la velocidad de giro y “F” de Feed para el avance, más el valor deseado por el programador.

Estas funciones se usan con los códigos G96-G97 para la velocidad de giro del husillo y G94-G95 para la velocidad de avance. (Tabla 1.1)

Ejemplo:

G96 S100	Velocidad de corte de 100m/min
G97 S750	RPM fijas de 750rpm
G94 F100	Desplazamiento de la herramienta de 100mm/min
G95 F0.2	Desplazamiento de 0.2mm/giro

#### **1.4.2.1.5. Método practico para el cálculo del avance del torno**

Formula:

$$F = \frac{Rins}{2}$$

Dónde:

Rins: Radio de la punta del inserto

Inserto para desbaste: Rins = 0.8

Inserto para acabado: Rins = 0.4

(CERFIN-SECAP, p.10)

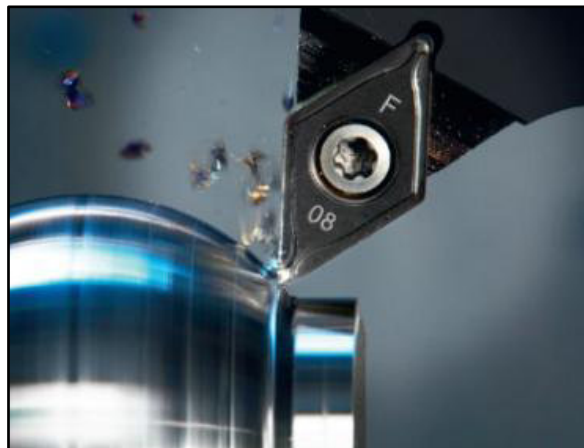
7 Radio de punta, $r_c$ mm, pulgadas		
Métrico:	Pulgada:	Dimensiones reales: pulgadas
00 = 0	00	Redondas
01 = 0.1	03	.004
02 = 0.2	0	.008
04 = 0.4	1 = 1/64	.0156
05 = 0.5		
08 = 0.8	2 = 1/32	.0312
10 = 1.0		
12 = 1.2	3 = 3/64	.047
15 = 1.5		
16 = 1.6	4 = 1/16	.0625
24 = 2.4	6 = 3/32	.094
32 = 3.2	8 = 1/8	.125

**Figura 1.2. Radio de la punta del inserto.**

Fuente: (Sandvik, 2012, p. A17)

En la figura 1.2, se observan las medidas en milímetros y pulgadas, que pueden tener las puntas de los insertos.

Como se puede observar en la Figura 1.3, existen insertos que nos indican directamente cual es el valor “F” que poseen para realizar el respectivo cálculo.



**Figura 1.3. Inserto de desbaste externo.**

Fuente: (Sandvik, 2012, p. A111)

#### 1.4.2.1.6. Función "T".

Con la función "T" seleccionamos la herramienta que se desee usar en un mecanizado. "T" proviene de la palabra herramienta (Tool) en Ingles.

Esta función se compone de 3 partes que son:

##### **T0101**

T= Indica que es una herramienta

01= Indica el lugar que está ocupando esa herramientas en el porta herramientas y la cantidad de las mismas depende de las dimensiones de la máquina y de las necesidades del mecanizado.

01= Es un número corrector de la herramienta, el cual se usa cuando el inserto ha sufrido desgaste y no se desea que se alteren las medidas de la pieza a ser mecanizada. (Se compensa el desgaste existente)

Los valores correctores son los mismos que los de las posiciones de ubicación de la herramienta. Ejemplo:

T0101

T0202

T1010

#### 1.4.2.1.7. Función "N".

La función "N", proviene de la palabra número en inglés "Number", la cual nos ayuda a llevar un control numérico de forma secuencial de las líneas de programación existentes en forma de bloques, además de que nos podemos ayudar de esta función al momento de usar ciclos fijos, para que se repita un cierto número de pasos previos en un posterior proceso.

Se coloca la letra N, seguida de su respectiva numeración y luego se procede a colocar la línea de programación.

Ejemplo:

N10 G00

N20 G00

N30 G01

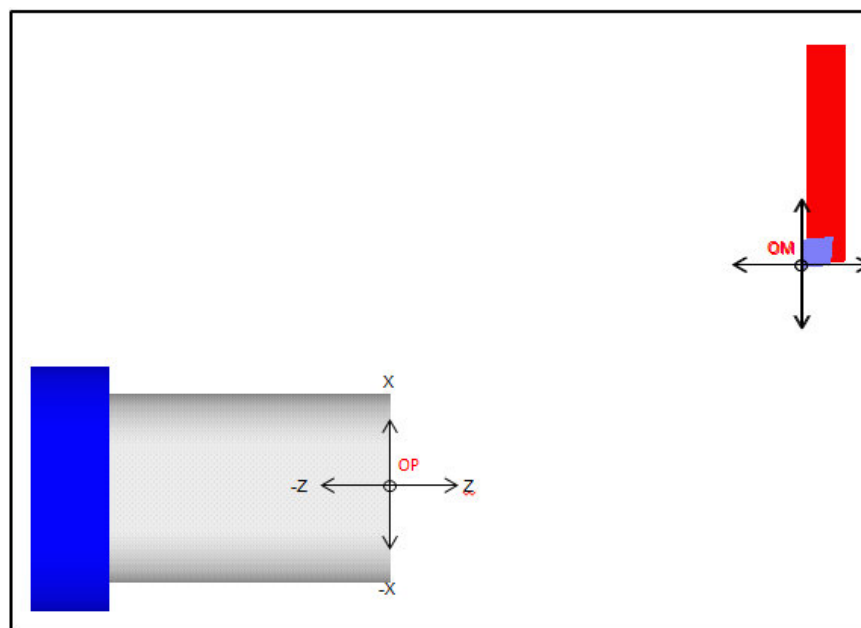
#### 1.4.2.1.8. Sistema de coordenadas.

El sistema de coordenadas se basa y se rige según el ISO-841:2001, el cual corresponde a la integración de automatización industrial. (Industrial automation systems and integration -- Numerical control of machines -- Coordinate system and motion nomenclature)

Este sistema se compone de dos tipos de coordenadas u orígenes que son:

- Origen máquina (OM): Son coordenadas dadas por el fabricante de la máquina, las cuales son cero en X y en Z en un cierto punto establecido.
- Origen pieza (OP): Estas coordenadas, dependen de la longitud del material base, se las puede ubicar por medio de sensores o de forma manual realizando un ligero refrendado al material, para luego guardarlas en la memoria de la máquina, esto es lo más común que se realiza. Con esto se obtienen valores en los ejes X y Z.

Una vez guardada dicha coordenada, la programación del mecanizado será de forma negativa ya que el material base se encuentra a la izquierda y de ese punto a la derecha serán valores positivos, esto para el eje Z y de la misma manera para el eje X, valores negativos debajo de este punto y positivos sobre este punto.



**Figura 1.4 Origen máquina y origen pieza**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas S.

#### **1.4.2.2. Estructura de un programa para torno y centro de mecanizado.**

Un programa CNC consta de 3 partes principales que son:

- Cabecera de programa: Consta de varias de las funciones tecnológicas, selección de herramienta, así mismo como indicaciones adicionales que no son tomadas dentro de la programación, pero que ayudan al operador a guiarse y que sepa de qué se trata el programa.
- Programa de mecanizado: En esta sección constan todas las instrucciones propias del mecanizado, se utilizan las funciones misceláneas, generales y preparatorias, adicionalmente de las coordenadas.
- Final del programa: Son comandos que le indican a la máquina, que ha finalizado el proceso de mecanizado y se puede utilizar M02 o M30 para realizar piezas en serie.

#### **1.4.2.3. Programación de los desplazamientos en torno CNC.**

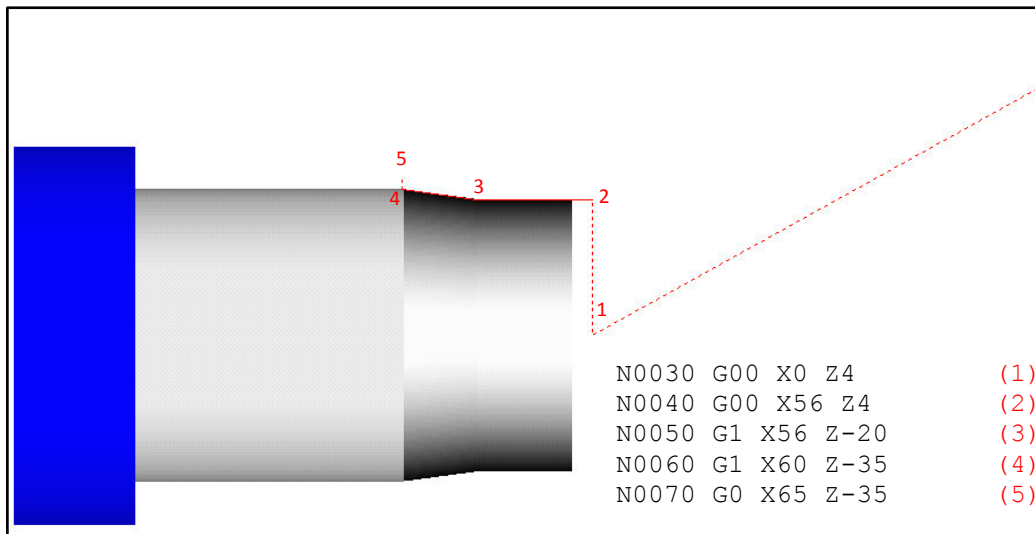
Los desplazamientos utilizados en CNC son G00-G01-G02 y G03, a continuación se explican más detalladamente cada uno de ellos y su funcionamiento.

##### **1.4.2.3.1. Función G00.**

La función G00, es un desplazamiento rápido sobre cualquiera de los ejes, el desplazamiento es con la máxima velocidad de la máquina y hay que tomar en cuenta que cuando se utiliza esta función, la herramienta no puede estar realizando ningún tipo de trabajo como desbaste, roscado, etc., solo se la utiliza para realizar alejamientos de la herramienta hacia el cero máquina, cambiar de herramienta, para desplazamientos rápidos dentro de la programación de mecanizado y acercamientos y alejamientos en general. (Figura 1.5)

##### **1.4.2.3.2. Función G01.**

La función G01 es la utilizada al momento de realizar un desbaste (Figura 1.5), ya sea este externo o interno. Esta función toma valores anteriores de la velocidad de avance y se traslada en línea recta de punto a punto de la programación.

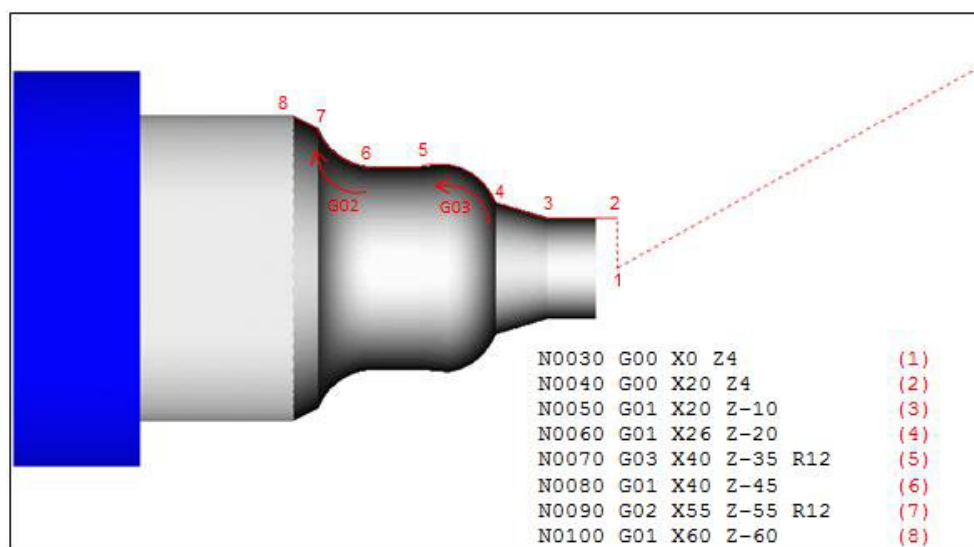


**Figura 1.5 Forma de trabajo de las Funciones G00 y G01**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas S.

#### 1.4.2.3.3. Interpolación circular con indicación del radio.

Este comando nos sirve para hacer redondeos en la pieza que se está trabajando, se utilizan los códigos G02 cuando se realiza el movimiento en sentido horario y, G03 cuando el movimiento es en sentido anti horario, además se le agrega la letra "R" con el valor correspondiente al radio que se desea tener en ese lugar. (Figura 1.6)



**Figura 1.6 Interpolación circular con indicación de radio**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas S.

#### 1.4.2.4. Coordenadas cartesianas absolutas e incrementales.

##### 1.4.2.4.1. Coordenadas cartesianas absolutas.

Las coordenadas absolutas como su nombre lo dice, es total o que parte la medida siempre desde el punto cero pieza, son medidas que van desde el inicio hasta el siguiente punto y así sucesivamente, como se puede apreciar en la programación de la Figura 1.6. En la programación se debe colocar el código G90 para utilizar coordenadas absolutas, cabe decir que este código se coloca de forma automática si no se lo programa.

##### 1.4.2.4.2. Coordenadas cartesianas incrementales.

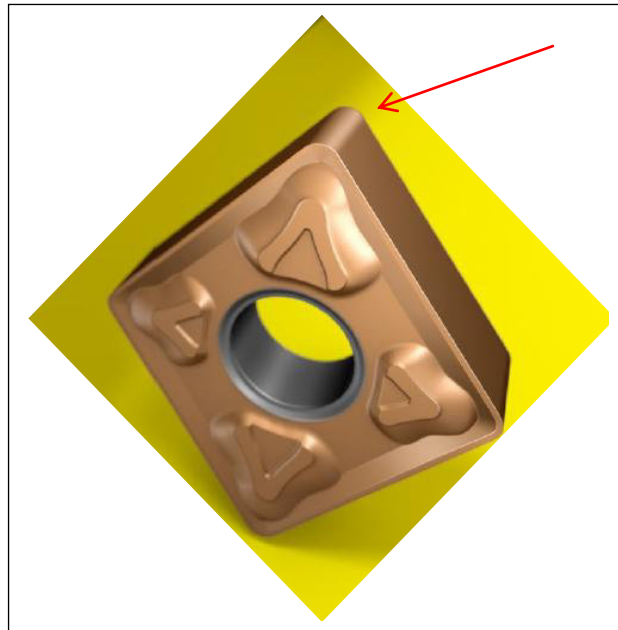
Las coordenadas incrementales parten desde un punto previo de la programación, estas no se las programa de la misma forma que las absolutas ya que solo una vez se pasa por el OP y el resto de puntos van en cadena, siempre partiendo desde el anterior. Utiliza el código G91, tomando la programación de la Figura 1.6, en coordenadas incrementales sería así:

```
N0030 G00 X0 Z4 (1)
N0040 G00 X20 Z4 (2)
N0045 G01 X20 Z0
N0050 G91 G01 Z-10 (3)
N0060 G01 X6 Z-10 (4)
N0070 G03 X14 Z-15 R12 (5)
N0080 G01 Z-10 (6)
N0090 G02 X15 Z-10 R12 (7)
N0100 G01 X5 Z-5 (8)
```



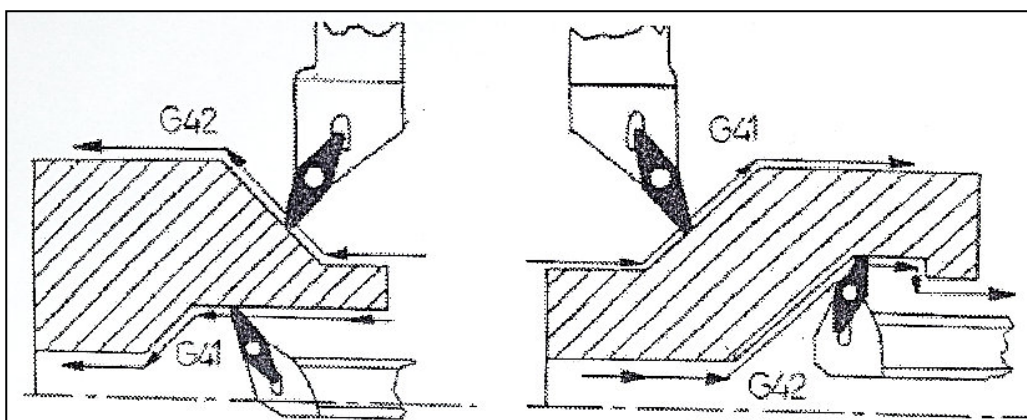
#### 1.4.2.5. Compensación del radio de la herramienta.

Este parámetro es de gran importancia al momento de realizar la programación y posteriormente el mecanizado, ya que se asume teóricamente que el inserto posee una punta con una arista viva, pero el inserto realmente posee un redondeo en sus extremos. (Figura 1.7)



**Figura 1.7 Inserto de torno CNC**  
Fuente: (Sandvik, 2012, p. A1.)

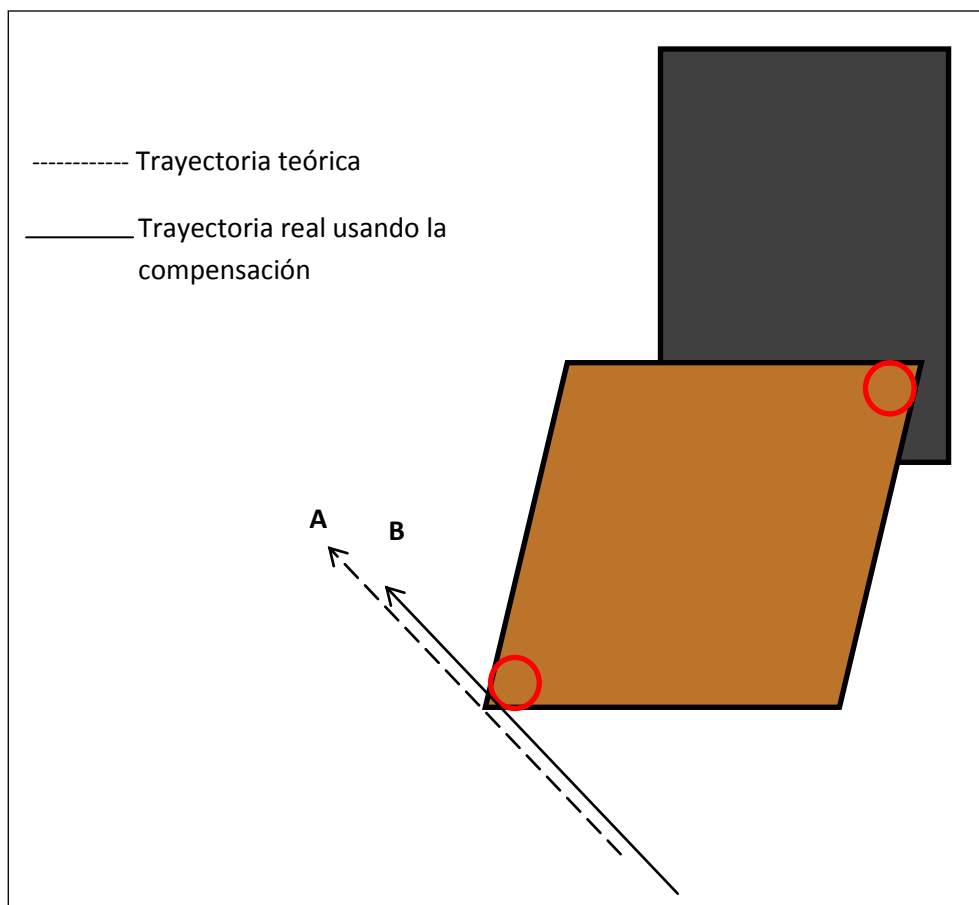
Ya que el inserto posee la punta de forma redondeada para aumentar su rigidez, se debe usar los códigos de compensación G41 o G42, dependiendo de la dirección de trabajo de la herramienta, si es a la derecha se utiliza G42 y si es a la izquierda G41. (Figura 1.8)



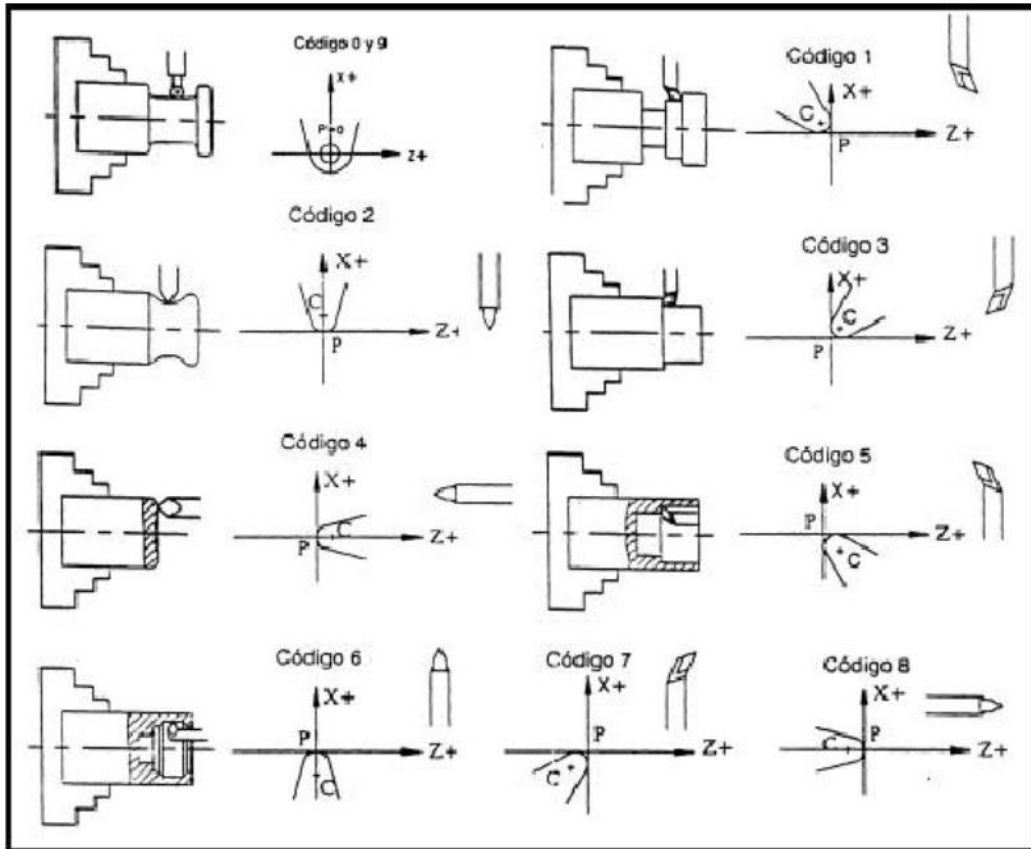
**Figura 1.8 Compensación a izquierdas G41 y compensación a derechas G42**  
Fuente: (CERFIN-SECAP, p. 27)

En la Figura 1.9 se puede observar la consecuencia de trabajar con la compensación (línea B), con la cual las dimensiones de la pieza mecanizada se mantienen iguales que las programadas, mientras que si se trabaja sin compensación (línea A), va a quedar un exceso de material en la pieza, ya que la línea A toma la posición de B y la línea B que es la que remueve material se desplaza y retira menos material que el deseado.

Para que la máquina sepa cuál sería la distancia que debe mantener al momento de usar la compensación, el control de la máquina realiza un cálculo con el valor del radio de la herramienta, el cual se lo ingresa de forma manual y un código de orientación, el cual especifica la posición de trabajo de la herramienta. (Figura 1.10)



**Figura 1.9 Compensación del radio de la herramienta**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas S.



**Figura 1.10 Códigos de orientación de las herramientas**

Fuente: (CEDIT, p. 94.)

#### 1.4.2.6. Tipos de herramientas.

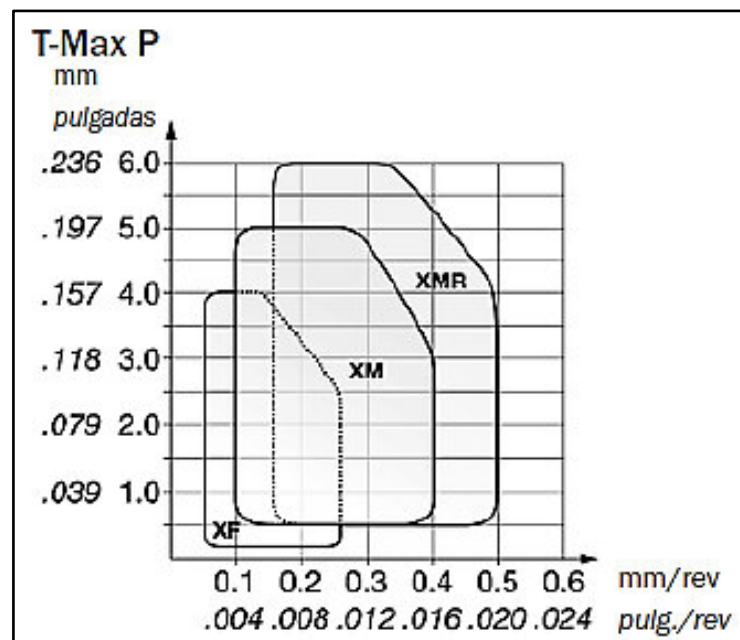
Las herramientas que se usan en los tornos CNC, se componen de dos partes, un mango, el cual en la mayoría de los casos posee dimensiones específicas de la máquina o a veces se los puede compartir entre máquinas. La parte más importante de una herramienta es el inserto que utiliza, este inserto es el que va a realizar el trabajo de desbaste y al mismo tiempo dependiendo de la forma del mismo, dejara un acabado en la superficie ya que el inserto posee varios redondeos en su forma, así mismo existen insertos específicos para trabajos más complicados ya que al momento de elegir las herramientas con las cuales trabajaremos, tenemos que tener en cuenta el tamaño de la pieza a ser mecanizada, el material y la figura que se desee obtener luego del mecanizado, se posee adicionalmente a los insertos el uso de brocas pero solo se las puede utilizar en el eje "X" en el cual estaría el cero pieza, solo trabaja en ese punto.

Los insertos si bien son todos para torneado externo por ejemplo, existe una sub clasificación de los mismos, ya que, el acabado final de la pieza dependerá de la calidad y desgaste que posean los insertos, adicionalmente las velocidades a las cuales trabaja cada inserto es distinta. En las Figuras 1.11 y 1.12 vemos las subcategorías que posee cada serie de las placas, en este caso la serie T-Max P.

Las herramientas se dividen en herramientas externas y herramientas internas.



**Figura 1.11 Torneado exterior**  
Fuente: (Sandvik, 2012, p. A67.)

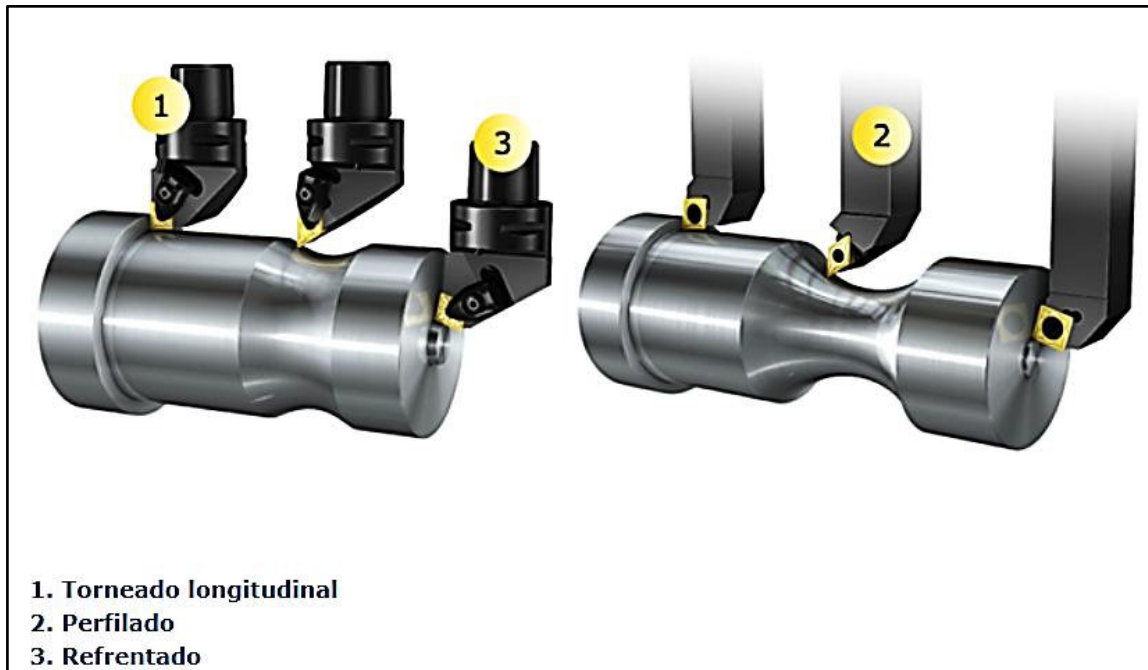


**Figura 1.12 Profundidad de desbaste vs. Avance de corte**  
Fuente: (Sandvik, 2012, p. 67.)

### 1.4.2.6.1. Herramientas externas.

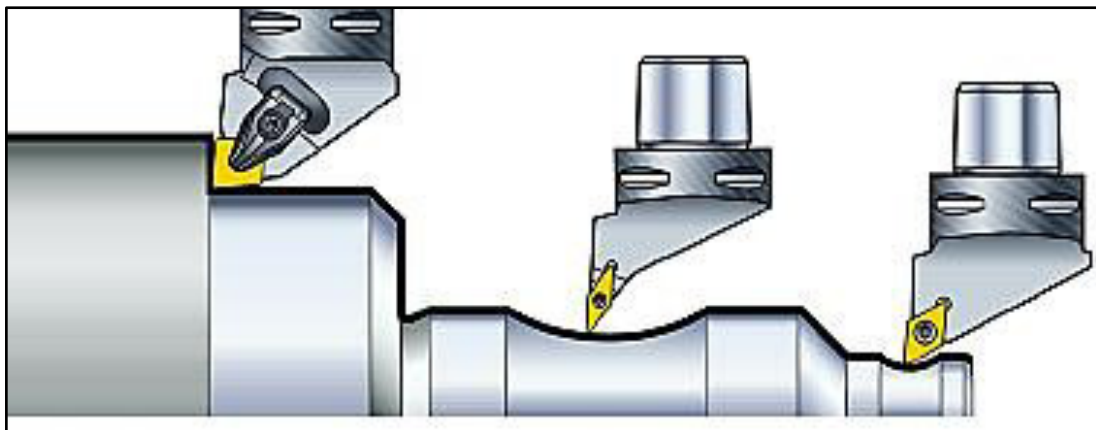
Las herramientas externas se clasifican en:

#### 1. Torneado externo



**Figura 1.13 Torneado exterior**

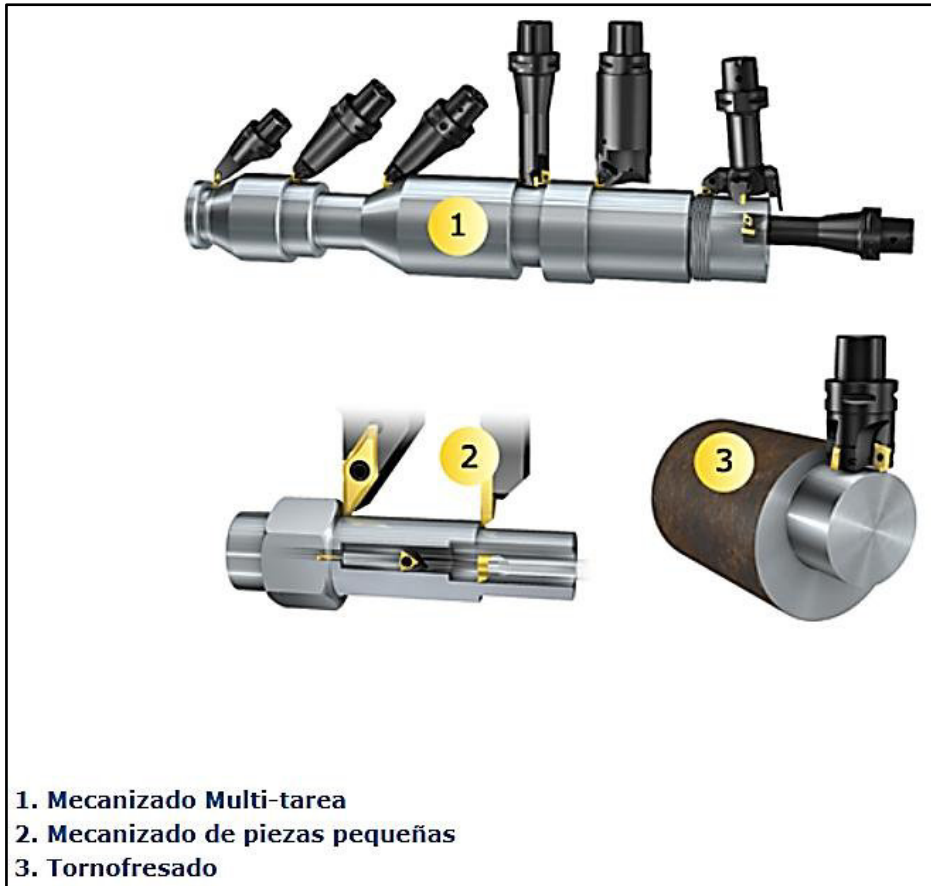
Fuente: Sandvik Coromant



**Figura 1.14 Vista lateral de torneado exterior**

Fuente: (Sandvik, 2012, p. A4.)

## 2. Otras aplicaciones de torneado



**Figura 1.15 Otras aplicaciones de torneado exterior**

Fuente: Sandvik Coromant

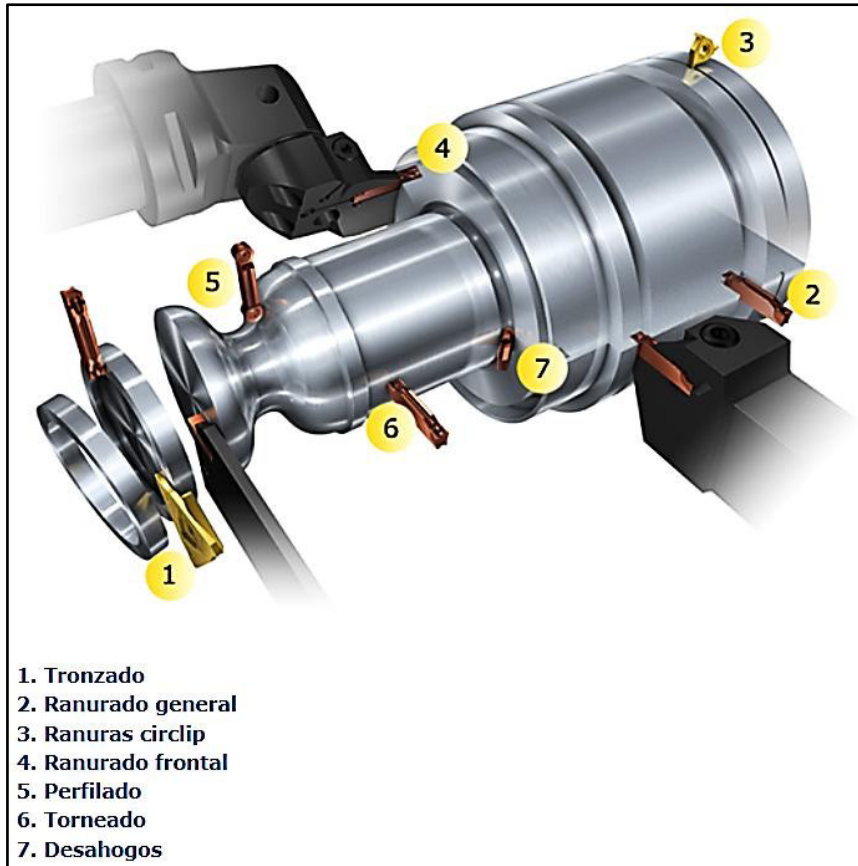


**Figura 1.16 Insertos usados para torneado exterior**

Fuente: (Sandvik, 2012, p. A45.)



### 3. Ranurado y Tronzado



**Figura 1.17 Ranurado y tronzado exterior**

Fuente: Sandvik Coromant

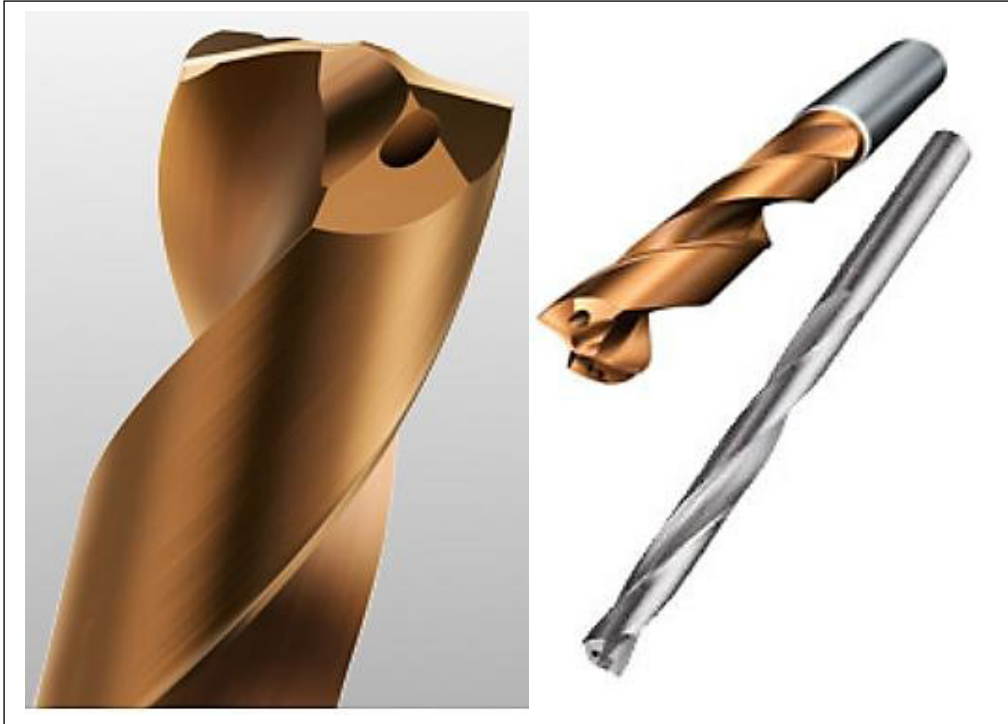
### 4. Roscado



**Figura 1.18 Roscado exterior**

Fuente: (Sandvik, p 46.)

## 5. Taladrado



**Figura 1.19 Brocas para taladrado**  
Fuente: Sandvik Coromant

Como se puede observar en la Figura 1.19, las brocas usadas para el proceso de taladrado, ya sea en torno CNC o centro de mecanizado CNC, poseen agujeros internos por los cuales fluye refrigerante, el cual ayuda además de refrigerar la herramienta y la pieza, ayuda a la evacuación de la viruta.

En la Figura 1.20 se observan algunos de los porta herramientas para insertos.



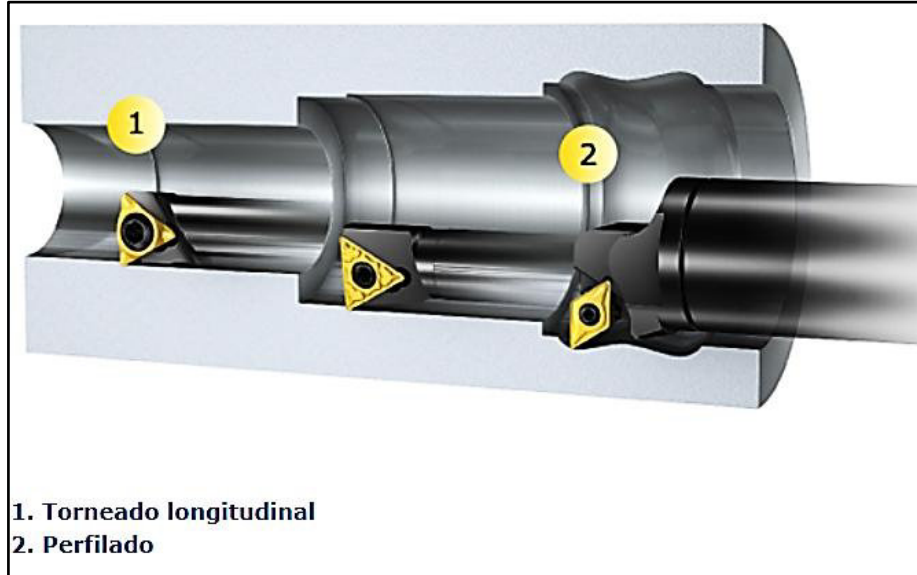
**Figura 1.20 Porta herramientas para insertos CoroTurn® 107 sujeción por tornillo**  
Fuente: (Sandvik, 2012, p. A165.)



#### 1.4.2.6.2. Herramientas internas.

Las herramientas internas se clasifican al igual que las externas en:

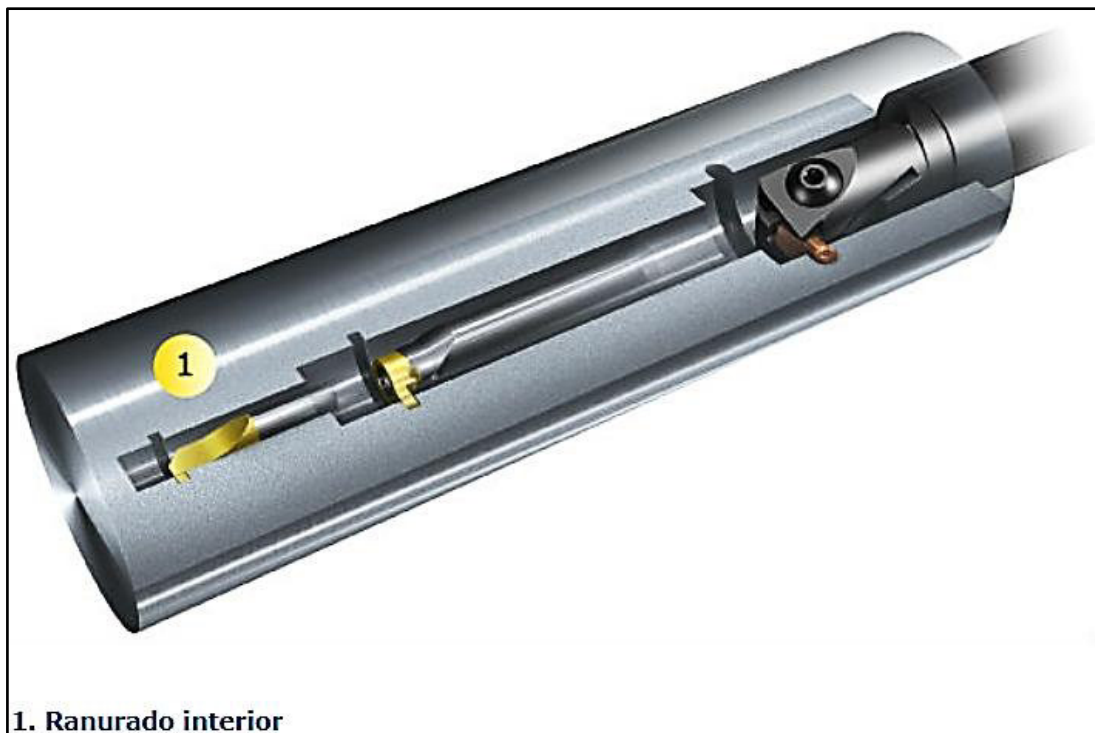
##### 1. Torneado interno



**Figura 1.21 Torneado interior**

Fuente: Sandvik Coromant

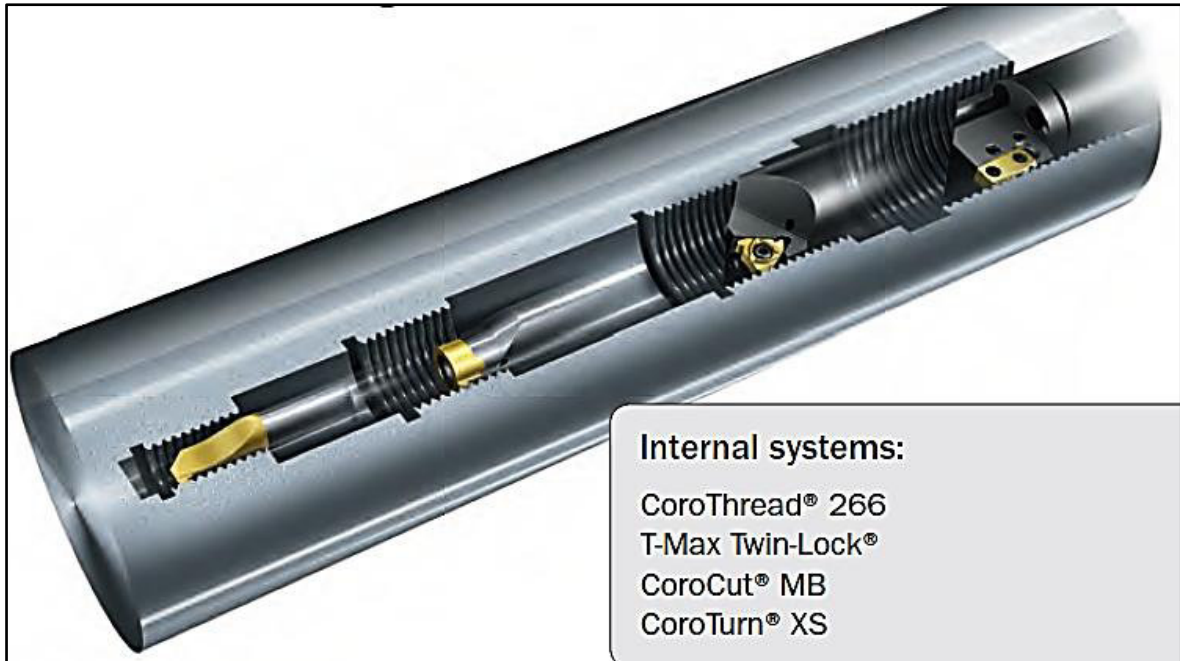
##### 2. Ranurado



**Figura 1.22 Ranurado interior**

Fuente: Sandvik Coromant

### 3. Roscado



**Figura 1.23 Roscado interior**

Fuente: (Sandvik, p. 47 )

#### **1.4.3. Programación del centro de mecanizado CNC**

La programación del centro de mecanizado es muy similar a la del torno CNC, con la diferencia de que posee un eje adicional, el cual es el eje “Y”.

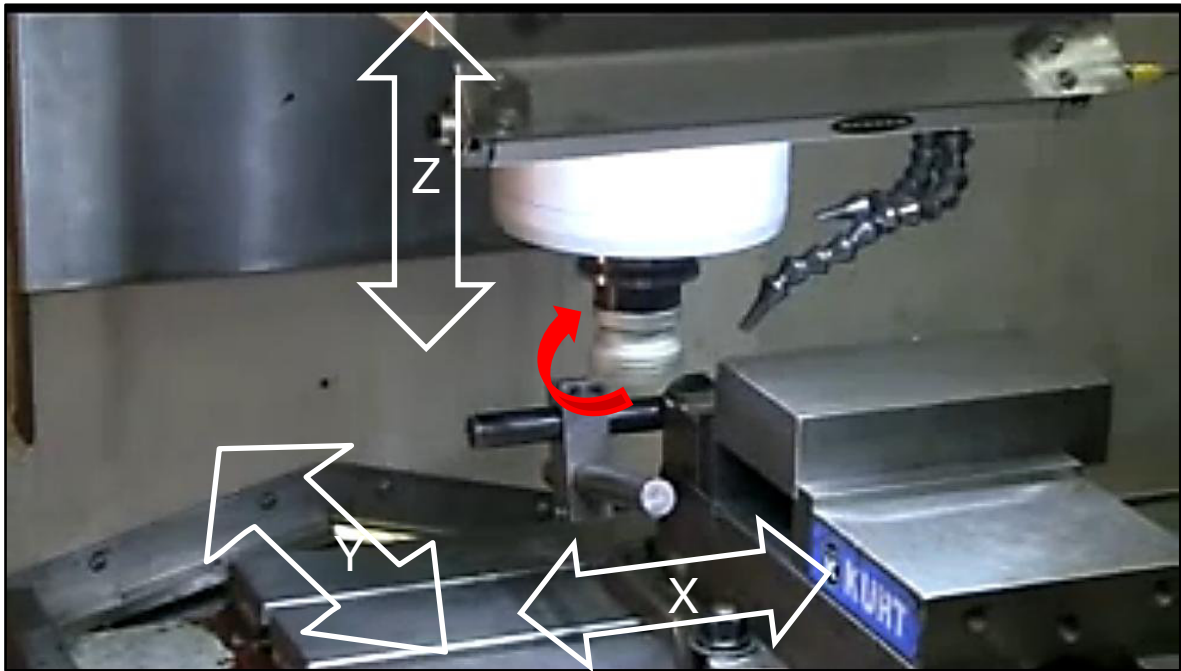
En cuanto a los comandos y códigos que se observaron en la programación del torno CNC, el centro de mecanizado posee casi los mismos o alguna variación de los mismos.

##### **1.4.3.1. Funcionamiento de un centro de mecanizado CNC.**

El centro de mecanizado se compone de 3 ejes (X-Y-Z) para realizar un trabajo de forma tridimensional. Este tipo de máquina trabaja en la mayoría de los procesos de mecanizado con refrigerante, a menos que la herramienta que se va a utilizar, especifique que solo trabaja en seco.

En el centro de mecanizado, el material base a ser trabajado, va sujeto de forma fija a la mesa de trabajo y la herramienta es la que realiza el movimiento circular para el desbaste de material. A diferencia del torno CNC, en el cual la

herramienta es la que se desplaza sobre los ejes “X” y “Z”, en el centro de mecanizado, la mesa de trabajo es la que se desplaza dentro de los ejes “X” y “Y”. La herramienta se desplaza únicamente sobre el eje “Z” y realiza el movimiento giratorio de la misma. En la Figura 1.24 se observan los ejes de movimiento que realiza la máquina.



**Figura 1.24 Ejes de movimiento del centro de mecanizado de 3 ejes**

Fuente: (Maquinaria, 2012, minuto 0.16)

Editada por: Xavier Guarderas S.

#### **1.4.3.2. Funciones.**

Las funciones que posee el centro de mecanizado CNC, son las mismas que se tienen en el torno CNC. A continuación se explicará de forma breve cada una de las funciones aplicadas al centro de mecanizado CNC.

##### **1.4.3.2.1. Funciones geométricas.**

Las funciones geométricas, son las que nos indican las coordenadas en los ejes en los cuales se van a mover los carros desplazables de la máquina.

Los ejes en los cuales se desplaza la mesa de trabajo son el eje “X” y el eje “Y” y el husillo en el eje “Z”. (Figura 1.24)

Se programa en forma de coordenadas, ejemplo:

**X+/-5 Y+/-5 Z+/-5**

#### **1.4.3.2.2. Funciones preparatorias.**

Las funciones preparatorias en el centro de mecanizado, al igual que en el torno, son un complemento a las funciones geométricas, este tipo de funciones nos muestran la forma en como la máquina va a trabajar en una línea de programación.

Las funciones preparatorias se componen de la letra mayúscula “G” de General en inglés, seguida de dos dígitos numerales, por ejemplo “G01” es interpolación lineal con avance programado, para realizar movimientos de forma lineal.

En la tabla 1.3 se encuentran las funciones más comunes usadas en el centro de mecanizado CNC, pero, la cantidad de las funciones totales dependen del fabricante.

Hay que tener en cuenta que no todos los fabricantes utilizan la misma codificación para realizar una misma función.

Las funciones preparatorias se las pueden clasificar en 3 grupos:

- Códigos automáticos al momento del encendido como G00, G40, G70, G80, G90, G94 y G97.
- Códigos MODALES, se encuentran activos hasta que se programe otro código modal del mismo grupo. Dentro de las modales se encuentran desde G00 hasta G03, ciclos fijos, avances y cotas absolutas e incrementales.
- No modales, las cuales hay que colocarlas obligatoriamente en cada línea que se desee dicho movimiento.

**Tabla 1.3:** Funciones preparatorias para centro de mecanizado CNC.

<b>Funciones preparatorias para centro de mecanizado CNC</b>	
<b>Código</b>	<b>Función</b>
<b>G00</b>	Desplazamiento rápido de los ejes
<b>G01</b>	Interpolación lineal con velocidad de avance programado
<b>G02</b>	Interpolación circular en sentido horario
<b>G03</b>	Interpolación circular en sentido anti horario
<b>G04</b>	Pausa programada al final del bloque
<b>G17</b>	Selección del plano X-Y
<b>G18</b>	Selección del plano X-Z
<b>G19</b>	Selección del plano Y-Z
<b>G28</b>	Retorno a cero máquina
<b>G40</b>	Anulación de compensación del radio de la herramienta
<b>G41</b>	Compensación del radio de la herramienta a la izquierda
<b>G42</b>	Compensación del radio de la herramienta a la derecha
<b>G43</b>	Compensación de la altura en Z
<b>G54</b>	Traslado de origen absoluto 1
<b>G70</b>	Programación de las coordenadas en milímetros
<b>G71</b>	Programación de las coordenadas en pulgadas
<b>G80</b>	Anulación de ciclos fijos
<b>G81</b>	Ciclo fijo de taladrado
<b>G82</b>	Ciclo fijo de taladrado con temporización
<b>G83</b>	Ciclo de taladrado profundo
<b>G84</b>	Ciclo de roscado con macho
<b>G85</b>	Ciclo de escariado, salida de herramienta con avance programado
<b>G86</b>	Ciclo de mandrinado (barrenado), salida de herramienta con avance rápido
<b>G89</b>	Ciclo de mandrinado, salida de herramienta con avance programado
<b>G90</b>	Programación en coordenadas absolutas
<b>G91</b>	Programación en coordenadas incrementales
<b>G94</b>	Velocidad de avance en mm/min
<b>G95</b>	Velocidad de avance en mm/giro
<b>G96</b>	Velocidad de rotación del husillo en m/min (velocidad de corte)
<b>G97</b>	RPM directas
<b>G98</b>	Retorno a un punto inicial en ciclo fijo
<b>G99</b>	Retorno a un punto R en ciclo fijo

Fuente: (Vilañez, 2005, p. 4.)

#### **1.4.3.2.3 Funciones misceláneas.**

Este tipo de funciones, son comandos de control para la máquina, al igual que las funciones preparatorias, estas funciones se componen de dos dígitos numéricos y se antepone la letra “M”, en la Tabla 1.2 se encuentran las principales funciones “M” que son usadas en el centro de mecanizado CNC.

#### **1.4.3.2.4. Funciones tecnológicas.**

Estas funciones, son iguales a lo observado en el punto 1.4.2.1.4, de la parte del torno CNC, con la diferencia de que en el centro de mecanizado se utiliza el código G97 para especificar las revoluciones a las cuales va a trabajar el husillo (RPM fijas), al cual se le agrega la letra “S” para definir el respectivo número.

El valor de la velocidad de avance, será utilizando el código G94 y agregando la letra “F” con su respectivo valor, el cual debe de ser calculado con la siguiente formula:

$$F=RPM \times A_z \times Z$$

DONDE:

RPM = Revoluciones de giro del husillo

A<sub>z</sub> = Avance por diente de la fresadora. (mm/giro)

Z = Número de dientes de la fresa.

#### **1.4.3.2.5. Función “T”.**

La función “T”, trabaja de la misma forma que en el torno CNC, con la diferencia que entre sus dígitos numéricos, va un punto de separación, ejemplo:

T01.01

T03.03

#### **1.4.3.2.6. Función “N”.**

La función “N”, al igual que en el torno CNC se puede usar en el centro de mecanizado, ayudando a llevar un control numérico secuencial de las líneas de programación existentes, ejemplo:

N10 G0 X... Y... Z...

N20 G1 X... Y...

#### **1.4.3.3. Sistema de coordenadas.**

El sistema de coordenadas se divide en dos que son:

- Origen máquina (OM): Son coordenadas dadas por el fabricante de la máquina, las cuales son cero los valores de X, Y, Z en un cierto punto previamente establecido.

- Origen pieza (OP): Estas coordenadas, dependen del programador, ya que son colocadas por él mismo y las cuales van a depender de la figura que va a ser mecanizada o dependiendo de la geometría que posea la pieza, se colocara ya sea en el centro o en un extremo.

En la Figura 1.25, se puede apreciar la ubicación del cero máquina (plano cartesiano verde), en el cual se realiza el cambio de las herramientas y sus coordenadas son programadas por el fabricante. En la misma figura, se observa el origen pieza (OP), el cual es colocado a gusto del programador pero lo más usual es colocarlo ya sea en el centro de la pieza a ser mecanizada o en una esquina.

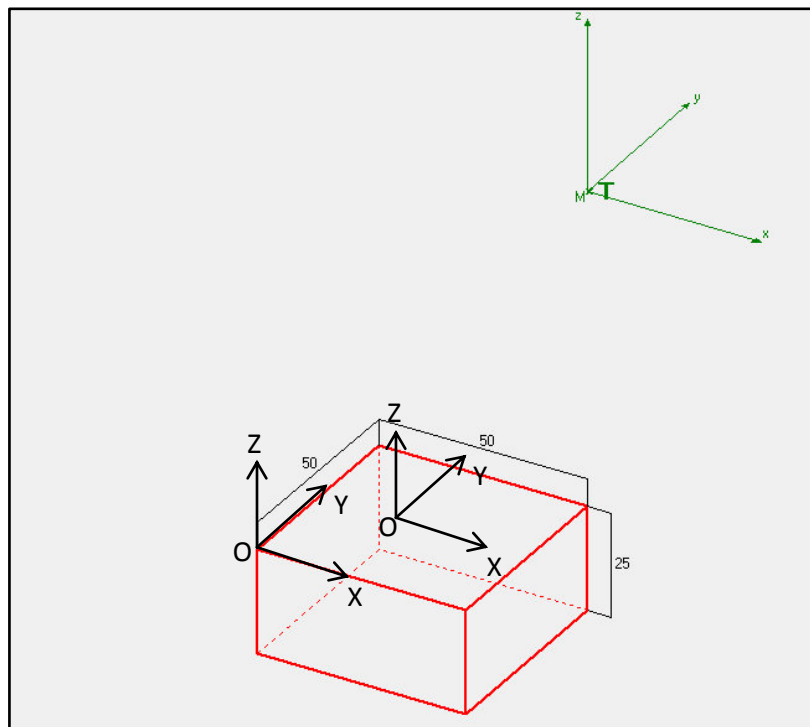


Figura 1.25 Cero máquina y el cero pieza del centro de mecanizado CNC  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas S.

#### 1.4.3.4. Programación de los desplazamientos en centro de mecanizado CNC.

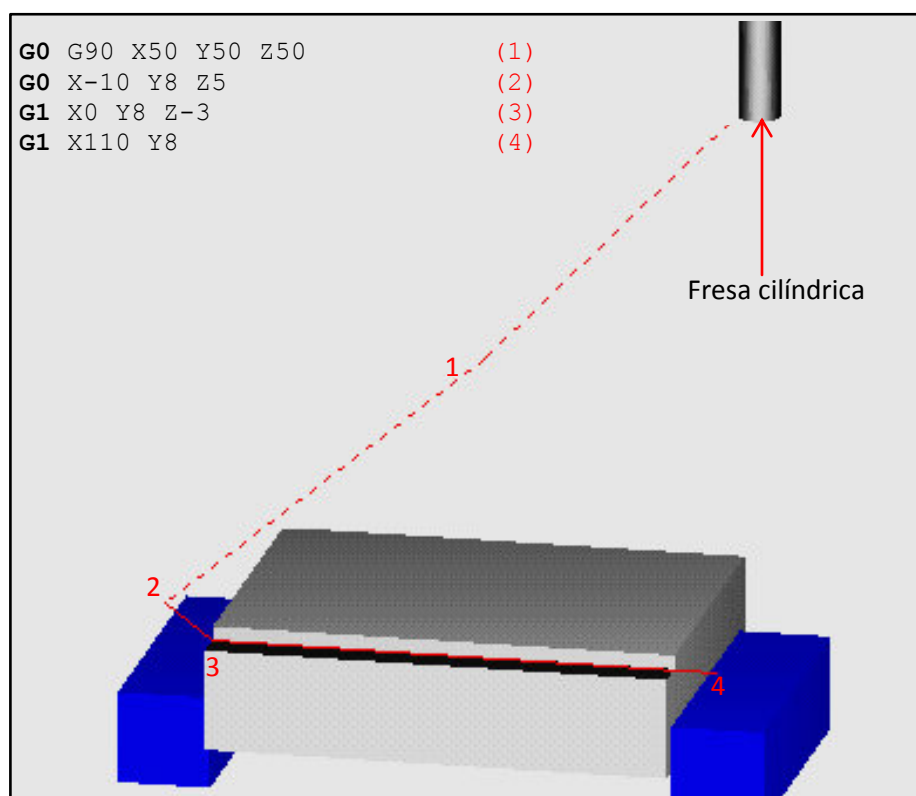
Los desplazamientos utilizados en el centro de mecanizado, son los mismos códigos que se utilizan en el torno (G00-G01-G02 y G03), a continuación se explican más detalladamente cada uno de ellos y su funcionamiento.

#### 1.4.3.4.1. Función G00.

La función G00, es un desplazamiento rápido sobre cualquiera de los 3 ejes X, Y, Z, el desplazamiento es a máxima velocidad de la máquina y hay que tomar en cuenta que cuando se utiliza esta función, la herramienta no puede estar realizando ningún tipo de trabajo de desbaste y siempre mantener una distancia de seguridad. (Figura 1.26)

#### 1.4.3.4.2. Función G01.

La función G01 es para realizar el trabajo de desbaste en una interpolación lineal con velocidad de avance programado, lo que quiere decir que se traslada desde una coordenada programada hasta otra en forma lineal y toma los valores previos de la velocidad de avance que se han programado. (Figura 1.26)



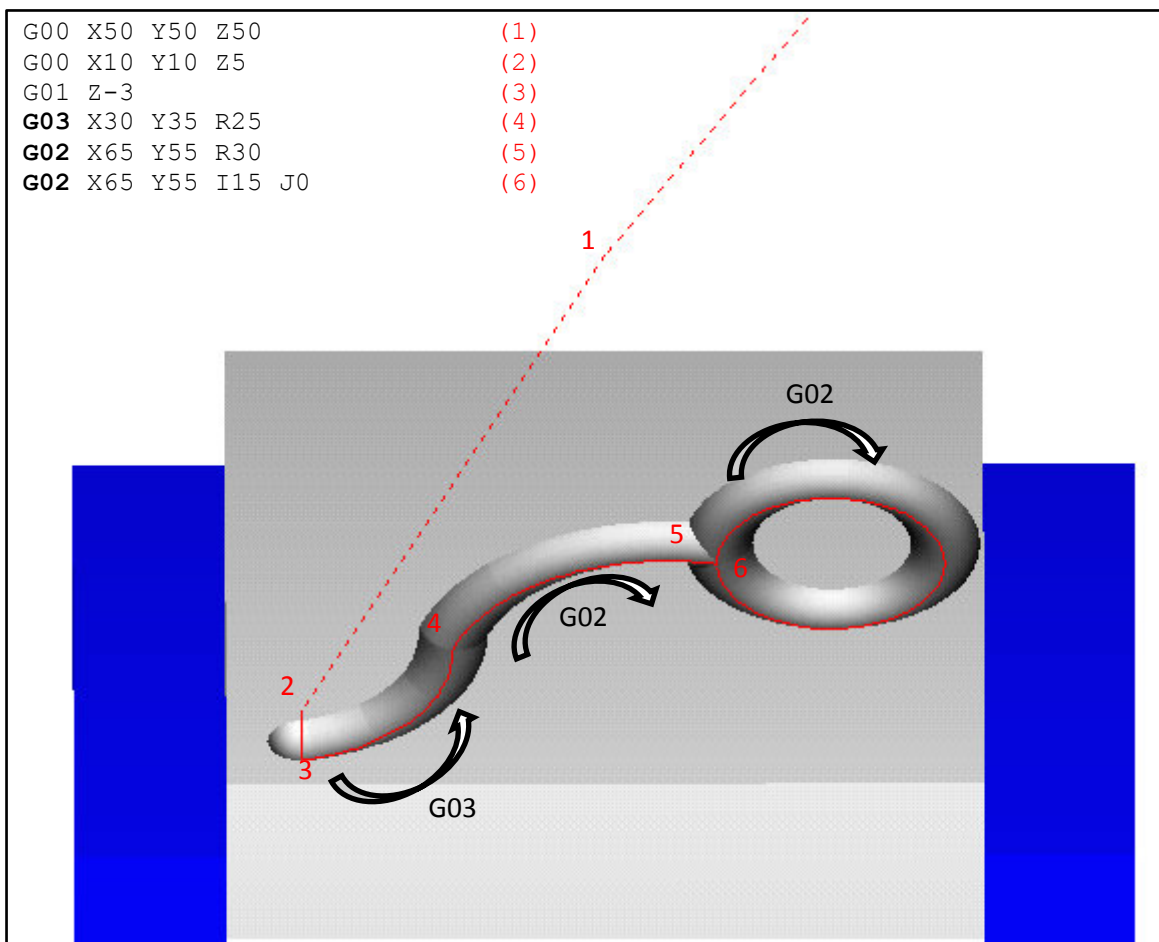
**Figura 1.26 Función G00 y Función G01**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas S.



#### 1.4.3.4.3. Movimiento circular.

El movimiento circular nos sirve para realizar redondeos, realizando arcos circulares en el material base. Para dicho fin se puede utilizar el código G02 (Interpolación circular en sentido horario) o G03 (Interpolación circular en sentido anti horario), dependiendo de la dirección que se le desee dar al arco.

En la Figura 1.27 se ve la utilización de los códigos G02 y G03, la programación de estas coordenadas tienen que ir con los valores que se desee en "X" y "Y" para obtener el punto final del arco, adicionalmente se agrega "R" (radio que se desea que posea el arco). Si se desea realizar circunferencias, se debe remplazar "R" por "I" para el eje "X" y "J" para "Y", para especificar las medidas de la circunferencia.



**Figura 1.27 Interpolación circular G02-G03**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas S.

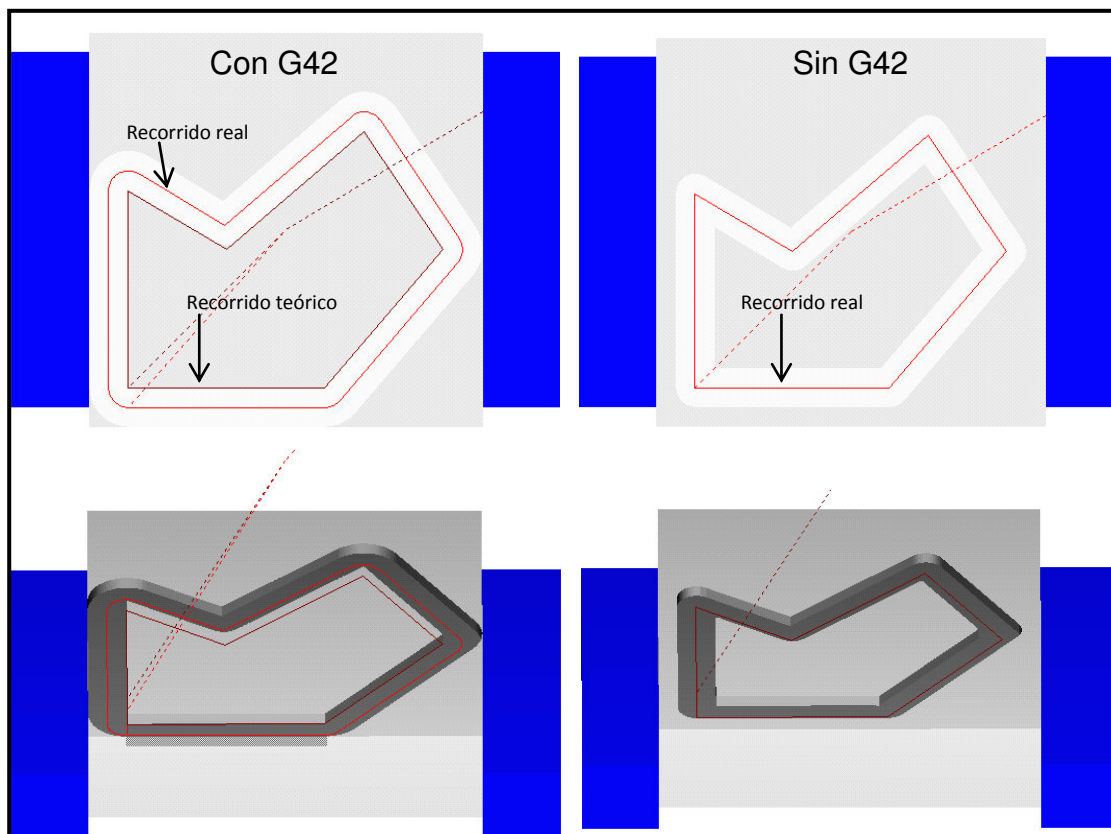
#### **1.4.3.5. Compensación del radio de la herramienta.**

La compensación del radio de la herramienta en el caso del centro de mecanizado, es distinta de la usada en el torno, ya que se toma la distancia existente desde el centro de la herramienta hasta el borde de la misma.

Al momento de que la herramienta va a realizar un trazado, se puede realizar la programación de dos formas, una es tomar las medidas finales y restar el radio de la herramienta para que de esa forma, el borde de la herramienta pase por la distancia final, esto es sin usar la compensación pero hay que tener mucho cuidado por el grado de complejidad que pudiera existir si se realiza un mecanizado muy complejo, ya que el error nos llevaría a obtener unas medidas incorrectas como se puede observar en la Figura 1.28 a la derecha.

La otra opción, que es más fácil de trabajar es colocando el código G41-G42 dependiendo del sentido de dirección que posea el mecanizado y colocar las medidas finales que se desee que la pieza tenga. En la Figura 1.28 se puede apreciar el recorrido que realiza la herramienta, dejando dos trazados, un recorrido real, el cual nos indica por donde pasó el centro de la herramienta y un recorrido teórico que es por donde ha pasado el borde de la herramienta y obteniendo un mecanizado con las dimensiones correctas.

Para anular la compensación se utiliza el código G40 pero manteniendo distancia de seguridad o compensando con medidas para evitar el desplazamiento de la herramienta y evitar una colisión entre la herramienta y el material base



**Figura 1.28 Compensación del radio de la herramienta**  
 Figura elaborada por: Xavier Guarderas S.

#### 1.4.3.6. Ciclos fijos de mecanizado.

Los ciclos fijos, nos ayudan a realizar varias tareas, sin la necesidad de realizar una programación muy extensa o repetitiva para un mismo proceso, los principales ciclos son de taladrado, escariado y mandrinado, con la posibilidad de utilizar varios tipos de herramientas, con la programación de un mismo ciclo. Se recomienda que antes de realizar un taladrado, se realice una pequeña perforación con una broca de centros de unos 3mm de profundidad.

##### 1.4.3.6.1. Ciclo de Taladrado en un punto - G81.

Este ciclo nos permite realizar taladrados rápidos de poca profundidad para no forzar la herramienta. La programación se la realiza de la siguiente manera:

G98 (G99) G81 X...Y...Z...R...F...L....;

Dónde:

G98: Retorno a un punto inicial en ciclo fijo.

G99: Retorno a un punto R en ciclo fijo.

X, Y: Coordenadas para el mecanizado.

Z: Profundidad del mecanizado.

R: Altura de retorno de la herramienta, cambiando la velocidad de avance.

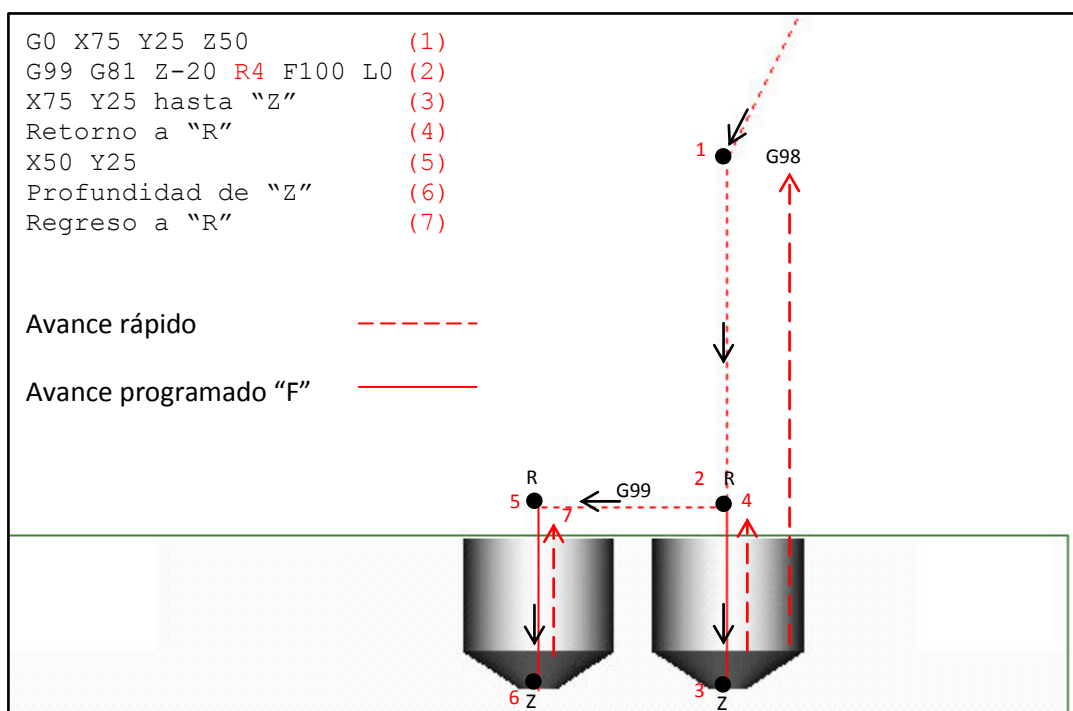
F: Velocidad de avance.

L: Número de repeticiones.

L0: No realiza el ciclo de maquinado en la posición X, Y de esa línea o anteriores.

L1: Repite el ciclo de maquinado en las coordenadas establecidas en esa línea o anterior.

L2 a L9999: Repite el ciclo de maquinado el número de veces que se especifique.



**Figura 1.29 Taladrado en un punto-G81**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas S.

#### 1.4.3.6.2. Ciclo de Contra mandrinado - G82.

Este ciclo nos permite realizar refrendados de pequeñas superficies, con la diferencia de que al fondo del mecanizado se puede realizar una pausa que se programa con "P". La programación se la realiza de la siguiente manera:

G98 (G99) G82 X....Y....Z....R....P....F....L.....;

Dónde:

G98: Retorno a un punto inicial en ciclo fijo.

G99: Retorno a un punto R en ciclo fijo.

X, Y: Coordenadas para el mecanizado.

Z: Profundidad del mecanizado.

R: Altura de retorno de la herramienta, cambiando la velocidad de avance.

P: Periodo de pausa al fondo del agujero, se escribe en milisegundos. 1s=1000ms

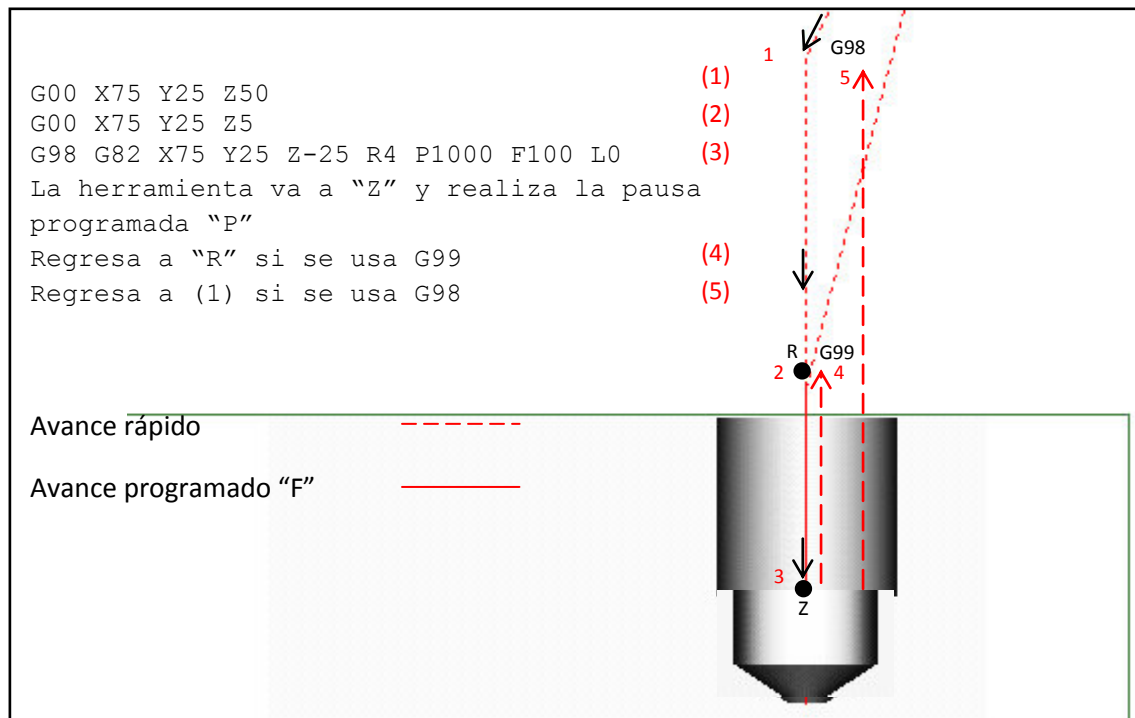
F: Velocidad de avance.

L: Número de repeticiones.

L0: No realiza el ciclo de maquinado en la posición X, Y de esa línea o anteriores.

L1: Repite el ciclo de maquinado en las coordenadas establecidas en esa línea o anterior.

L2 a L9999: Repite el ciclo de maquinado el número de veces que se especifique.



**Figura 1.30 Contra mandrinado – G82**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas S.

#### 1.4.3.6.3. Ciclo de taladrado profundo – G83.

Este ciclo es muy similar al de taladrado en un punto, con la diferencia de que se puede realizar una perforación mayor. El ciclo trabaja con una distancia de recorrido que se programa en la letra “Q” y luego la herramienta retorna a “R” con G99 o al punto de inicio con G98 y repite este ciclo las veces que sean necesarias hasta llegar a la profundidad final “Z”. Ejemplo:

G98 (G99) G83 X....Y....Z....Q....R....F.....;

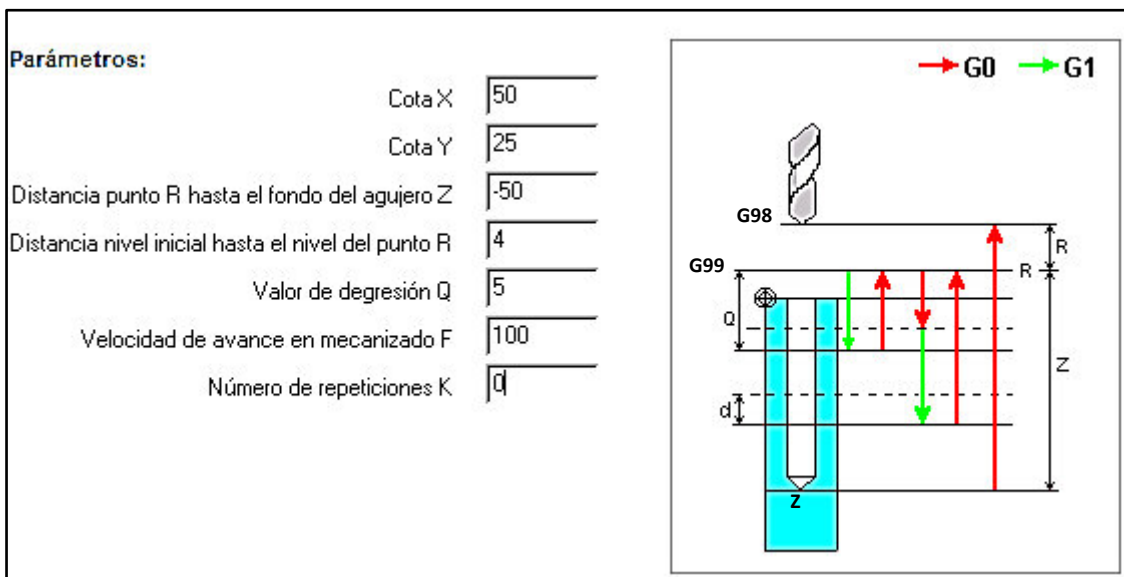


Figura 1.31 Ciclo de taladrado profundo – G83

Figura elaborada por: Xavier Guarderas S.

#### 1.4.3.6.4. Roscado sincrónico (rosca derecha) – G84.

Este ciclo nos permite realizar roscas derechas en una perforación previamente realizada, y posteriormente usar un machuelo para el roscado. Cuando la herramienta ha llegado al fondo del mecanizado, realiza una pausa “P” (se detiene) y luego de la pausa el husillo gira en sentido inverso para extraer la herramienta hasta “R” o al punto de inicio. La programación se la realiza de la siguiente manera:

G98 (G99) G84 X....Y....Z....R....P....F....L.....;

Dónde:

G98: Retorno a un punto inicial en ciclo fijo.

G99: Retorno a un punto R en ciclo fijo.

X, Y: Coordenadas para el mecanizado.

Z: Profundidad del mecanizado.

R: Altura de retorno de la herramienta, cambiando la velocidad de avance.

P: Periodo de pausa al fondo del agujero, se escribe en milisegundos. 1s=1000ms

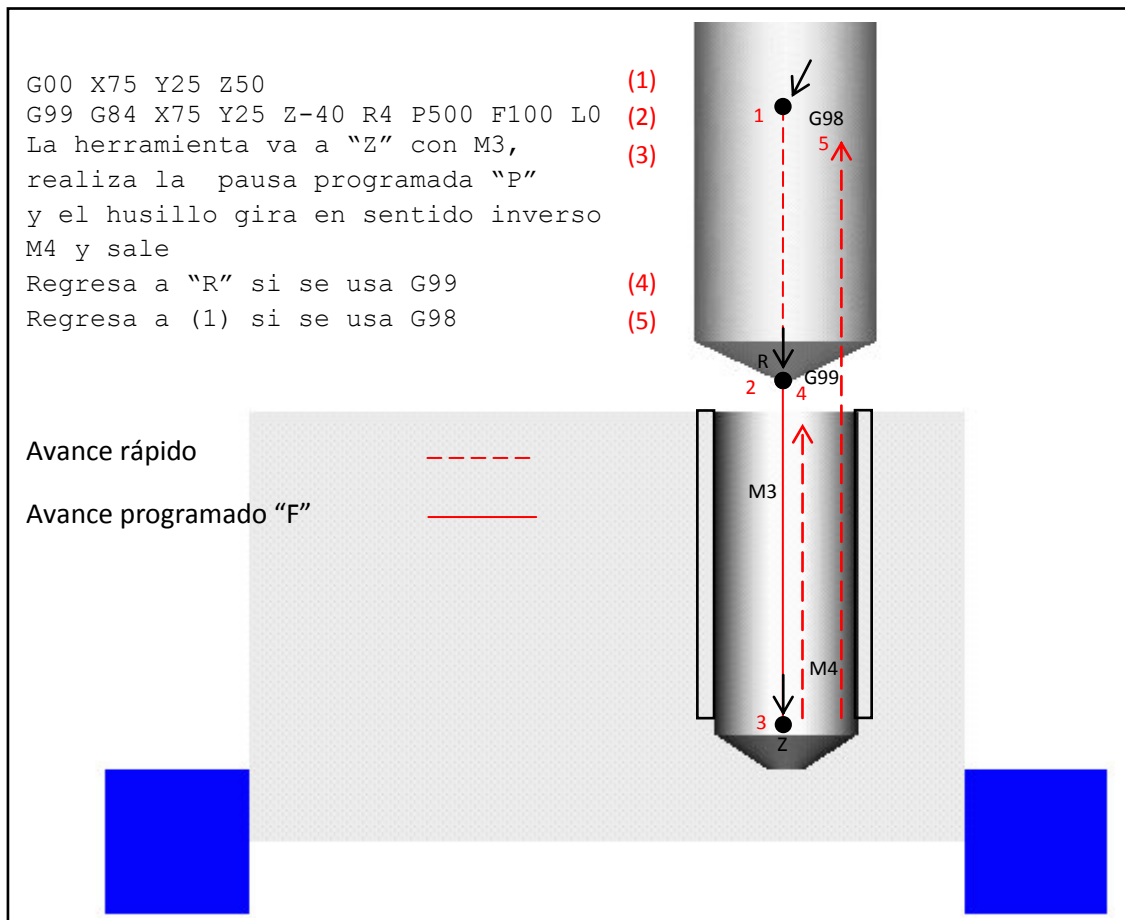
F: Velocidad de avance.

L: Número de repeticiones.

L0: No realiza el ciclo de maquinado en la posición X, Y de esa línea o anteriores.

L1: Repite el ciclo de maquinado en las coordenadas establecidas en esa línea o anterior.

L2 a L9999: Repite el ciclo de maquinado el número de veces que se especifique.



**Figura 1.32 Roscado sincrónico (rosca derecha) – G84**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas S.

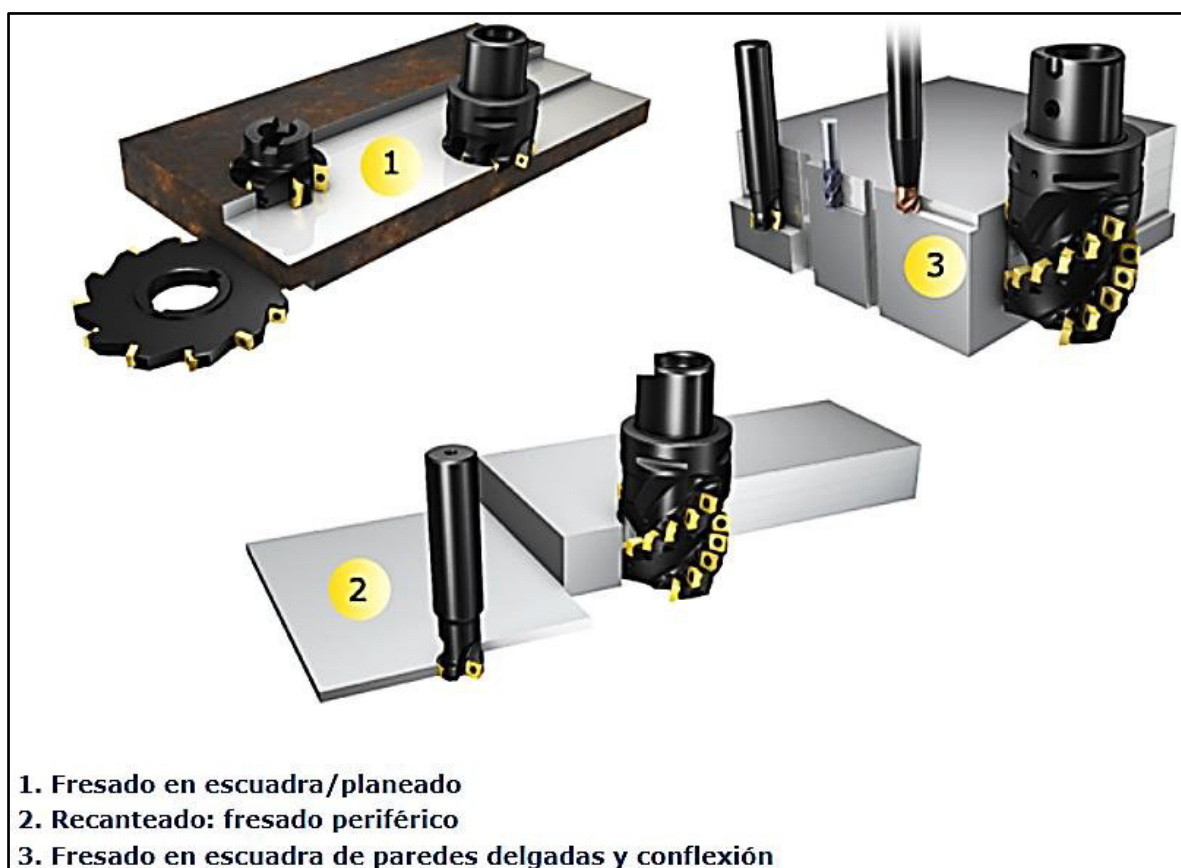
### 1.4.3.7. Tipos de herramientas.

Las herramientas usadas en un centro de mecanizado son muy diversas pero las principales son fresas; existen varios tipos de fresas como cilíndricas, de radio, cilíndricas de radio, esféricas, cuarto de círculo o chaflán redondeado, chaflán, de disco y otras poseen formas propias para mecanizados con formas más complejas, aparte de las fresas, se utilizan brocas de centro, brocas y machuelos. Todas las herramientas se las puede encontrar en varias medidas y para trabajar sobre distintos materiales.

#### 1.4.3.7.1. Herramientas externas.

Las herramientas externas se clasifican en:

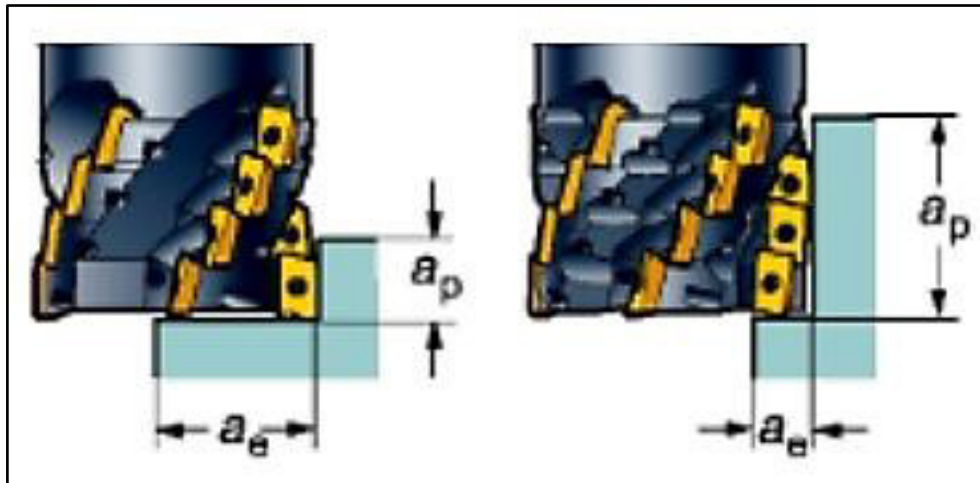
1. Fresado.



**Figura 1.33 Tipos de fresado en escuadra**

Fuente: Sandvik Coromant

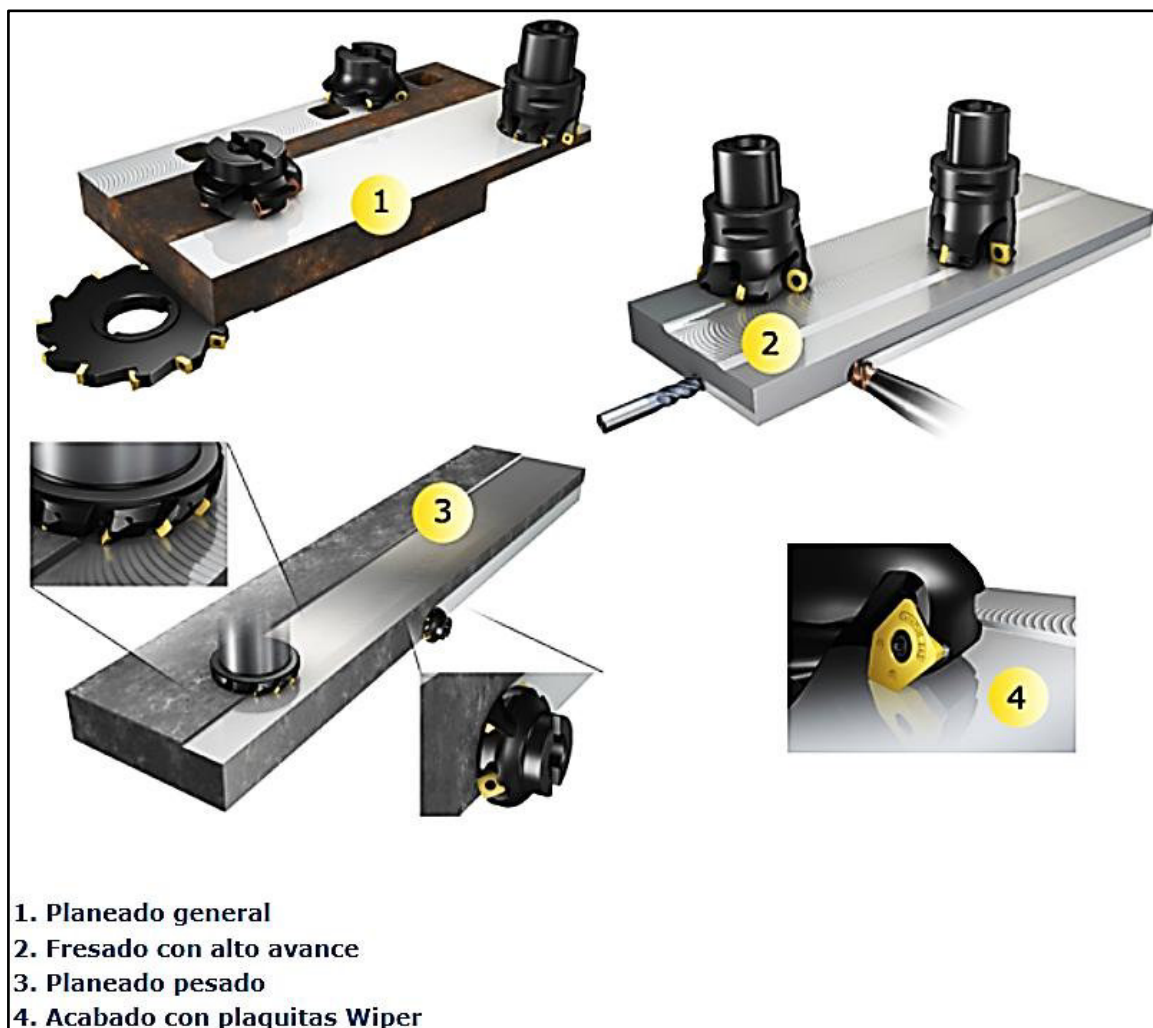




**Figura 1.34 Fresado de escuadras más profundas**

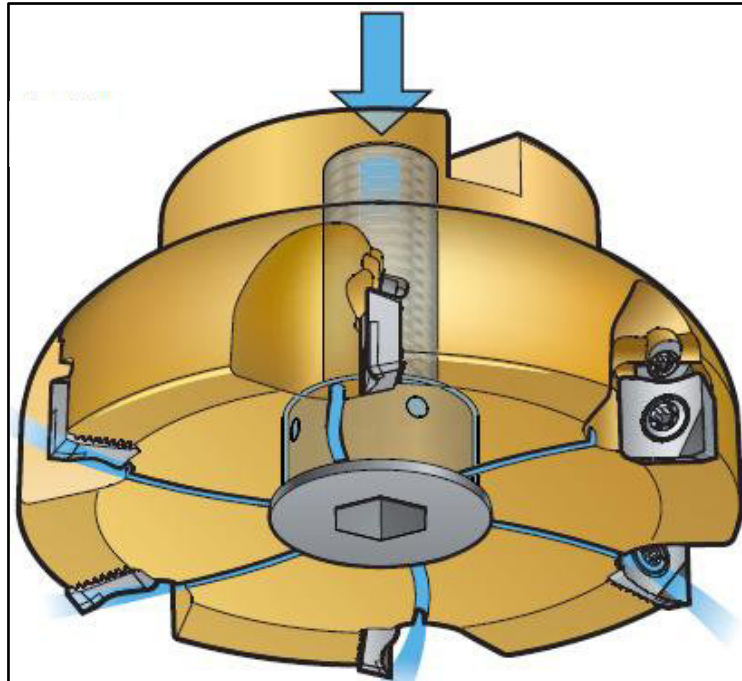
Fuente: Sandvik Coromant

2. Planeado



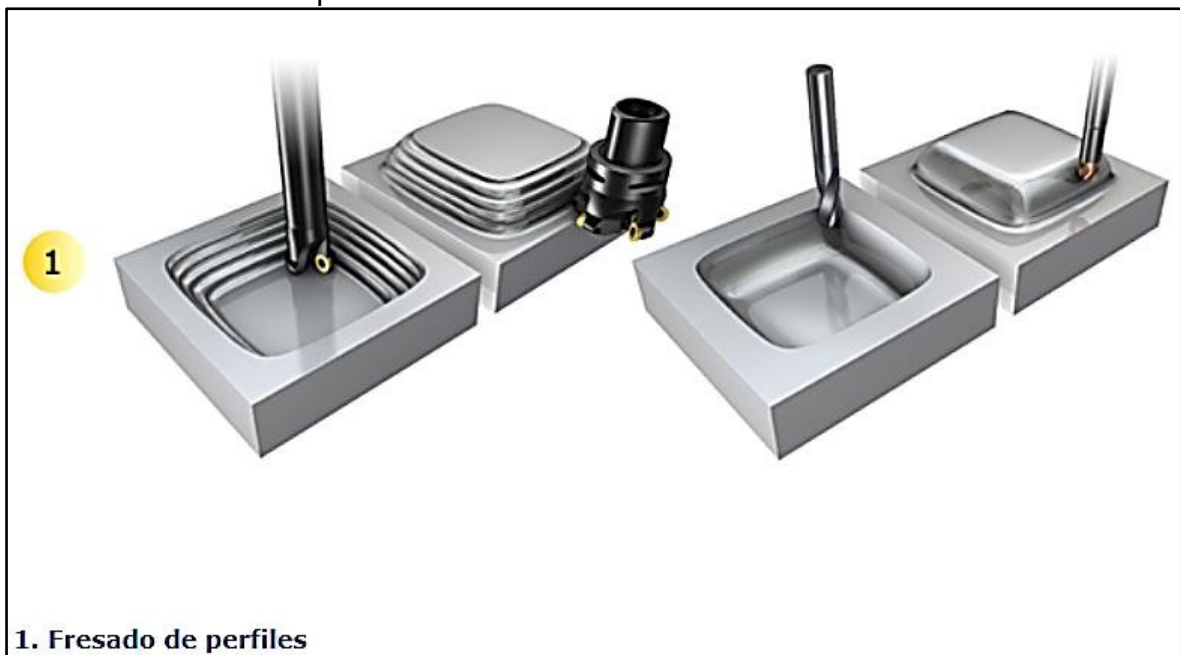
**Figura 1.35 Tipos de fresado planeado**

Fuente: Sandvik Coromant



**Figura 1.36 Fresa de planear para metales no féreos**  
 Fuente: (Sandvik, 2012, p. D5)

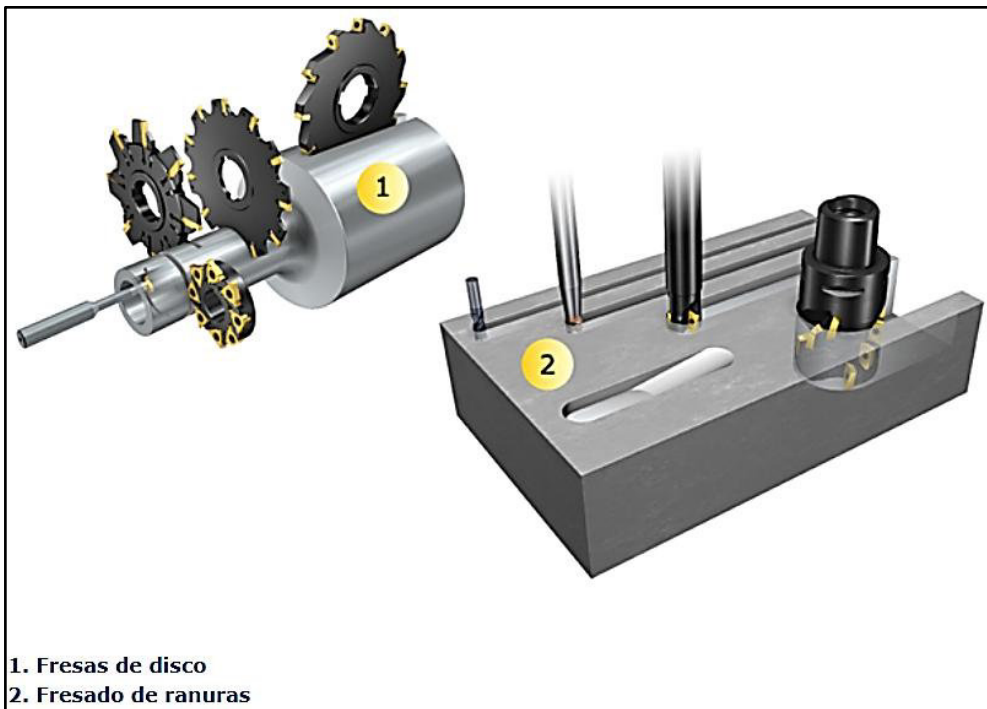
### 3. Fresado de perfiles



**1. Fresado de perfiles**

**Figura 1.37 Fresado de perfiles**  
 Fuente: Sandvik Coromant

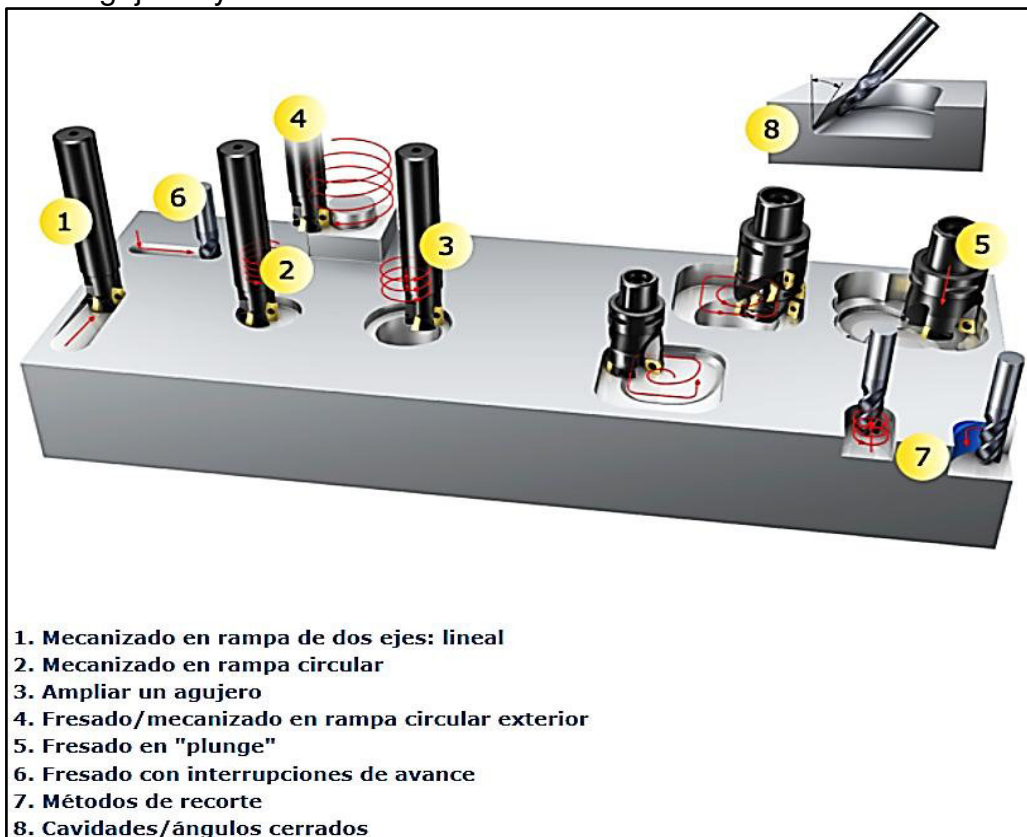
#### 4. Fresado de ranuras



**Figura 1.38 Fresado de ranuras**

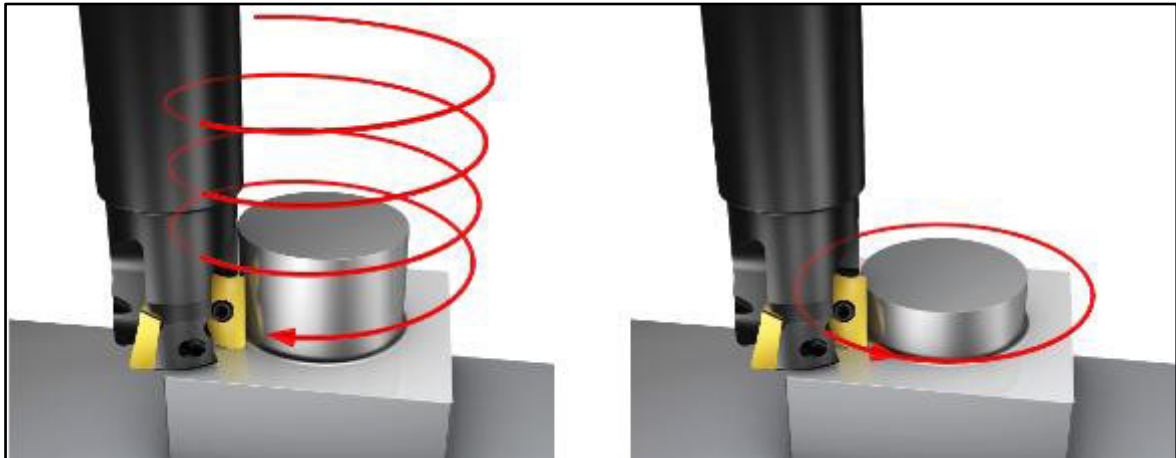
Fuente: Sandvik Coromant

#### 5. Agujeros y cavidades



**Figura 1.39 Mecanizado de agujeros y cavidades**

Fuente: Sandvik Coromant



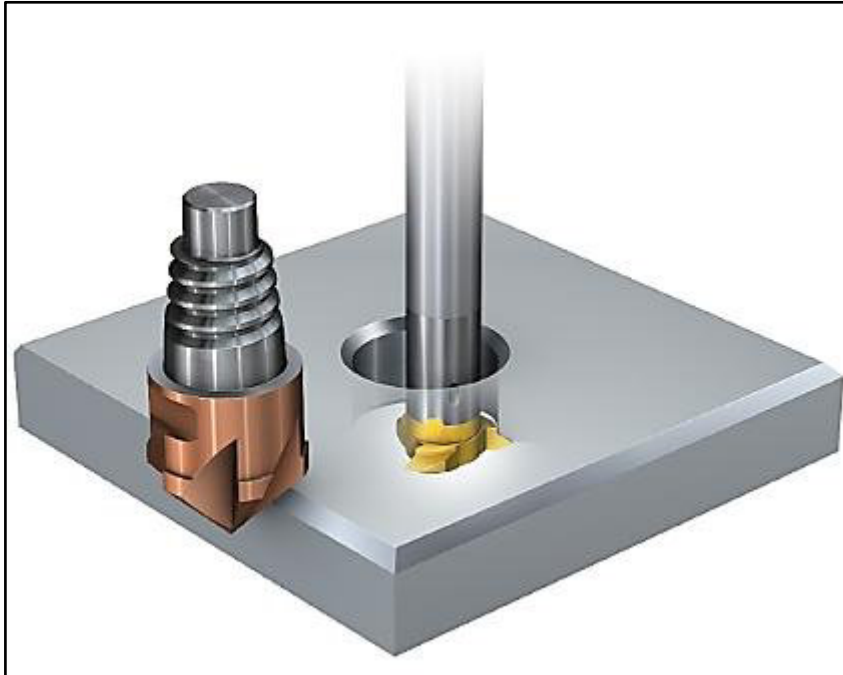
**Figura 1.40 Fresado/mecanizado en rampa circular exterior**  
Fuente: Sandvik Coromant

## 6. Tallado de engranajes



**Figura 1.41 Tallado de engranajes**  
Fuente: Sandvik Coromant

## 7. Achaflanado y redondeado



**Figura 1.42 Achaflanado**  
Fuente: Sandvik Coromant



**Figura 1.43 Fresas intercambiables de redondeo y chaflán**  
Fuente: (Sandvik, 2012, p. D9)



## 8. Taladrado



**Figura 1.44 Brocas integrales de metal duro**

Fuente: (Sandvik, 2012, p. E9)

## 9. Roscado



**Figura 1.45 Machos de roscado**

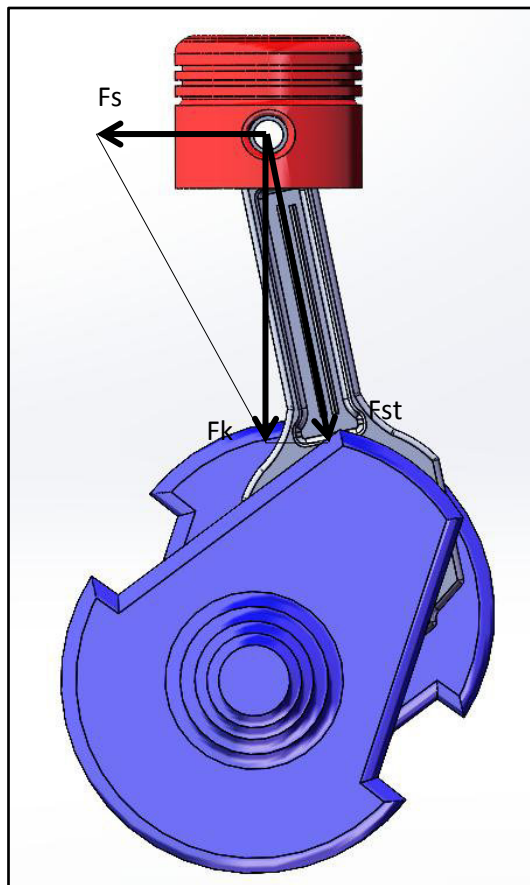
Fuente: (Sandvik, 2013, p. 1)

## CAPÍTULO II

### DISEÑO DE PISTONES

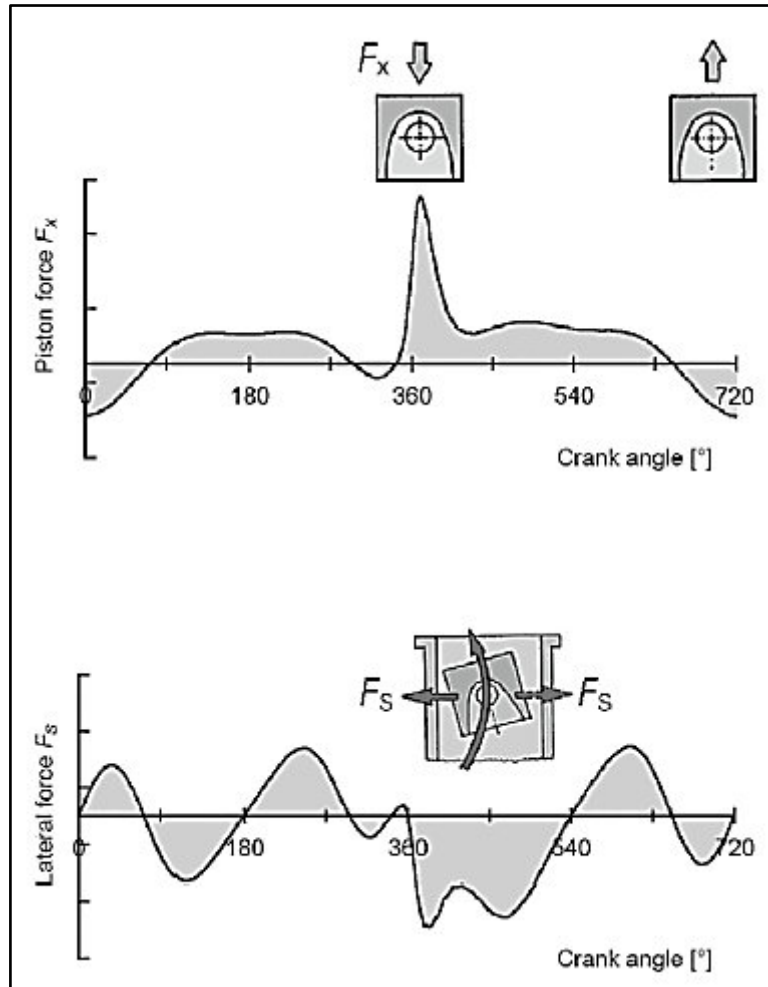
#### 2.1 Pistones

Los pistones son elementos que se encuentran dentro del motor de combustión interna, los cuales, son los encargados de transmitir la fuerza de la expansión de los gases al ser combustiónados hacia la biela y posteriormente al cigüeñal (Figura 2.1).



**Figura 2.1 Fuerzas del pistón**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas

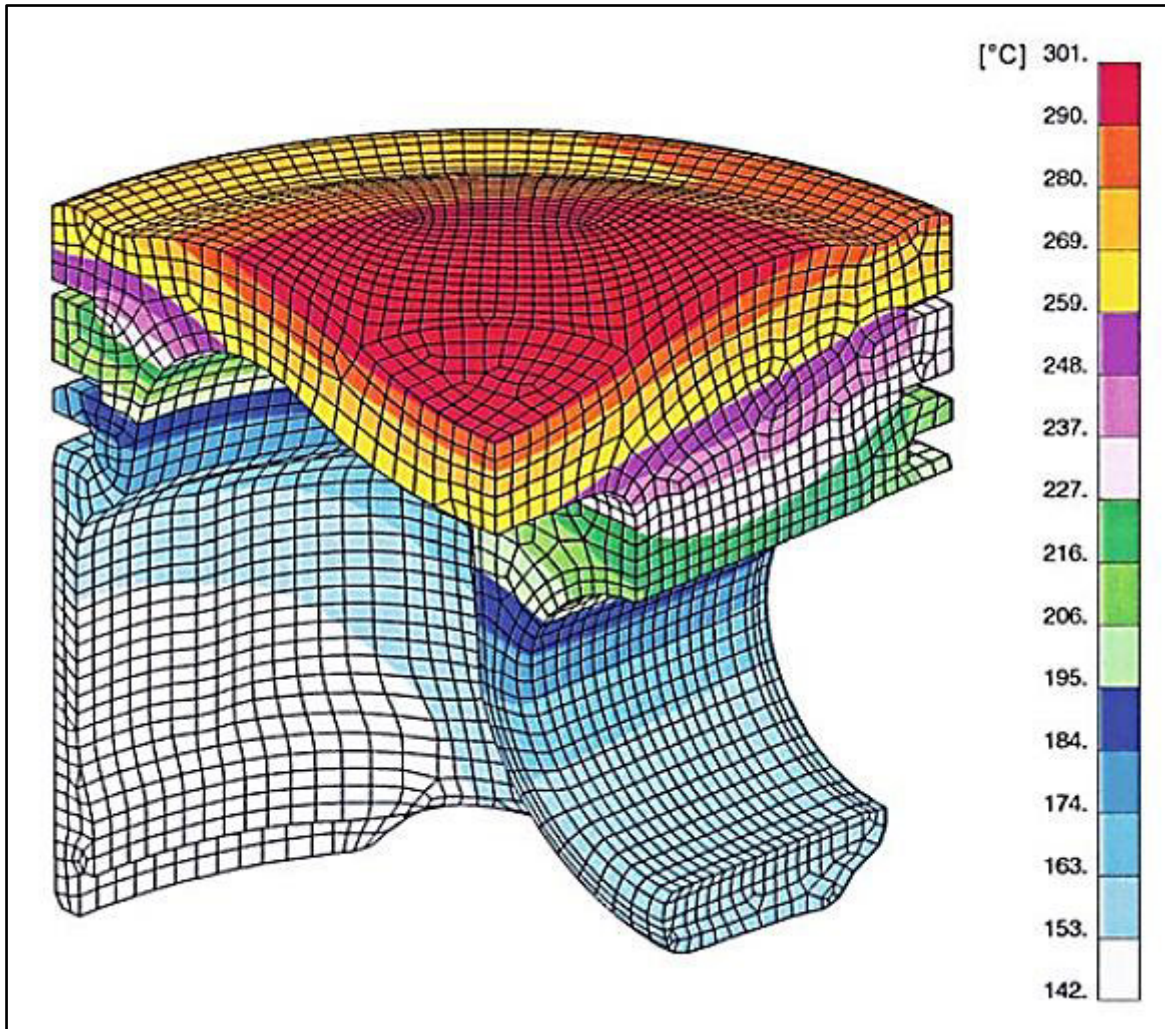
La presión de gas contra la corona del pistón y las fuerzas de inercia oscilantes, que se refiere en lo siguiente como la fuerza de inercia, del pistón y la biela constituyen la fuerza  $F_k$  del pistón; (Figura 2.1.) Debido a la redirección de la fuerza del pistón en la dirección de la biela (Fuerza de la biela  $F_{st}$ ), un componente adicional surge-siguiendo la fuerza del paralelogramo, llamada la fuerza lateral  $F_s$ , también conocida como la fuerza normal. Esta fuerza presiona la falda del pistón contra el cilindro. Durante un ciclo de combustión, la fuerza lateral cambia de dirección varias veces, la cual presiona el pistón de un lado del cilindro hacia el otro lado, debido a la distancia existente entre el pistón y el cilindro. La figura 2.2 muestra la fuerza de pistón y las curvas de las fuerzas laterales como una función del ángulo del cigüeñal. (Traducido por: Xavier Guarderas) (Pistons and engine testing, MAHLE GmbH (Ed.), 2012, pp. 1-2.)



**Figura 2.2 Curvas de fuerza**  
 Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p. 2)

Los pistones deben de ser muy resistentes a las temperaturas que se producen durante su trabajo (Figura 2.3), así mismo deben ser capaces de resistir las fuerzas producidas por los gases, esfuerzos de tracción, compresión, fuerzas laterales y de deformación por la temperatura a la que trabajan.



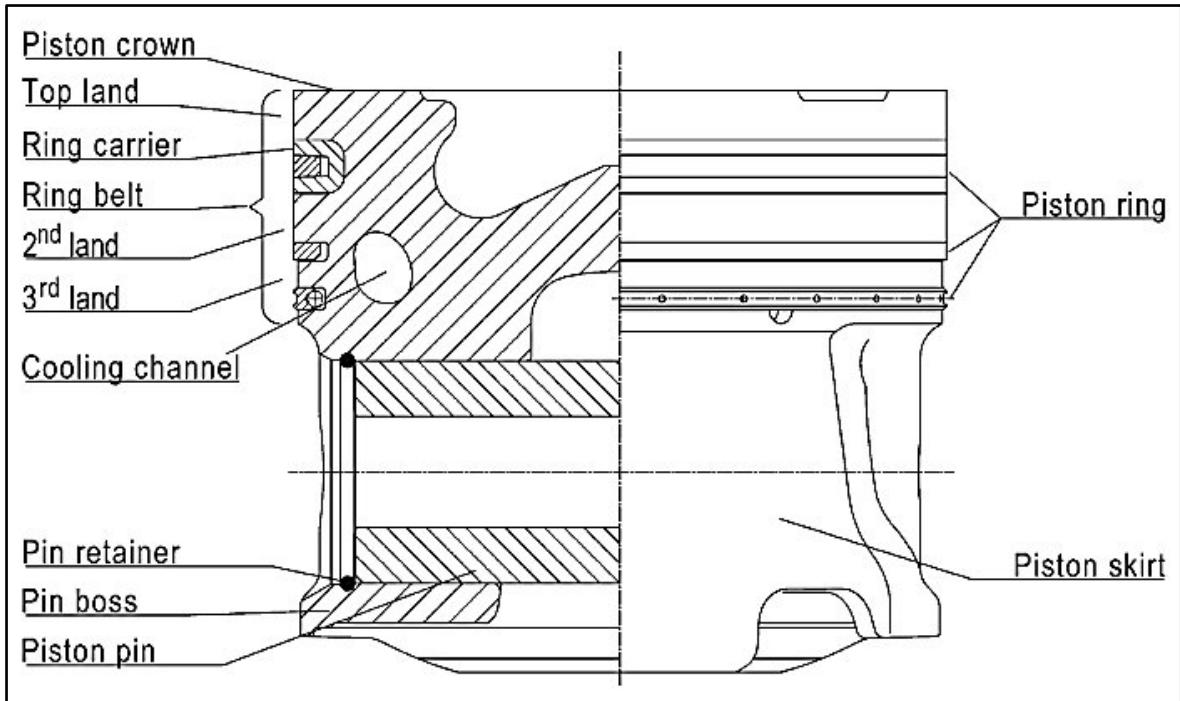


**Figura 2.3 Distribución de la temperatura en pistones de gasolina**

Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p. 6)

Los pistones poseen por lo general dos rines de compresión y uno o dos rascadores de aceite, los cuales van al costado del pistón. (Figura 2.4)

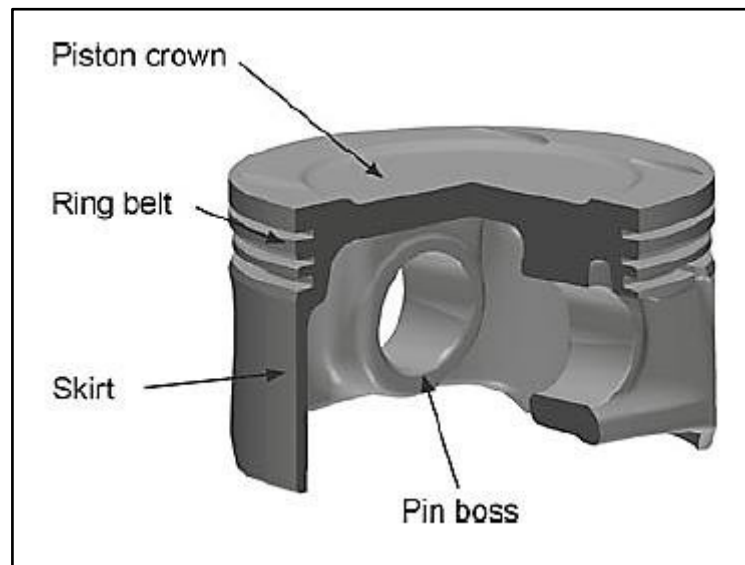
Los rines de compresión deben garantizar un selle hermético contra las paredes del cilindro para evitar el paso de los gases combustionados hacia el cárter, además de ayudar a la disipación del calor hacia las paredes del cilindro y los rines rascadores de aceite permiten que en las paredes del cilindro se quede una cantidad mínima (adecuada) de aceite para la lubricación del conjunto pistón, rines y cilindro.



**Figura 2.4 Terminología importante del pistón**

Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p. 25)

El pistón posee una perforación lateral, la cual aloja al pasador que une el pistón con la biela. (Figura 2.5)



**Figura 2.5 Partes del pistón**

Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p. 1)

### 2.1.1 Tipos de pistones.

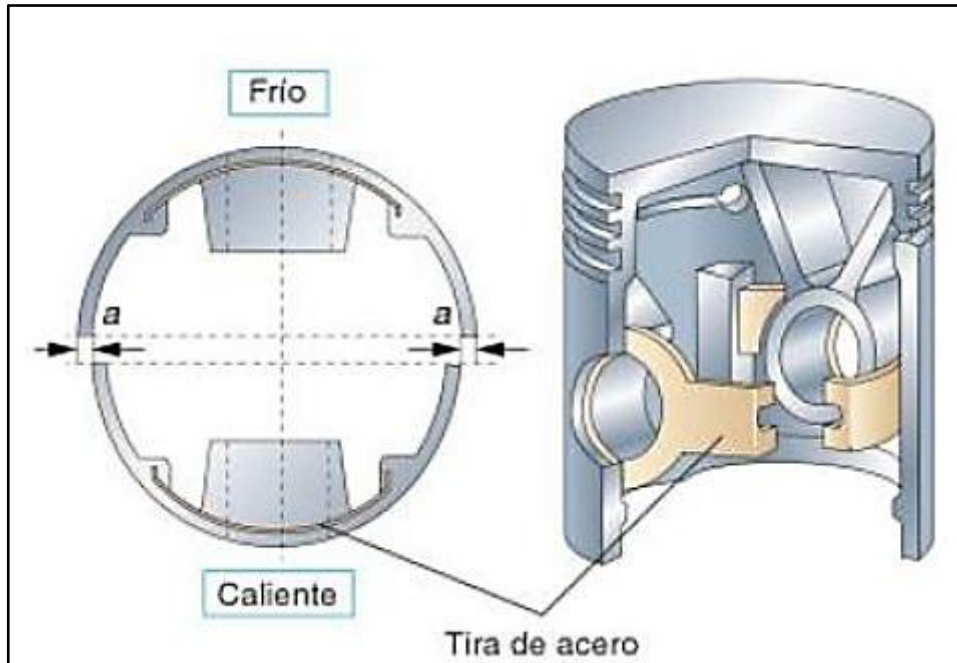
Los pistones pueden clasificarse de acuerdo al tipo de combustible que usan (gasolina o diésel), motores de dos o cuatro tiempos, atmosféricos o sobrealimentados. Ya que cada motor posee características distintas, así mismo existen variaciones en los pistones como es en su material, diseño, peso y construcción.

A continuación se explican varios tipos de pistones usados en motores especialmente de gasolina de cuatro tiempos.

- **Pistones Fundidos:** Son utilizados en motores que no posean un alto grado de compresión y son por lo general los que vienen de fábrica en la mayoría de motores. Este tipo de pistones son más pesados que los forjados ya que en su fabricación no son sometidos a presión y sus moléculas se encuentran más dispersas.
- **Pistones Forjados:** Mayormente utilizados en vehículos turbo cargados, motores diésel, motores de competición y en motores preparados con una alta relación de compresión. Este tipo de pistones son capaces de resistir mayores presiones y temperaturas que se producen en la cámara de combustión. La fabricación de estos pistones es más especial, con lo cual a su diseño le permite poseer paredes más delgadas, lo que conlleva a menor peso y mayores revoluciones.

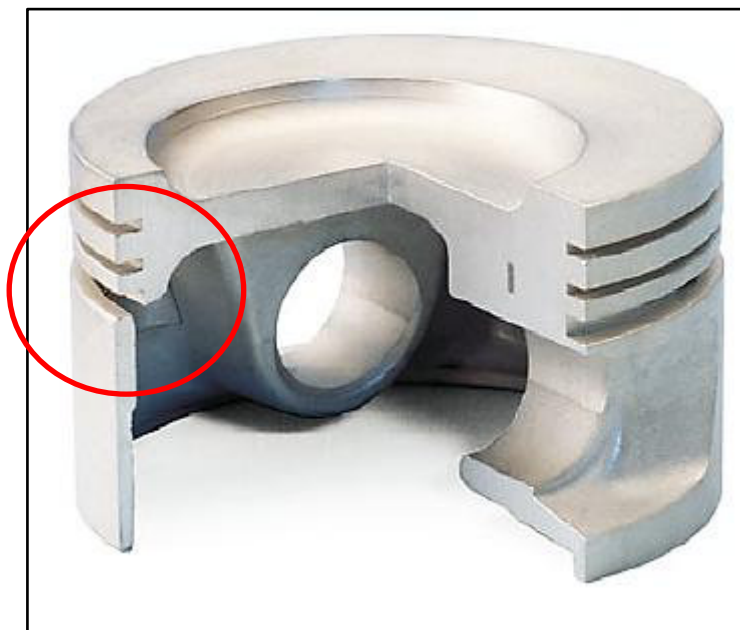
Dentro de la clasificación de los pistones, existen los que tienen la capacidad de controlar la expansión (dilatación) de los mismos, debido a las temperaturas del motor. A continuación se verán los pistones que poseen esta tecnología.

1. **Pistón auto térmico:** Este tipo de pistones poseen una lámina de acero no aleado, la cual se encuentra entre la pared de la falda del pistón y la ranura del alojamiento del bulón. (Figura 2.6.) Esta lámina, al momento en que aumenta la temperatura del pistón, toma una curvatura distinta, la cual le obliga al pistón a dilatarse en la dirección en que se encuentra el bulón, de esa forma el punto de rozamiento del pistón no tiende a dilatarse.



**Figura 2.6. Efecto bimetal en un pistón auto térmico**  
 Fuente: (Santiago, 2007, p. 230)

El pistón además posee una ranura que se encuentra perpendicularmente al bulón, a la altura de la ranura del rascador de aceite como se la puede observar en la Figura 2.7, para evitar la transferencia de calor hacia la falda del pistón, la cual se encuentra en rozamiento con la pared del cilindro.



**Figura 2.7. Pistón auto térmico**  
 Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p. 11)

2. Pistón auto térmico: Este tipo de pistón, posee la misma lámina de acero no aleado que posee el pistón auto térmico, con la diferencia que no posee la ranura lateral a la altura del rascador de aceite. Este pistón combina la dureza de un pistón sin ranura, con la cualidad de poseer la lámina auto reguladora térmica. (Figura 2.8.)



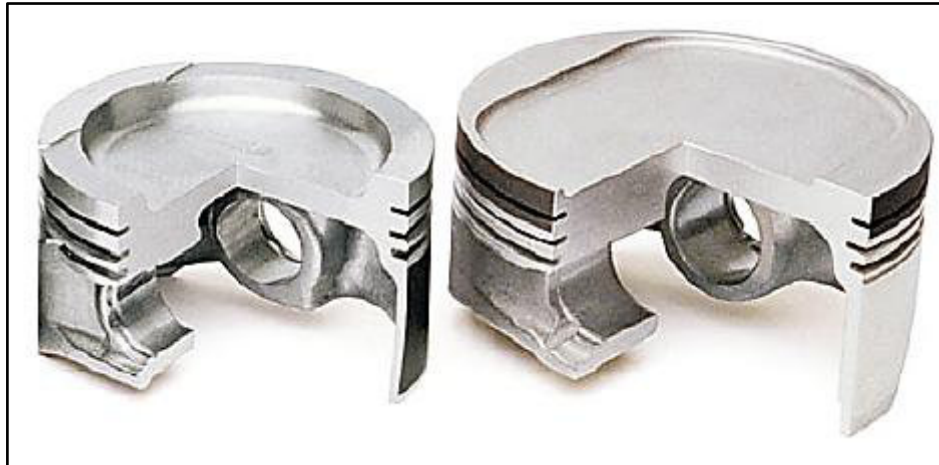
**Figura 2.8. Pistón auto térmico**  
Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p. 11)

3. Pistón Compensador: Este pistón no es cilíndrico, es un poco ovalado. El diámetro menor del ovalo lo presenta en el costado del bulón, cuando el pistón está caliente, este se dilata en el sentido del bulón y adquiere una forma cilíndrica.

Ya que la tecnología de los materiales ha ido avanzando, al igual que los procesos de diseño y fabricación, se ha logrado diseñar pistones cada vez más livianos y resistentes como son los pistones tipo caja.

Este tipo de pistones fueron diseñados para utilizarse en motores de gasolina, los cuales posean bloques de cilindros ya sean de aluminio o de hierro fundido. Los pistones poseen como su nombre lo dice una forma de caja en la parte de la falda (Figura 2.9.), menor peso y la cualidad de ser ovalados para la dilatación térmica.

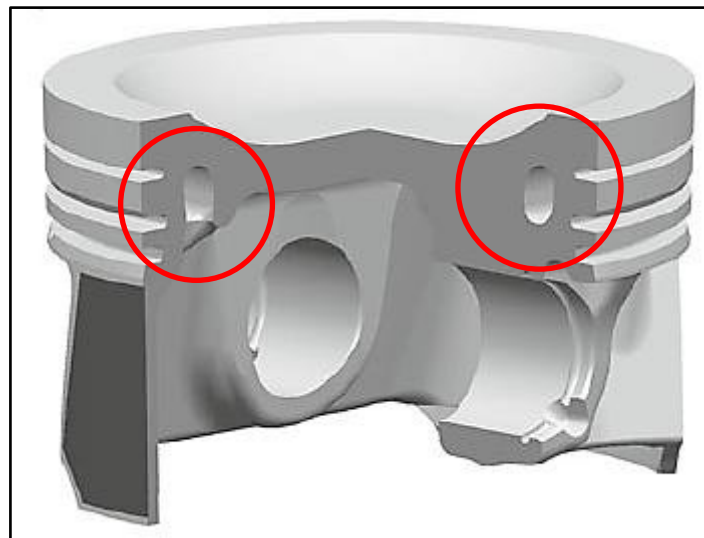




**Figura 2.9. Pistones asimétricos tipo caja**

Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p. 12)

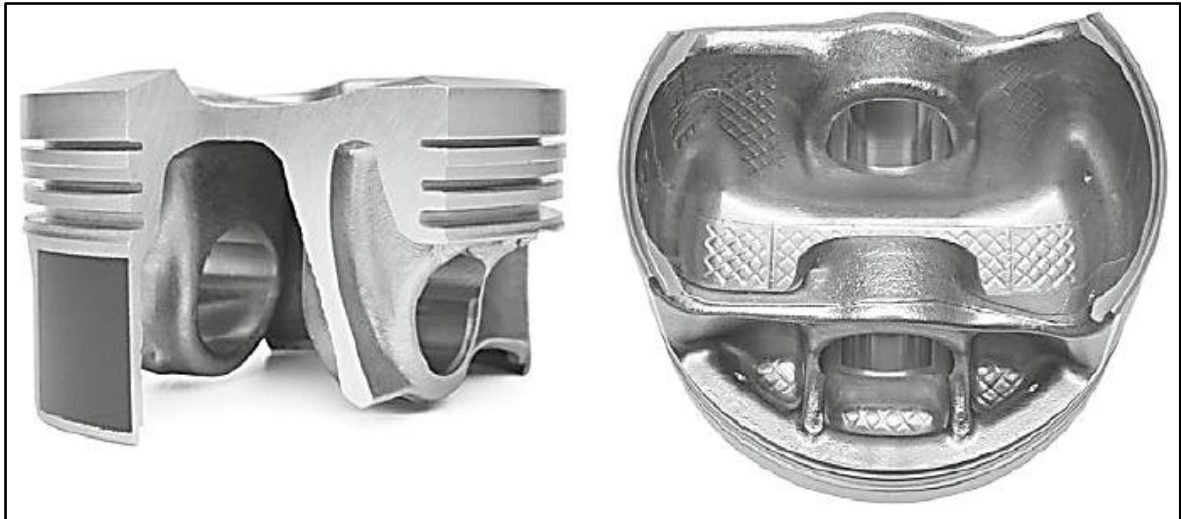
Según MAHLE, “Los pistones tipo caja para motores con una alta potencia específica de salida (mayor a 100kW/l) deben tener un canal de enfriamiento”. (Figura 2.10.)



**Figura 2.10. Pistón con canal de enfriamiento para motores a gasolina**

Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p. 12)

Por lo general, los pistones tipo caja poseen sus paredes laterales rectas, pero, Mahle ha desarrollado unos pistones con paredes que se estrechan en su parte superior, como es el modelo EVOTEC® el cual posee soportes trapezoidales. (Figura 2.11.)



**Figura 2.11. Pistón EVOTEC®**  
Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p. 13)

Una última variante de los pistones tipo caja son los forjados en aluminio, los cuales presentan el diseño tipo caja con las ventajas de ser forjados. (Figura 2.12.)



**Figura 2.12. Pistón forjado de aluminio**  
Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p. 13)

### 2.1.2 Tipos de fabricación de pistones.

Para la fabricación de pistones, se utiliza principalmente una aleación de aluminio-silicio, la cual pertenece al grupo IV de las aleaciones del aluminio.

Para motores Otto se utiliza una aleación de aluminio-silicio, con un contenido de silicio del 12%, se añaden además pequeñas cantidades de cobre y níquel.

Este material es muy ligero y altamente resistente. Se obtiene por fundición en coquilla y después se somete a un tratamiento de templado para mejorar sus cualidades de dureza y resistencia al desgaste.

Para motores con altas sollicitaciones y Diésel sobrealimentados, los pistones se fabrican mediante forja o estampación, con altos contenidos de silicio, hasta un 25%

El aumento en el porcentaje de silicio aleado con el aluminio aumenta su resistencia al desgaste y disminuye la dilatación térmica, pero empeora sus características de mecanizado, por lo que su fabricación es más costosa.

Los pistones nuevos reciben un tratamiento superficial para mejorar sus características de deslizamiento, con la finalidad de acortar el rodaje o periodo de adaptación entre el pistón y el cilindro.

Este tratamiento consiste en depositar sobre el aluminio una fina capa de estaño o plomo mediante el sistema de inmersión. También se emplea polvo de grafito que proporciona protección superficial y buenas cualidades deslizantes. (Sanz, 2007, pp. 229-230).

- Por fundición: Estos pistones son por lo general de una aleación de aluminio, la aleación viene en lingotes, las cuales son derretidas hasta convertirlas en estado líquido, la aleación de aluminio que se utiliza es la A332.0, es una aleación de aluminio-silicio pero para fundición. Se procede a colocar la colada de fundición en moldes de arena y se los deja enfriar, con este proceso se obtiene una forma similar o casi igual al diseño pero con la diferencia que posee en ciertas partes críticas del diseño un excedente de material o porosidad.

Para retirar estas imperfecciones se procede a mecanizarlas en máquinas CNC (Control Numérico Computarizado), las cuales dejan a los pistones con su diseño ideal. Luego de realizar este trabajo de mecanizado, se puede dar un tratamiento térmico a los pistones para que posean mayor resistencia y adicionalmente algunos fabricantes agregan una capa protectora de grafito en la sección de la falda del pistón, para de esta manera ayudar al desplazamiento del pistón dentro del cilindro.



- Por forja (Estampado en caliente): El proceso de forjado, se lo realiza con la aleación de aluminio-silicio 4032, la cual los fabricantes la adquieren en barras sólidas para proceder a cortarlas y realizar el trabajo de forja y su respectivo mecanizado. El proceso de forja consiste en agregar una presión de 200 Ton. en adelante en una prensa a una pieza sólida, la cual ha sido previamente calentada, a la misma temperatura que el molde. Este aumento de presión hace que las partículas del metal se unan más entre ellas, evitando dejar espacios intermoleculares, logrando una mayor compactación del metal. Gracias a este proceso y luego a su respectivo enfriamiento y tratamiento térmico se obtienen pistones que son más livianos, más robustos y con mejores cualidades para motores de altas prestaciones.

Luego de este proceso se utilizan maquinas CNC (Control Numérico Computarizado) para retirar excesos de material y darle sus respectivas perforaciones hasta obtener el acabado final.

### **2.1.3 Materiales.**

Los materiales usados en la fabricación de pistones son mayormente aleaciones de aluminio, aunque, no se debe descartar el uso de acero en pistones diésel o una mezcla de ambos materiales en el mismo pistón, pero en distintas secciones del mismo, en este estudio se hablarán solo de las aleaciones de aluminio.

Las aleaciones de aluminio están diseñadas para que alcancen propiedades óptimas para usos específicos. Algunas se producen principalmente como lámina, placa, barras o alambre. El aluminio en forma forjada utiliza una designación de cuatro dígitos para definir las diversas aleaciones disponibles. El primer dígito indica el grupo de aleación de acuerdo al elemento de aleación principal. El segundo dígito denota una modificación de la aleación básica. Los dos últimos dígitos identifican una aleación específica dentro del grupo. (Mott, 2009, p. 78).

En la tabla 2.1 se especifican con más detalle las aleaciones que se hacen con aluminio y en la tabla 2.2 se pueden apreciar las propiedades típicas de casi todas sus series.

**Tabla 2.1: Aleaciones del aluminio.**

<b>ALEACIONES DEL ALUMINIO</b>				
<b>SERIE</b>	<b>ALEANTE PRINCIPAL</b>	<b>TERMICAMENTE TRATABLE</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>USOS</b>
1xxx	99.0% Al o más	No	Excelente resistencia a la corrosión, manejabilidad y conductividad térmica y eléctrica. Bajas propiedades mecánicas.	Campo químico y eléctrico, molduras automotrices (aleación 1100) y para tubos de condensador troquelados y aletas de intercambiador de calor (aleación 1200)
2xxx	Cobre	Si	Altas propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión más baja que la mayoría de las aleaciones	Revestimientos estructurales de aviones, paneles de carrocería automotriz, partes de máquinas de fabricar tornillos, sujetadores y cascos de asientos.
3xxx	Manganeso	No, pero se puede obtener mediante trabajo en frío.	Buena resistencia a la corrosión y manejabilidad	Equipo químico, utensilios de cocina, revestimientos residenciales, tanques de almacenamiento, radiadores, núcleos de calentadores, molduras y tubos de condensador.
4xxx	Silicio	Generalmente no.	Bajo punto de fusión	Alambre para soldar y aleación para soldadura de latón, utilizada en pistones. (aleación 4032)
5xxx	Magnesio	No, resistencia moderada mediante trabajo en frío.	Buena resistencia a la corrosión y soldabilidad	Servicio marino, recipientes sujetos a presión, molduras automotrices, herrajes para el constructor, estructuras soldadas, torres de TV, malacates de perforación, defensas de camión, escudos térmicos, ruedas y varios soportes en motores.

6xxx	Silicio y Magnesio	Si	Buena resistencia a la corrosión, formabilidad y soldabilidad	Estructuras de servicio pesado, tubos, muebles, extrusiones arquitectónicas, piezas maquinadas, partes de la suspensión, partes de ensamble de defensas, flechas de transmisión, cilindros y pistones de freno. La aleación 6061 es una de las más versátiles disponibles.
7xxx	Zinc	Si	Escasa resistencia a la corrosión y soldabilidad	Miembros estructurales de aviones, correderas de asientos, refuerzos de defensas, barras de soporte de cabeceras y aletas de condensador. La aleación 7075 se encuentra entre las de más alta resistencia disponible.

Fuente: (Mott, 2009, pp. 78-79) y (Kalpakjian & Schmid, 2002, p.159)  
 Tabla elaborada por: Xavier Guarderas S.

### 2.1.3.1 Tipos de materiales de los pistones.

La aleación que se utiliza comúnmente es la 4032, la cual es una aleación perteneciente a la serie 4 de la tabla 2.1, y que su principal aleante es el silicio. Adicionalmente esta aleación posee en pocas cantidades otros metales como cobre, níquel, cromo, hierro, magnesio, zinc. Existen otras aleaciones que se utilizan también en pistones, las cuales se encuentran en las tablas 2.3 y 2.4.

**Tabla 2.2:** Propiedades típicas de aleaciones de aluminio.

Aleación y temple	Resistencia máxima, S <sub>□</sub>		Resistencia a la cadencia, S <sub>y</sub>		Porcentaje de alargamiento	Resistencia al corte, S <sub>us</sub>	
	ksi	Mpa	ksi	Mpa		ksi	Mpa
1100-H12	16	110	15	103	25	10	69
1100-H18	24	165	22	152	15	13	90
2014-0	27	186	14	97	18	18	124
2014-T4	62	427	42	290	20	38	262
2014-T6	70	483	60	414	13	42	290
3003-0	16	110	6	41	40	11	76
3003-H12	19	131	18	124	20	12	83
3003-H18	29	200	27	186	10	16	110
5154-0	35	241	17	117	27	22	152
5154-H32	39	269	30	207	15	22	152
5154-H38	48	331	39	269	10	28	193
6061-0	18	124	8	55	30	12	83
6061-T4	35	241	21	145	25	24	165
6061-T6	45	310	40	276	17	30	207
7075-0	33	228	15	103	16	22	152
7075-T6	83	572	73	503	11	48	331
Aleaciones de fundición (fundiciones en molde permanente)							
204.0-T4	48	331	29	200	8	X	X
206.0-T6	65	445	59	405	6	X	X
356.0-T6	41	283	30	207	10	X	X
El módulo de elasticidad E de la mayoría de las aleaciones de aluminio, entre ellas las 1100, 3003, 6061 y 6063 es 10 X 10 <sup>6</sup> lb/in <sup>2</sup> (69.0 GPa). Para la 2014, E = 10.6 X 10 <sup>6</sup> psi (73.1 GPa). Para la 5154, E = 10.2 X 10 <sup>6</sup> lb/in <sup>2</sup> (70.3 GPa). Para la 7075 E = 10.4 X 10 <sup>6</sup> lb/in <sup>2</sup> (71.7 GPa). La densidad de la mayoría de las aleaciones de aluminio es aproximadamente de 0.10 lbm/in <sup>3</sup> (2770 kg/m <sup>3</sup> )							

Fuente: (Mott, 2009, p718)

**Tabla 2.3:** Aleaciones para pistones

Aleación	Resistencia a la tracción N/mm <sup>2</sup>	Composición en %	Propiedades
AlSi 12 CuNi	200 - 370	12 Si; 1 Cu; 1 Ni; 1 Mg; resto Al	Para fundición en coquilla y pistones moldeados, dilatación térmica $\alpha=0,000021$ 1/K.
AlSi 18 CuNi	180 - 300	18 Si; 1 Cu; 1 Ni; 1 Mg; resto Al	Aleación para pistones con dilatación térmica muy baja $\alpha=0,000019$ 1/K.
AlSi 25 CuNi	140 - 200	25 Si; 1 Cu; 1 Ni; 1 Mg; resto Al	Dilatación térmica especialmente baja $\alpha=0,0000175$ 1/K.

Fuente: (Hamm & Burk, 1986, p. 168.)

**Tabla 2.4:** Composición química de aleaciones de aluminio para pistones MAHLE (porcentaje por peso).

	<b>M124</b>	<b>M126</b>	<b>M138</b>	<b>M244</b>
	<b>AlSi12CuMgNi</b>	<b>AlSi16CuMgNi</b>	<b>AlSi18CuMgNi</b>	<b>AlSi25CuMgNi</b>
Si	11.0–13.0	14.8–18.0	17.0–19.0	23.0–26.0
Cu	0.8–1.5	0.8–1.5	0.8–1.5	0.8–1.5
Mg	0.8–1.3	0.8–1.3	0.8–1.3	0.8–1.3
Ni	0.8–1.3	0.8–1.3	0.8–1.3	0.8–1.3
Fe	max. 0.7	max. 0.7	max. 0.7	max. 0.7
Mn	max. 0.3	max. 0.2	max. 0.2	max. 0.2
Ti	max. 0.2	max. 0.2	max. 0.2	max. 0.2
Zn	max. 0.3	max. 0.3	max. 0.3	max. 0.2
Cr	max. 0.05	max. 0.05	max. 0.05	max. 0.6
Al	remainder	remainder	remainder	remainder
	<b>M142</b>	<b>M145</b>	<b>M174+</b>	<b>M-SP25</b>
	<b>AlSi12Cu3Ni2Mg</b>	<b>AlSi15Cu3Ni2Mg</b>	<b>AlSi12Cu4Ni2Mg</b>	<b>AlCu2.5Mg1.5FeNi</b>
Si	11.0–13.0	14.0–16.0	11.0–13.0	max. 0.25
Cu	2.5–4.0	2.5–4.0	3.0–5.0	1.8–2.7
Mg	0.5–1.2	0.5–1.2	0.5–1.2	1.2–1.8
Ni	1.75–3.0	1.75–3.0	1.0–3.0	0.8–1.4
Fe	max. 0.7	max. 0.7	max. 0.7	0.9–1.4
Mn	max. 0.3	max. 0.3	max. 0.3	max. 0.2
Ti	max. 0.2	max. 0.2	max. 0.2	max. 0.2
Zn	max. 0.3	max. 0.3	max. 0.3	max. 0.1
Zr	max. 0.2	max. 0.2	max. 0.2	–
V	max. 0.18	max. 0.18	max. 0.18	–
Cr	max. 0.05	max. 0.05	max. 0.05	–
Al	remainder	remainder	remainder	remainder

Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p.64)

Las funciones del pistón y las cargas que actúan sobre él, presentan un conjunto muy especial de requerimientos para el material del pistón.

Si, un bajo peso del pistón es el objetivo, entonces un material de baja densidad es preferido. Además de su forma de diseño, la resistencia del material es el factor decisivo para la capacidad de carga del pistón.

El cambio en la carga a sobre tiempos, requiere tanto una buena resistencia estática como dinámica. La resistencia a la temperatura es igualmente importante, debido a las cargas térmicas.

La conductividad térmica del material es de importancia para el nivel de temperatura. Como regla general, una alta conductividad térmica es ventajosa, ya que promueve una distribución uniforme de la temperatura a través del pistón. Las bajas temperaturas no sólo permiten una mayor carga del material, sino, que tengan un efecto beneficioso sobre los parámetros de proceso en la corona del pistón, como la eficiencia volumétrica y el límite de detonación.

Valores de resistencia estática y dinámica describen el comportamiento del material bajo condiciones isotérmicas. Los pistones están expuestos a cambios bruscos de temperatura. El estrés por calor transitorio produce cargas cíclicas, las cuales dan lugar a que a veces el material pueda superar su límite elástico. Los materiales deben ser resistentes a estas tensiones. Debido a los movimientos y las fuerzas que se producen en las superficies de deslizamiento y de sellado, los materiales de los pistones, deben también cumplir altos requerimientos de resistencia a la expansión (dilatación), baja fricción, y la resistencia al desgaste.

El emparejamiento de material del pistón y sus contrapartes deslizantes es particularmente crítico debido a las condiciones de lubricación. Deben ser consideradas como un régimen tribológico. Tratamientos superficiales especiales o recubrimientos, mejoran las propiedades del material base. (Traducido por: Xavier Guarderas) (Mahle GmbH, 2012, p.59.)

### **2.1.3.2 Propiedades de los materiales.**

Los materiales, de acuerdo a su tipo de aleación y a sus metales que la componen, presentan distintas características de dureza, resistencia, elasticidad, dilatación, conductividad térmica, densidad, facilidad de mecanizado, etc. (Tabla 2.5 y Tabla 2.6.)

Las propiedades que posee una aleación dependen de sus componentes, así mismo como de su cantidad (%), en la Tabla 2.7 se encuentran los metales aleantes más comunes usados con el aluminio e indica la función que cumple cada compuesto dentro de la aleación.

Las propiedades de un material, pueden cambiar significativamente con un tratamiento térmico, el tratamiento térmico que se le da a un material, depende del metal y de la función que este va a cumplir. Adicionalmente al tratamiento térmico, las propiedades de un material dependen de la forma en como el metal fue producido, este puede ser por medio de una fundición, la cual puede dejar mucha o poca porosidad en el metal, haciendo que este sea más frágil, pero si el metal

**Tabla 2.5: Propiedades físicas de aleación 4032-T6**

Physical Properties	Metric	English
Density	2.68 g/cc	0.0968 lb/in <sup>3</sup>
Mechanical Properties	Metric	English
Hardness, Brinell	120	120
Hardness, Knoop	150	150
Hardness, Rockwell A	46.8	46.8
Hardness, Rockwell B	75	75
Hardness, Vickers	136	136
Tensile Strength, Ultimate	>= 359 MPa	>= 52100 psi
Tensile Strength, Yield	>= 331 MPa	>= 48000 psi
Elongation at Break	4.00 %	4.00 %
Modulus of Elasticity	79.0 GPa	11500 ksi
Fatigue Strength	110 MPa @# of Cycles 5.00e+8	16000 psi @# of Cycles 5.00e+8
Machinability	70 %	70 %
Shear Strength	262 MPa	38000 psi
Electrical Properties	Metric	English
Electrical Resistivity	0.00000450 ohm-cm	0.00000450 ohm-cm
Thermal Properties	Metric	English
CTE, linear	19.4 µm/m-°C @Temperature 20.0 - 100 °C	10.8 µin/in-°F @Temperature 68.0 - 212 °F
Thermal Conductivity	138 W/m-K	958 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> -°F
Component Elements Properties	Metric	English
Aluminum, Al	85.0 %	85.0 %
Chromium, Cr	<= 0.10 %	<= 0.10 %
Copper, Cu	0.50 - 1.30 %	0.50 - 1.30 %
Iron, Fe	<= 1.0 %	<= 1.0 %
Magnesium, Mg	0.80 - 1.30 %	0.80 - 1.30 %
Nickel, Ni	0.50 - 1.30 %	0.50 - 1.30 %
Silicon, Si	11.0 - 13.5 %	11.0 - 13.5 %
Zinc, Zn	<= 0.25 %	<= 0.25 %

Fuente: Matweb - Alcoa Deltalloy® 4032-T651 Aluminum

es por medio de extrusión, el metal adquiere mucha más resistencia y casi sin o ninguna porosidad.

Del mismo modo se pueden obtener barras o planchas de metal, las cuales han sido previamente forjadas, llegando a poseer más resistencia que las extruidas y en la mayoría de casos, los fabricantes vende el metal con un tratamiento térmico previo.

**Tabla 2.6:** Propiedades físicas y mecánicas de pistones MAHLE para fundición de aluminio.

Description		M124	M126, M138	M142, M145, M174+	M244	
Hardness HB10	20°C	90–130	90–130	100–140	90–130	
	Tensile strength $R_m$ [MPa]	20°C	200–250	180–220	200–280	170–210
		150°C	180–200	170–200	180–240	160–180
		250°C	90–110	80–110	100–120	70–100
Yield strength $R_{p0.2}$ [MPa]	350°C	35–55	35–55	45–65	35–55	
	20°C	190–230	170–200	190–260	170–200	
	150°C	170–210	150–180	170–220	130–180	
	250°C	70–100	70–100	80–110	70–100	
Elongation at fracture $A_5$ [%]	350°C	20–30	20–40	35–60	30–50	
	20°C	<1	1	<1	0.1	
	150°C	1	1	<1	0.4	
	250°C	3	1.5	1.5–2	0.5	
Fatigue strength $\sigma_{bw}$ [MPa]	350°C	10	5	7–9	2	
	20°C	90–110	80–100	100–110	70–90	
	150°C	75–85	60–75	80–90	55–70	
	250°C	45–50	40–50	50–55	40–50	
Young's modulus E [MPa]	350°C	20–25	15–25	35–40	15–25	
	20°C	80,000	84,000	84,000–85,000	90,000	
	150°C	77,000	80,000	79,000–80,000	85,000	
	250°C	72,000	75,000	75,000–76,000	81,000	
Thermal conductivity $\lambda$ [W/mK]	350°C	65,000	71,000	70,000–71,000	76,000	
	20°C	145	140	130–135	135	
Thermal expansion $\alpha$ [ $10^{-6}$ m/mK]	350°C	155	150	140–145	145	
	20–100°C	19.6	18.6	18.5–19.5	18.3	
	20–200°C	20.6	19.5	19.5–20.5	19.3	
	20–300°C	21.4	20.2	20.5–21.2	20.0	
Density $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	20–400°C	22.1	20.8	21.0–21.8	20.7	
	20°C	2.68	2.67	2.75–2.79	2.65	
Relative wear rate		1	0.8	0.85–0.9	0.6	

Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p. 67.)



**Tabla 2.7:** Efectos de los metales en aleaciones.

<b>Efectos de los elementos de aleación</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Características</b>
<b>Cobre</b>	<p>Mejora la resistencia y la dureza de las condiciones bruto de colada y tratamiento térmico.</p> <p>Aleaciones que contengan de 4 a 5.5% de Cu, responden con más dureza a los tratamientos térmicos y mejoran relativamente las propiedades de la colada de fundición. Reduce la resistencia a la rotura en caliente y aumenta el potencial de la contracción del material.</p> <p>El cobre generalmente reduce la resistencia a la corrosión en general y en composiciones especiales y condiciones materiales aumenta la susceptibilidad a la tensión por corrosión.</p> <p>Bajas concentraciones de cobre en aleaciones de aluminio-zinc, inhibe la corrosión bajo tensión.</p>
<b>Cromo</b>	<p>Aleaciones que contengan hierro, manganeso y cromo, son a veces encontrados en composiciones de fundición a presión, pero rara vez en las aleaciones de fundición por gravedad.</p> <p>Mejora la resistencia a la corrosión.</p>
<b>Hierro</b>	<p>Mejora la resistencia a la rotura en caliente y disminuye la tendencia a la adherencia o soldadura del troquel a la fundición inyectada.</p> <p>El incremento del contenido de hierro está acompañado sustancialmente de la disminución de la ductilidad.</p> <p>El hierro reacciona al formar un número de fases intermetálicas, las más comunes son <math>FeAl_3</math>, <math>FeMnAl_6</math> y <math>AlFeSi</math>. Estas fases insolubles son responsables de la mejora en la fuerza, especialmente a elevada temperatura, pero también a la fragilización de la microestructura.</p>
<b>Magnesio</b>	<p>Usado básicamente para desarrollar resistencia y dureza en aleaciones de aluminio-silicio térmicamente tratadas y es comúnmente usado en aleaciones más complejas de aluminio-silicio que contengan cobre, níquel y otros elementos para el mismo propósito.</p> <p>La fase de endurecimiento <math>Mg_2Si</math> muestra un límite de solubilidad útil de 0,70% de Mg,</p>
<b>Manganeso</b>	<p>Normalmente considerado una impureza en las composiciones de fundición, el manganeso es controlado en bajos niveles en la mayoría de composiciones para fundiciones por gravedad.</p>

	<p>Es un elemento importante en el trabajo de endurecimiento de aleaciones forjadas a través del cual secundarias composiciones de fundición pueden contener altos niveles de manganeso. En ausencia del trabajo de forja, el manganeso no ofrece beneficios significativos en aleaciones de aluminio fundido. Alguna evidencia existe, sin embargo, una fracción de alto volumen de MnAl<sub>6</sub> en aleaciones que contienen más del 0,5% de Mn puede influir beneficiosamente solidez interna.</p>
<b>Níquel</b>	<p>Comúnmente usado con cobre para mejorar las propiedades a temperaturas elevadas.</p> <p>Reduce el coeficiente de dilatación térmica</p>
<b>Silicio</b>	<p>El excepcional efecto del silicio en aleaciones de aluminio es en el mejoramiento de las características de fundición. La adición de silicio mejora dramáticamente la fluidez, resistencia a la rotura y características de alimentación del molde.</p> <p>Aleaciones comerciales abarcan los rangos hipo eutécticos e hipereutécticos de hasta aproximadamente 30% de Si. El incremento de Si mejora la fluidez para llenar paredes finas y para reproducir diseños y detalles más intrincados.</p> <p>Aleaciones de aluminio-silicio, son típicamente más resistentes al agrietamiento de solidificación y muestra excelentes características de fundición y alimentación del molde.</p> <p>El contenido más deseable de silicio en aleaciones de aluminio-silicio, corresponde a las características del proceso de solidificación. Para un proceso con un ritmo de enfriamiento lento como el yeso y arena, el rango preferido es de 5 a 7%, para moldes permanentes de 7 a 9%, y para fundición de 8 a 12%. Las bases de estas recomendaciones es la relación entre el ritmo de enfriamiento y la fluidez, además del efecto del porcentaje eutéctico en el proceso de solidificación en la alimentación del molde.</p> <p>Silicio combinado con magnesio para formar Mg<sub>2</sub>Si en aleaciones tratables térmicamente. Se combina con hierro y otros elementos para formar fases insolubles complejas.</p> <p>El silicio reduce la gravedad específica y el coeficiente de expansión térmica.</p>
<b>Titanio</b>	<p>Usado extensivamente para refinar la estructura granular de las aleaciones de fundición de aluminio, a menudo en combinación de pequeñas cantidades de boro.</p> <p>El titanio a menudo se emplea a concentraciones mayores que las requeridas para el refinamiento del grano para reducir las tendencias de agrietamiento en composiciones calientes.</p>

<b>Zinc</b>	<p>El zinc no ofrece un beneficio significativo en fundiciones de aluminio</p> <p>Acompañado de la adición de cobre y/o magnesio, el zinc resulta sin embargo atractivo para un tratamiento térmico o para composiciones de envejecimiento natural.</p> <p>Zinc es usualmente usado en composiciones de fundiciones secundarias y en fundiciones a presión. En estas aleaciones, la tolerancia de más de 3% de zinc, permite el menor grado de uso de chatarra de forja.</p>
-------------	--

Fuente: (Kaufman & Rooy, 2004, pp. 15-17.)

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas S.

#### **2.1.4 Diseño del pistón con sobre medida para los motores Honda GX120 y GX160.**

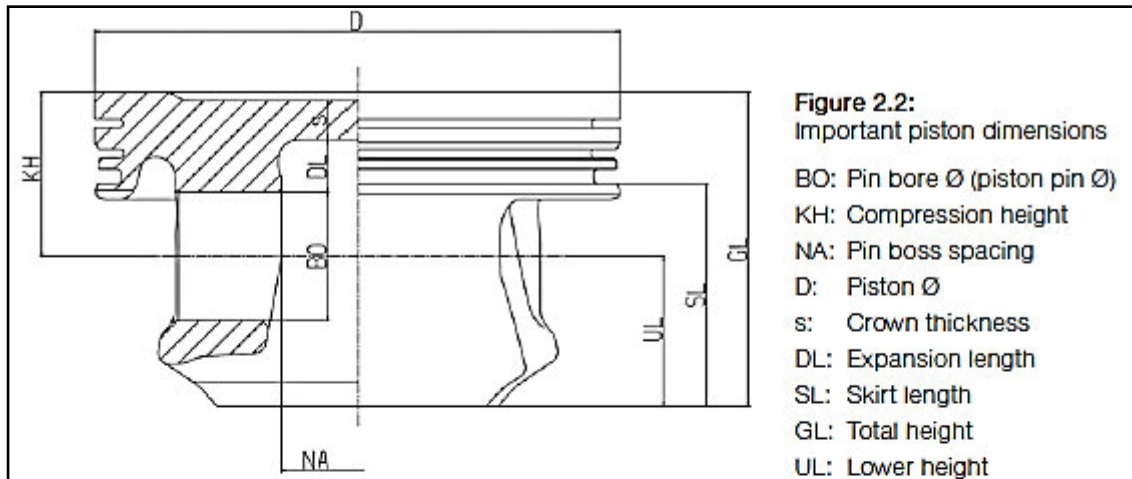
El diseño de los pistones se basa en los resultados obtenidos por medio de los cálculos, con los cuales se podrá determinar la aleación más adecuada que se usará de material base y adicionalmente observar las propiedades físicas que posee dicho material.

El diseño del pistón, tomará en cuenta ciertos parámetros y tolerancias que se aplican a todos los pistones que se encuentran en el mercado como es la holgura entre la pared del cilindro, rangos de medidas en las distintas áreas del pistón, temperaturas permisibles del pistón, peso del pistón, etc. (Tablas 2.8 - 2.9 - 2.10)

Las formas básicas de los pistones se las tomarán de los respectivos diseños que poseen los pistones originales STD, y a partir de ahí se realizarán cambios en su forma estructural y estética, ya que, los pistones originales son fabricados por medio de una fundición, la cual nos permite crear formas más complejas a un menor costo, dado este parámetro, se ha cambiado ligeramente la forma interna del pistón, sobre todo en la parte inferior del alojamiento del bulón, en la cual como se puede observar en las Figuras 2.15 y 2.18, los pistones STD poseen unos alojamientos y nervios ubicados bajo el alojamiento del bulón.

Dichos espacios serían muy complejos o hasta casi imposibles de mecanizarlos con máquinas CNC, con lo cual, se pretende cambiar dicha parte del diseño original y mantener el resto de medidas internas y externas de los pistones.

**Tabla 2.8:** Dimensiones permisibles para pistones de motores a gasolina y diésel.



**Table 2.1:** Major dimensions of light-alloy pistons

	Gasoline engines		Diesel engines*
	Two-stroke	Four-stroke (passenger cars)	Four-stroke (passenger cars)
Diameter D [mm]	30–70	65–105	65–95
Total height GL/D	0.8–1.0	0.6–0.7	0.8–0.95
Compression height KH/D	0.4–0.55	0.30–0.45	0.5–0.6
Pin diameter BO/D	0.20–0.25	0.20–0.26	0.3–0.4
Top land height [mm]	2.5–3.5	2–8	6–12
Second ring land height St/D*	0.045–0.06	0.040–0.055	0.055–0.1
Groove height for first piston ring [mm]	1.2 and 1.5	1.0–1.75	1.75–3.5
Skirt length SL/D	0.55–0.7	0.4–0.5	0.5–0.65
Pin boss spacing NA/D	0.25–0.35	0.20–0.35	0.25–0.35
Crown thickness s/D or s/DMu, max **	0.055–0.07	0.06–0.10	0.14–0.23

\* Values for diesel engines apply to ring carrier pistons, \*\* Diesel

Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p. 26.)

**Tabla 2.9:** Máximas temperaturas medidas en el pistón para diferente aplicaciones.

Measurement point	Application			
	Commercial vehicle application		Passenger car application	
	Al piston	Steel piston	Diesel engine	Gasoline engine
Bowl rim	340°C	470°C	380°C	–
Piston crown	–	–	–	290°C
1st piston ring groove	260°C	260°C	300°C	270°C
Pin boss	190°C	180°C	235°C	240°C

Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p.135.)

**Tabla 2.10:** Distribución de flujo de calor de varios tipos de pistones.

Piston type	Uncooled piston	Oilspray cooling	Oilspray cooling	Salt-core cooling channel	Cooled ring carrier	MONO-THERM® ring channel	2-chamber cooling cavity
Operating principle	Gasoline	Gasoline	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
Heat flow [%] Cooling channel	0	0	0	40–50	50–60	75–90	90–100
Ring belt	50–60	15–25	50–55	25–45	10–30	0–10	0–5
Skirt	10–15	5–10	10–15	5–10	5–10	0	0
Inner shape	10–20	50–60	20–30	5–15	5–15	0–10	0–5
Window/ cast undercut	5–10	0–5	0–5	0–5	0–5	0	0
Pin boss	5–10	0–5	0–15	0–10	0–10	0	0

Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p.45.)

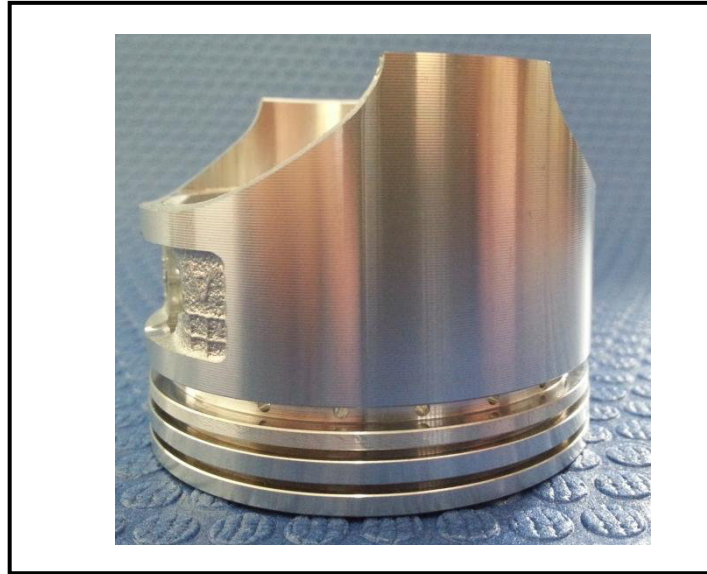
### 2.1.4.1 Formas de pistones de los motores Honda GX120 STD y GX160 STD.

- Pistón STD de motor GX120



**Figura 2.13** Vista externa del pistón del motor GX120  
Fotografías tomadas por: Xavier Guarderas





**Figura 2.14 Vista externa del pistón del motor GX120**  
Fotografías tomadas por: Xavier Guarderas



**Figura 2.15 Vista interna del pistón del motor GX120**  
Fotografías tomadas por: Xavier Guarderas

- Pistón STD de motor GX160



**Figura 2.16 Vista externa del pistón del motor GX160**  
Fotografías tomadas por: Xavier Guarderas

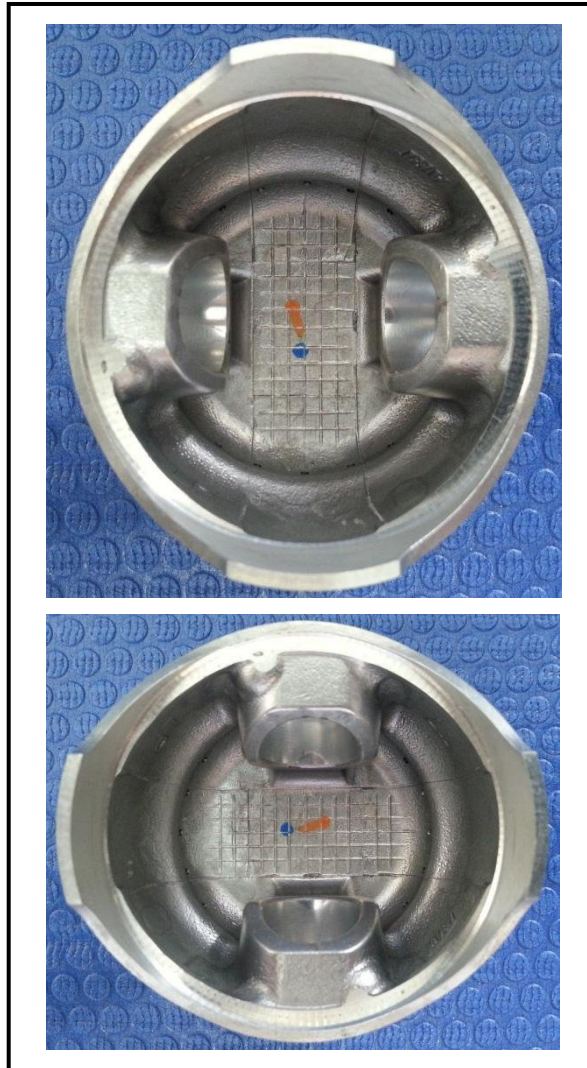




**Figura 2.17 Vista externa del pistón del motor GX160**  
Fotografías tomadas por: Xavier Guarderas



**Figura 2.18 Vista interna del pistón del motor GX160**  
Fotografías tomadas por: Xavier Guarderas



**Figura 2.19 Vista interna superior del pistón del motor GX160**  
Fotografías tomadas por: Xavier Guarderas

#### 2.1.4.2 Cálculos de pistones de los motores Honda GX120 y GX160.

##### Motor Honda GX120 STD

DATOS:

Diámetro del cilindro = 60mm = 2,362 in

Carrera del pistón = 42mm = 1,654 in

Compresión del cilindro (dato del fabricante) = 8.5kg/cm<sup>2</sup> = 121,741 PSI

HP (neta anunciados) = 3,5HP a 3600RPM

Torque neto = 5,4 lb-ft = 7,3Nm @ 2500rpm

Cilindrada (anunciada) = 118cc

Área del pistón = S3= 28,27cm<sup>2</sup>

Diámetro del difusor = 10,55mm

Área del difusor = S2 = 0,874cm<sup>2</sup>

Angulo de β = 18°

Angulo de α = 21°

Cilindrada real del motor

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

$$Vh = \frac{\pi * 6^2}{4} * 4,2 = 118,752cm^3 = 7,247 in^3$$

$$HP = \frac{MEP [PSI] * Vh[in^3] * RPM}{792000}$$

$$HP = \frac{121,741 * 7,247 * 3600}{792000} = 4,010 HP$$

$$Torq = \frac{MEP [PSI] * Vh[in^3]}{150,8}$$

$$Torq = \frac{121,741 * 7,247}{150,8} = 5,85 lb - ft$$

$$Capacidad del aire CFM = \frac{Vh [in^3] * RPM}{1728 * 2}$$

Eficiencia volumétrica

$$CFM_{torq} = \frac{7,247 * 2500}{1728 * 2} = 5,242 CFM$$

$$VE\% = (CFM_{torq}/CFM_{HP}) * 100$$

$$CFM_{HP} = \frac{7,247 * 3600}{1728 * 2} = 7,5489 CFM$$

$$VE\% = (5,242/7,5489) * 100 = 69,44\%$$

### Cálculos a 1000 RPM

Velocidad media del pistón

$$vmp = \left( \frac{2 * S[mm] * RPM}{1000 * 60} \right)$$

$$vmáx = \frac{\left( \frac{S[in]*\pi}{12} \right) * RPM}{60 * 3,28}$$

$$vmp = \left( \frac{2 * 42 * 1000}{1000 * 60} \right) = 1,4m/seg$$

$$vmáx = \frac{\left( \frac{1,654*\pi}{12} \right) * 1000}{60 * 3,28} = 2,2m/seg$$

$$Aceleración máxima del pistón = \left( \left( \frac{RPM^2 * S[in]}{2189} \right) * 1,333 \right)$$

$$Acel máx del pistón = \left( \left( \frac{1000^2 * 1,654}{2189} \right) * 1,333 \right) = 1007,209 \frac{ft}{sec^2} = 307,07 \frac{m}{sec^2}$$

### Fuerza lateral del pistón

Se= Fuerza de los gases x tangente de  $\beta$

Fuerza de los gases = Presión x Área del pistón [m]

Presión dinámica = (Densidad del fluido x Velocidad del fluido<sup>2</sup>)/2

$\rho$  del fluido = 1,355 kg/m<sup>3</sup> a 25°C

Velocidad del fluido= (vmp x Área del pistón [cm]) / área del difusor [cm]

$$v = \frac{vmp * S3}{S2}$$

$$v = \frac{1,4 \text{ m/seg} * 28,274 \text{ cm}^2}{0,874 \text{ cm}^2} = 45,290 \text{ m/seg}$$

$$P = \frac{\rho * v^2}{2}$$

$$P = \frac{1,355 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (45,290 \frac{\text{m}}{\text{seg}})^2}{2} = 1389,687 \text{ Pas}$$

$$F = P * S3$$

$$F = 1389,677 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 0,28274 \text{ m}^2 = 392,91 \text{ N}$$

$$Se = F * \tan \beta$$

$$Se = 392,91 \text{ N} * 0,32492 = 127,66 \text{ N} = 13,01 \text{ kgf}$$

### Fuerza de la biela

$$Fb = \frac{F}{\cos \beta}$$

$$Fb = \frac{392,91 \text{ N}}{0,9510} = 413,15 \text{ N}$$

### Fuerza tangencial

$$Ft = \frac{F * \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}$$

$$Ft = \frac{392,91 \text{ N} * 0,6293}{0,9510} = 260,006 \text{ N}$$

### Fuerza radial

$$Frad = \frac{F * \cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta}$$

$$Frad = \frac{392,91 \text{ N} * 0,7771}{0,9510} = 321,062 \text{ N}$$

Los datos de los cálculos a 2000 y 3600RPM del pistón STD se encuentran en la Tabla 1.11 y 1.12

**Tabla 2.11:** Cálculo a 2000rpm del pistón STD del motor GX120

<b>Cálculos a 2000 RPM</b>	
Velocidad media del pistón	2,8 m/seg
Velocidad máxima del pistón	4,39935595 m/seg
Aceleración máxima del pistón	4027,72632 ft/seg <sup>2</sup> 1227,96534 m/seg <sup>2</sup>
Velocidad del fluido	90,5816 m/seg
Presión dinámica	5558,90551 Pas
Fuerza de los gases	1571,74718 N
Fuerza lateral o Se	510,692893 N 52,0583989 kgf
Fuerza de la biela	1652,63318 N
Fuerza tangencial	1040,0378 N
Fuerza radial	1284,33555 N

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas

**Tabla 2.12:** Cálculo a 3600rpm del pistón STD del motor GX120

<b>Cálculos a 3600 RPM</b>	
Velocidad media del pistón	5,04 m/seg
Velocidad máxima del pistón	7,91884071 m/seg
Aceleración máxima del pistón	13049,8333 ft/seg <sup>2</sup> 3978,60771 m/seg <sup>2</sup>
Velocidad del fluido	163,0469 m/seg
Presión dinámica	18010,8539 Pas
Fuerza de los gases	5092,46087 N
Fuerza lateral o Se	1654,64497 N 168,669212 kgf
Fuerza de la biela	5354,53151 N
Fuerza tangencial	3369,72249 N
Fuerza radial	4161,24717 N

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas

### Motor Honda GX120 (+0,010")

#### DATOS:

Diámetro del cilindro = 60,25mm = 2,372 in

Carrera del pistón = 42mm = 1,654 in

Compresión del cilindro (dato del fabricante) = 8.5kg/cm<sup>2</sup> = 121,741 PSI

HP (neta anunciados) = 3,5HP @ 3600rpm

Torque neto = 5,4 lb-ft = 7,3Nm @ 2500rpm

Cilindrada (anunciada) = 118cc

Área del pistón = S3= 28,51cm<sup>2</sup>

Diámetro del difusor = 10,55mm

Área del difusor = S2 = 0,874cm<sup>2</sup>

Angulo de  $\beta = 18^\circ$

Angulo de  $\alpha = 21^\circ$

**Tabla 2.13:** Cálculo de HP y Torque con el pistón +0,010 del motor GX120

<b>Cálculo a 2500rpm para torque y 3600rpm para HP</b>		
Cilindrada real	119,743866	cm <sup>3</sup>
	7,30721902	in <sup>3</sup>
Caballos de fuerza	4,0435825	HP
Torque	5,89912566	lb-ft
Capacidad del aire CFM		
CFM HP	7,61168648	CFM
CFM Torque	5,28589339	CFM
Efficiencia volumétrica	69,4444444	%

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas S.

**Tabla 2.14:** Cálculo a 1000rpm del pistón +0.010 del motor GX120

<b>Cálculos a 1000 RPM</b>		
Velocidad media del pistón	1,4	m/seg
Velocidad máxima del pistón	2,19967798	m/seg
Aceleración máxima del pistón	1006,93158	ft/seg <sup>2</sup>
	306,991335	m/seg <sup>2</sup>
Velocidad del fluido	45,6690	m/seg
Presión dinámica	1413,03365	Pas
Fuerza de los gases	402,863113	N
Fuerza lateral o Se	130,898487	N
	13,3433728	kgf
Fuerza de la biela	423,595446	N
Fuerza tangencial	266,577775	N
Fuerza radial	329,195066	N

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas.

**Tabla 2.15:** Cálculo a 2000rpm del pistón +0.010 del motor GX120

<b>Cálculos a 2000 RPM</b>		
Velocidad media del pistón	2,8	m/seg
Velocidad máxima del pistón	4,39935595	m/seg
Aceleración máxima del pistón	4027,72632	ft/seg <sup>2</sup>
	1227,96534	m/seg <sup>2</sup>
Velocidad del fluido	91,3380	m/seg
Presión dinámica	5652,1346	Pas
Fuerza de los gases	1611,45245	N
Fuerza lateral o Se	523,59395	N
	53,3734913	kgf
Fuerza de la biela	1694,38178	N
Fuerza tangencial	1066,3111	N
Fuerza radial	1316,78026	N

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas S.

**Tabla 2.16:** Cálculo de 600 rpm de pistón el pistón +0,020 del motor GX120

Cálculos a 3600 RPM		
Cálculos a 2500 rpm para torque y HP		
Velocidad media	5,04	m/seg
Cilindrada real	120,739652	cm <sup>3</sup>
	7,36798565	in <sup>3</sup>
Caballos de fuerza	4,07720882	HP
Torque	5,94818263	lb-ft
Capacidad del aire CFM		
CFM HP	7,67498505	CFM
CFM Torque	5,32985073	CFM
Eficiencia volumétrica	69,4444444	%
Fuerza de la biela	5489,79698	N
Fuerza tangencial	3454,84797	N
Fuerza radial	4266,36805	N

### Motor Honda GX120 (+0,020")

DATOS:

Diámetro del cilindro = 60,50mm = 2,382 in

Carrera del pistón = 42mm = 1,654 in

Compresión del cilindro (dato del fabricante) = 8.5kg/cm<sup>2</sup> = 121,741 PSI

HP (neta anunciados) = 3,5HP @ 3600rpm

Torque neto = 5,4 lb-ft = 7,3Nm @ 2500rpm

Cilindrada (anunciada) = 118cc

Área del pistón = S3= 28,74cm<sup>2</sup>

Diámetro del difusor = 10,55mm

Área del difusor = S2 = 0,874cm<sup>2</sup>

Angulo de  $\beta$  = 18°

Angulo de  $\alpha$  = 21°

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas S.

**Tabla 2.18:** Cálculo a 1000rpm del pistón +0,020 del motor GX120

<b>Cálculos a 1000 RPM</b>		
Velocidad media del pistón	1,4	m/seg
Velocidad máxima del pistón	2,19967798	m/seg
Aceleración máxima del pistón	1006,93158	ft/seg <sup>2</sup>
	306,991335	m/seg <sup>2</sup>
Velocidad del fluido	46,0488	m/seg
Presión dinámica	1436,63287	Pas
Fuerza de los gases	412,997521	N
Fuerza lateral o Se	134,191364	N
	13,6790382	kgf
Fuerza de la biela	434,251395	N
Fuerza tangencial	273,283795	N
Fuerza radial	337,476283	N

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas

**Tabla 2.19:** Cálculo a 2000rpm del pistón +0,020 del motor GX120

<b>Cálculos a 2000 RPM</b>		
Velocidad media del pistón	2,8	m/seg
Velocidad máxima del pistón	4,39935595	m/seg
Aceleración máxima del pistón	4027,72632	ft/seg <sup>2</sup>
	1227,96534	m/seg <sup>2</sup>
Velocidad del fluido	92,0976	m/seg
Presión dinámica	5746,53147	Pas
Fuerza de los gases	1651,99008	N
Fuerza lateral o Se	536,765457	N
	54,7161526	kgf
Fuerza de la biela	1737,00558	N
Fuerza tangencial	1093,13518	N
Fuerza radial	1349,90513	N

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas S.



**Tabla 2.20:** Cálculo a 3600rpm del pistón +0,020 del motor GX120

<b>Cálculos a 3600 RPM</b>		
Velocidad media del pistón	5,04	m/seg
Velocidad máxima del pistón	7,91884071	m/seg
Aceleración máxima del pistón	13049,8333	ft/seg <sup>2</sup>
	3978,60771	m/seg <sup>2</sup>
Velocidad del fluido	165,7757	m/seg
Presión dinámica	18618,762	Pas
Fuerza de los gases	5352,44787	N
Fuerza lateral o Se	1739,12008	N
	177,280335	kgf
Fuerza de la biela	5627,89808	N
Fuerza tangencial	3541,75798	N
Fuerza radial	4373,69263	N

### Motor Honda GX160 STD

#### DATOS:

Diámetro del cilindro = 68mm = 2,677 in

Carrera del pistón = 45mm = 1,772 in

Compresión del cilindro (dato del fabricante) = 8.5kg/cm<sup>2</sup> = 121,741 PSI

HP (neta anunciados) = 4,8HP @ 3600rpm

Torque neto = 7,6 lb-ft = 10,3 Nm @ 2500rpm

Cilindrada (anunciada) = 163cc

Área del pistón = S3= 36,31cm<sup>2</sup>

Diámetro del difusor = 13mm

Área del difusor = S2 = 1,32cm<sup>2</sup>

Angulo de  $\beta$  = 18°

Angulo de  $\alpha$  = 21°

Cilindrada real del motor

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

$$Vh = \frac{\pi * 6,8^2}{4} * 4,2 = 163,426 \text{ cm}^3 = 9,973 \text{ in}^3$$

$$HP = \frac{MEP [PSI] * Vh[\text{in}^3] * RPM}{792000}$$

$$HP = \frac{121,741 * 9,973 * 3600}{792000} = 5,519 \text{ HP}$$

$$Torq = \frac{MEP [PSI] * Vh[\text{in}^3]}{150,8}$$

$$Torq = \frac{121,741 * 9,973}{150,8} = 8,05 \text{ lb - ft}$$

$$\text{Capacidad del aire CFM} = \frac{Vh [\text{in}^3] * RPM}{1728 * 2}$$

Eficiencia volumétrica

$$CFM_{torq} = \frac{9,973 * 2500}{1728 * 2} = 7,214 \text{ CFM}$$

$$VE\% = (CFM_{torq} / CFM_{HP}) * 100$$

$$CFM_{HP} = \frac{9,973 * 3600}{1728 * 2} = 10,388 \text{ CFM}$$

$$VE\% = (7,214 / 10,388) * 100 = 69,44\%$$

### Cálculos a 1000 RPM

#### Velocidad media del pistón

$$v_{mp} = \left( \frac{2 * S[\text{mm}] * RPM}{1000 * 60} \right)$$

$$v_{m\acute{a}x} = \frac{\left( \frac{S[\text{in}] * \pi}{12} \right) * RPM}{60 * 3,28}$$

$$v_{mp} = \left( \frac{2 * 45 * 1000}{1000 * 60} \right) = 1,5 \text{ m/seg}$$

$$v_{m\acute{a}x} = \frac{\left( \frac{1,772 * \pi}{12} \right) * 1000}{60 * 3,28} = 2,357 \text{ m/seg}$$

$$\text{Aceleraci3n m\acute{a}xima del pist3n} = \left( \left( \frac{RPM^2 * S[\text{in}]}{2189} \right) * 1,333 \right)$$

$$\text{Acel m\acute{a}x del pist3n} = \left( \left( \frac{1000^2 * 1,772}{2189} \right) * 1,333 \right) = 1078,855 \frac{\text{ft}}{\text{sec}^2} = 328,92 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

#### Fuerza lateral del pist3n

Se= Fuerza de los gases x tangente de  $\beta$

Fuerza de los gases = Presi3n x \u00c1rea del pist3n [m]

Presi3n din\u00e1mica = (Densidad del fluido x Velocidad del fluido<sup>2</sup>)/2

$\rho$  del fluido = 1,355 kg/m<sup>3</sup> a 25\u00b0C

Velocidad del fluido= (vmp x Área del pistón [cm]) / área del difusor [cm]

$$v = \frac{v_{mp} * S_3}{S_2} \quad v = \frac{1,5 \text{ m/seg} * 36,316 \text{ cm}^2}{1,32 \text{ cm}^2} = 41,268 \text{ m/seg}$$

$$P = \frac{\rho * v^2}{2} \quad P = \frac{1,355 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (41,268 \frac{\text{m}}{\text{seg}})^2}{2} = 1153,814 \text{ Pas}$$

$$F = P * S_3 \quad F = 1153,814 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 0,36317 \text{ m}^2 = 419,03 \text{ N}$$

$$Se = F * \tan \beta \quad Se = 419,03 \text{ N} * 0,32492 = 136,15 \text{ N} = 13,87 \text{ kgf}$$

Fuerza de la biela

$$F_b = \frac{F}{\cos \beta} \quad F_b = \frac{419,03 \text{ N}}{0,9510} = 440,62 \text{ N}$$

Fuerza tangencial

$$F_t = \frac{F * \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \quad F_t = \frac{419,03 \text{ N} * 0,6293}{0,9510} = 277,282 \text{ N}$$

Fuerza radial

$$F_{rad} = \frac{F * \cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \quad F_{rad} = \frac{419,03 \text{ N} * 0,7771}{0,9510} = 342,406 \text{ N}$$

Los datos de los cálculos a 2000 y 3600RPM del pistón STD se encuentran en la Tabla 2.21 y 2.22 respectivamente, ya que el procedimiento es el mismo que a 1000RPM

**Tabla 2.21:** Cálculo a 2000rpm del pistón STD del motor GX160

<b>Cálculos a 2000 RPM</b>		
Velocidad media del pistón	3	m/seg
Velocidad máxima del pistón	4,71359566	m/seg
Aceleración máxima del pistón	4315,42106	ft/seg <sup>2</sup>
	1315,67715	m/seg <sup>2</sup>
Velocidad del fluido	82,5384	m/seg
Presión dinámica	4615,52801	Pas
Fuerza de los gases	1676,21651	N
Fuerza lateral o Se	544,63712	N
	55,5185648	kgf
Fuerza de la biela	1762,47876	N
Fuerza tangencial	1109,166	N
Fuerza radial	1369,70148	N

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas.

**Tabla 2.22:** Cálculo a 3600rpm del pistón STD del motor GX160

<b>Cálculos a 3600 RPM</b>		
Velocidad media del pistón	5,4	m/seg
Velocidad máxima del pistón	8,48447219	m/seg
Aceleración máxima del pistón	13981,9642	ft/seg <sup>2</sup>
	4262,79397	m/seg <sup>2</sup>
Velocidad del fluido	148,5691	m/seg
Presión dinámica	14954,3108	Pas
Fuerza de los gases	5430,94149	N
Fuerza lateral o Se	1764,62427	N
	179,88015	kgf
Fuerza de la biela	5710,43118	N
Fuerza tangencial	3593,69785	N
Fuerza radial	4437,83281	N

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas

### **Motor Honda GX160 (+0,010")**

DATOS:

Diámetro del cilindro = 68,25mm = 2,687 in

Carrera del pistón = 45mm = 1,772 in

Compresión del cilindro (dato del fabricante) = 8.5kg/cm<sup>2</sup> = 121,741 PSI

HP (neta anunciados) = 4,8HP @ 3600rpm

Torque neto = 7,6 lb-ft = 10,3 Nm @ 2500rpm

Cilindrada (anunciada) = 163cc

Área del pistón = S3= 36,584cm<sup>2</sup>

Diámetro del difusor = 13mm

Área del difusor = S2 =1,32m<sup>2</sup>

Angulo de  $\beta = 18^\circ$

Angulo de  $\alpha = 21^\circ$

**Tabla 2.23:** Cálculo de HP y Torque con el pistón +0,010 del motor GX160

<b>Cálculo a 2500rpm para torque y 3600rpm para HP</b>		
Cilindrada real	164,629518	cm <sup>3</sup>
	10,0463096	in <sup>3</sup>
Caballos de fuerza	5,55930806	HP
Torque	8,11039638	lb-ft
Capacidad del aire CFM		
CFM HP	10,4649058	CFM
CFM Torque	7,2672957	CFM
Eficiencia volumétrica	69,4444444	%

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas S.

**Tabla 2.24:** Cálculo a 1000rpm del pistón +0,010 del motor GX160

<b>Cálculos a 1000 RPM</b>		
Velocidad media del pistón	1,5	m/seg
Velocidad máxima del pistón	2,35679783	m/seg
Aceleración máxima del pistón	1078,85526	ft/seg
	328,919288	m/seg
Velocidad del fluido	41,5732	m/seg
Presión dinámica	1170,94466	Pas
Fuerza de los gases	428,383348	N
Fuerza lateral o Se	139,190535	N
	14,1886376	kgf
Fuerza de la biela	450,429015	N
Fuerza tangencial	283,464721	N
Fuerza radial	350,048639	N

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas.

**Tabla 2.25:** Cálculo a 2000rpm del pistón +0,010 del motor GX160

<b>Cálculos a 2000 RPM</b>		
Velocidad media del pistón	3	m/seg
Velocidad máxima del pistón	4,71359566	m/seg
Aceleración máxima del pistón	4315,42106	ft/seg
	1315,67715	m/seg
Velocidad del fluido	83,1464	m/seg
Presión dinámica	4683,77866	Pas
Fuerza de los gases	1713,53339	N
Fuerza lateral o Se	556,76214	N
	56,7545505	kgf
Fuerza de la biela	1801,71606	N
Fuerza tangencial	1133,85888	N
Fuerza radial	1400,19456	N

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas.

**Tabla 2.26:** Cálculo a 3600rpm del pistón +0,010 del motor GX160

<b>Cálculos a 3600 RPM</b>		
Velocidad media del pistón	5,4	m/seg
Velocidad máxima del pistón	8,48447219	m/seg
Aceleración máxima del pistón	13981,9642	ft/seg <sup>2</sup>
	4262,79397	m/seg <sup>2</sup>
Velocidad del fluido	149,6635	m/seg
Presión dinámica	15175,4428	Pas
Fuerza de los gases	5551,84819	N
Fuerza lateral o Se	1803,90934	N
	183,884744	kgf
Fuerza de la biela	5837,56003	N
Fuerza tangencial	3673,70278	N
Fuerza radial	4536,63036	N

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas S.

### Motor Honda GX160 (+0,020")

DATOS:

Diámetro del cilindro = 68,50mm = 2,697 in

Carrera del pistón = 45mm = 1,772 in

Compresión del cilindro (dato del fabricante) = 8.5kg/cm<sup>2</sup> = 121,741 PSI

HP (neta anunciados) = 4,8HP @ 3600rpm

Torque neto = 7,6 lb-ft = 10,3 Nm @ 2500rpm

Cilindrada (anunciada) = 163cc

Área del pistón = S3= 36,853cm<sup>2</sup>

Diámetro del difusor = 13mm

Área del difusor = S2 = 1,32m<sup>2</sup>

Angulo de  $\beta$  = 18°

Angulo de  $\alpha$  = 21°

**Tabla 2.27:** Cálculo de HP y Torque con el pistón +0,020 del motor GX160

<b>Cálculo a 2500rpm para torque y 3600rpm para HP</b>		
Cilindrada real	164,629518	cm <sup>3</sup>
	10,0463096	in <sup>3</sup>
Caballos de fuerza	5,55930806	HP
Torque	8,11039638	lb-ft
Capacidad del aire CFM		
CFM HP	10,4649058	CFM
CFM Torque	7,2672957	CFM
Eficiencia volumétrica	69,4444444	%

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas S.

**Tabla 2.28:** Cálculo a 1000rpm del pistón +0,020 del motor GX160

<b>Cálculos a 1000 RPM</b>		
Velocidad media del pistón	1,5	m/seg
Velocidad máxima del pistón	2,35679783	m/seg
Aceleración máxima del pistón	1078,85526	ft/seg <sup>2</sup>
	328,919288	m/seg <sup>2</sup>
Velocidad del fluido	41,5732	m/seg
Presión dinámica	1170,94466	Pas
Fuerza de los gases	428,383348	N
Fuerza lateral o Se	139,190535	N
	14,1886376	kgf
Fuerza de la biela	450,429015	N
Fuerza tangencial	283,464721	N
Fuerza radial	350,048639	N

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas.

**Tabla 2.29:** Cálculo a 2000rpm del pistón +0,020 del motor GX160

<b>Cálculos a 2000 RPM</b>		
Velocidad media del pistón	3	m/seg
Velocidad máxima del pistón	4,71359566	m/seg
Aceleración máxima del pistón	4315,42106	ft/seg <sup>2</sup>
	1315,67715	m/seg <sup>2</sup>
Velocidad del fluido	83,1464	m/seg
Presión dinámica	4683,77866	Pas
Fuerza de los gases	1713,53339	N
Fuerza lateral o Se	556,76214	N
	56,7545505	kgf
Fuerza de la biela	1801,71606	N
Fuerza tangencial	1133,85888	N
Fuerza radial	1400,19456	N

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas.

**Tabla 2.30:** Cálculo a 3600rpm del pistón +0,020 del motor GX160

<b>Cálculos a 3600 RPM</b>		
Velocidad media del pistón	5,4	m/seg
Velocidad máxima del pistón	8,48447219	m/seg
Aceleración máxima del pistón	13981,9642	ft/seg <sup>2</sup>
	4262,79397	m/seg <sup>2</sup>
Velocidad del fluido	149,6635	m/seg
Presión dinámica	15175,4428	Pas
Fuerza de los gases	5551,84819	N
Fuerza lateral o Se	1803,90934	N
	183,884744	kgf
Fuerza de la biela	5837,56003	N
Fuerza tangencial	3673,70278	N
Fuerza radial	4536,63036	N

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas S.

#### 2.1.4.3 Resultados y elección de material.

El material elegido para la fabricación de los pistones, es la aleación de aluminio-silicio con un tratamiento térmico T6, la cual corresponde a la serie 4032. La aleación 4032-T6, cumple con todas las propiedades necesarias para resistir los esfuerzos que se presentan en los pistones de los motores Honda GX120 y GX160. Este material ha sido utilizado para realizar la simulación en SolidWorks y cumple con todos los requisitos necesarios que debe poseer un pistón, igualmente los rangos de deformación y dilatación se encuentran dentro de los normal.

Las propiedades físicas de este material se encuentran en la Tabla 2.5., así mismo como su composición química.

La aleación del material utilizado en los pistones STD, corresponde igualmente a una aleación de aluminio-silicio, en el anexo 1, se pueden apreciar los porcentajes



correspondientes a cada metal aleante que se encuentran en dicha aleación, estos valores han sido obtenidos por medio de un análisis de espectrometría por chispa, realizado a la cabeza del pistón correspondiente al motor GX160.

La cuantificación(%) de los metales encontrados en dicha muestra, se encuentran dentro de los valores de la Tabla 2.4, correspondiente a la aleación M124, al igual que con los de la Tabla 2.5, con una leve diferencia en el número de metales aleantes que posee. En la Tabla 2.31, se puede observar una comparación entre las propiedades de las aleaciones utilizadas para la fabricación de pistones, cabe mencionar que si bien hay otras aleaciones que presentan mejores propiedades físicas que la aleación 4032-T6, esta aleación es la que se puede encontrar comercialmente, ya que las aleaciones de la Tabla 2.6, son realizadas por Mahle para la fabricación de sus pistones.

**Tabla 2.31:** Comparación de las aleaciones de aluminio para la fabricación de pistones.

<b>Propiedades</b> \ <b>Aleación</b>	<b>4032-T6</b>	<b>M124</b>	<b>M126,M138</b>	<b>M142,M145, M174+</b>	<b>M244</b>
<b>Densidad [g/cc]</b>	2,68	2,68	2,67	2,75-2,79	2,65
<b>Dureza Brinell HB10</b>	120	90-130	90-130	100-140	90-130
<b>Modulo de elasticidad [MPa]</b>	79000	80000	84000	84000-85000	90000
<b>Conductividad térmica [W/mK]</b>	138	145	140	130-135	135
<b>Elongación a la fractura %</b>	4	<1	1	<1	0.1
<b>Resistencia a la tracción máx [MPa]</b>	>=359	200-250	180-220	200-280	170-210
<b>Límite elastico [MPa]</b>	>=331	190-230	170-200	190-260	170-200
<b>Resistencia a la fatiga [MPa]</b>	110	90-110	80-100	100-110	70-90
<b>Expansión térmica [10<sup>-6</sup>m/mK]</b>	19,4	19,6	18,6	18,5-19,5	18,3

Fuente: Tabla 1.5 y 1.6

Tabla elaborada por: Xavier Guarderas S.

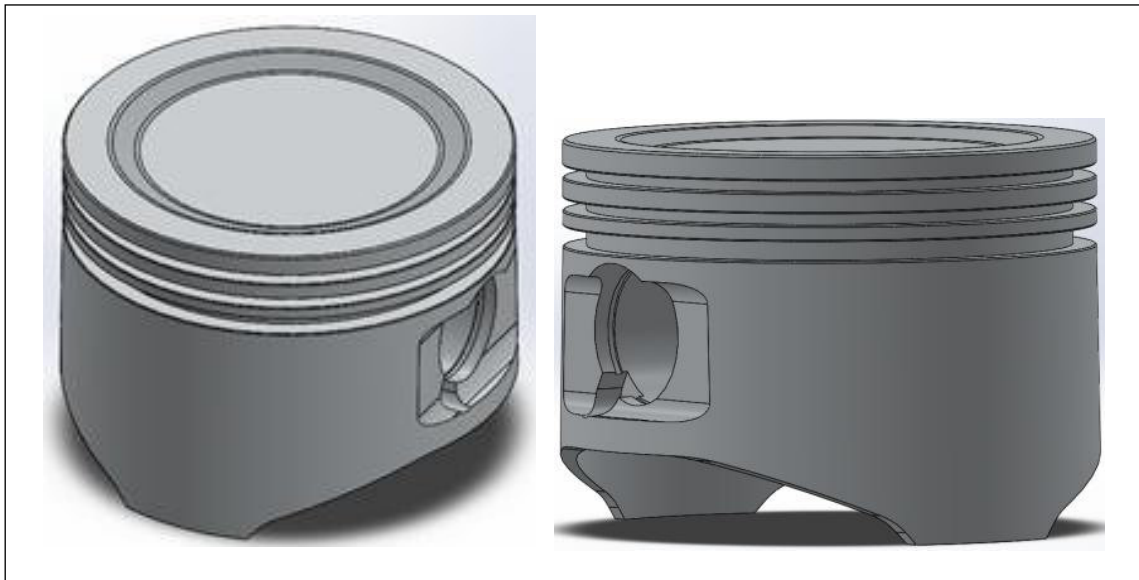
En el anexo 7, se pueden observar las propiedades físicas que posee el material de los pistones estándar y como su resistencia va cambiando con el aumento de temperatura, en el anexo 8, se encuentran las propiedades físicas del material que se debería usar en la fabricación de los pistones, y se puede apreciar claramente que la resistencia es muy superior a la de los pistones originales.

#### 2.1.4.4 Elaboración de diseño en SolidWorks.

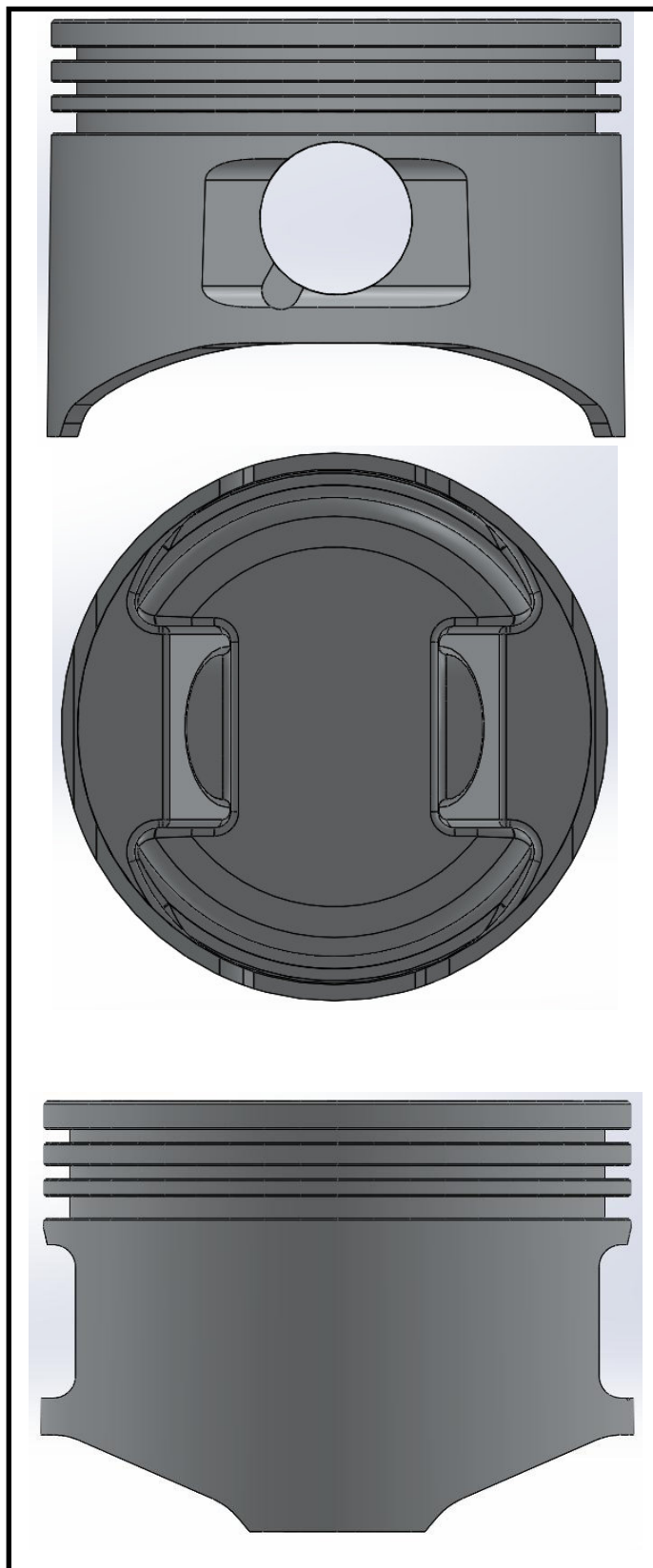
La forma física del pistón correspondiente al motor GX120 es igual a la del pistón del motor GX160, como se ha podido apreciar en el punto 1.4.1.4.1 de este capítulo, con la única diferencia que sus medidas son proporcionales al diámetro del pistón.

Las dimensiones de los diseños realizados en SolidWorks, se basan en las dimensiones que poseen los pistones STD de los respectivos modelos de motor, adicionalmente se han tomado ciertos parámetros de diseño como medidas utilizadas en ciertas partes críticas del pistón, específicamente en los grosores que deben poseer las paredes del pistón. En la tabla 2.8 se pueden apreciar estos parámetros antes mencionados.

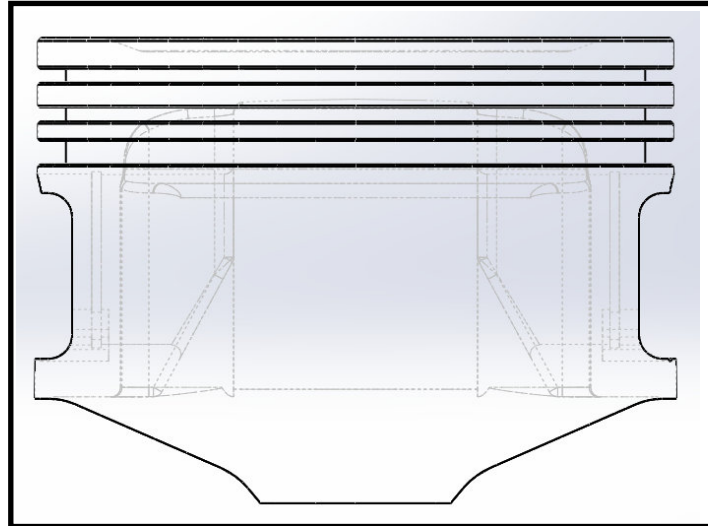
Las medidas reales de los pistones a sobre medida se encuentran en los anexos 3, 4, 5 y 6.



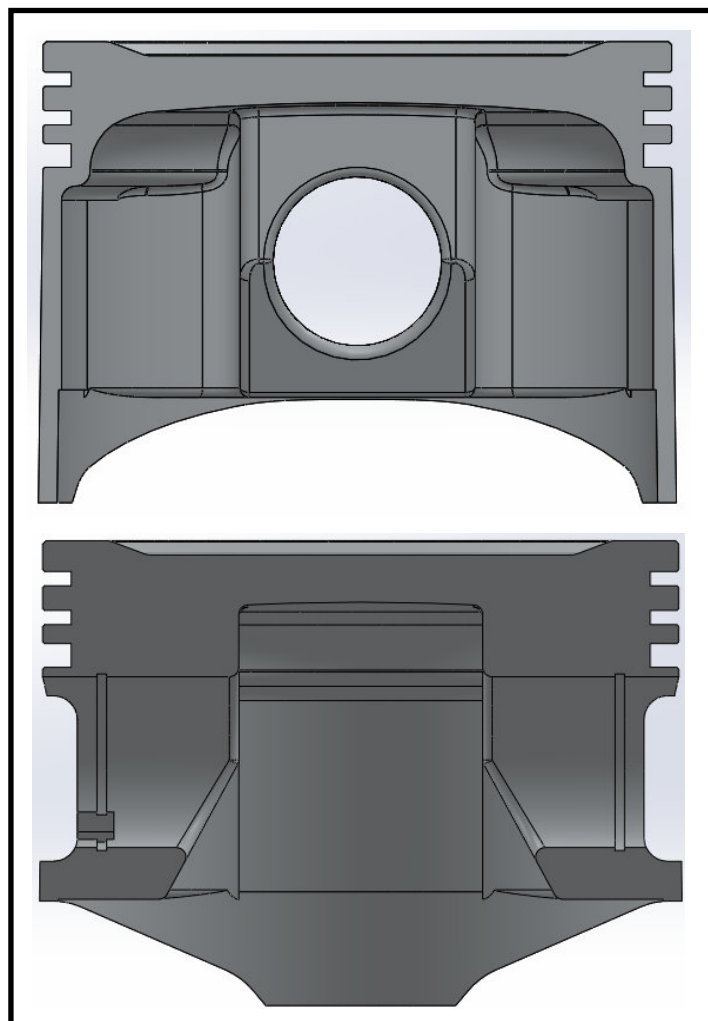
**Figura 2.20 Vista externa del pistón**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas



**Figura 2.21 Vista lateral e inferior del pistón**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas



**Figura 2.22 Vista lateral transparente del pistón**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas



**Figura 2.23 Vista en corte del pistón**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas

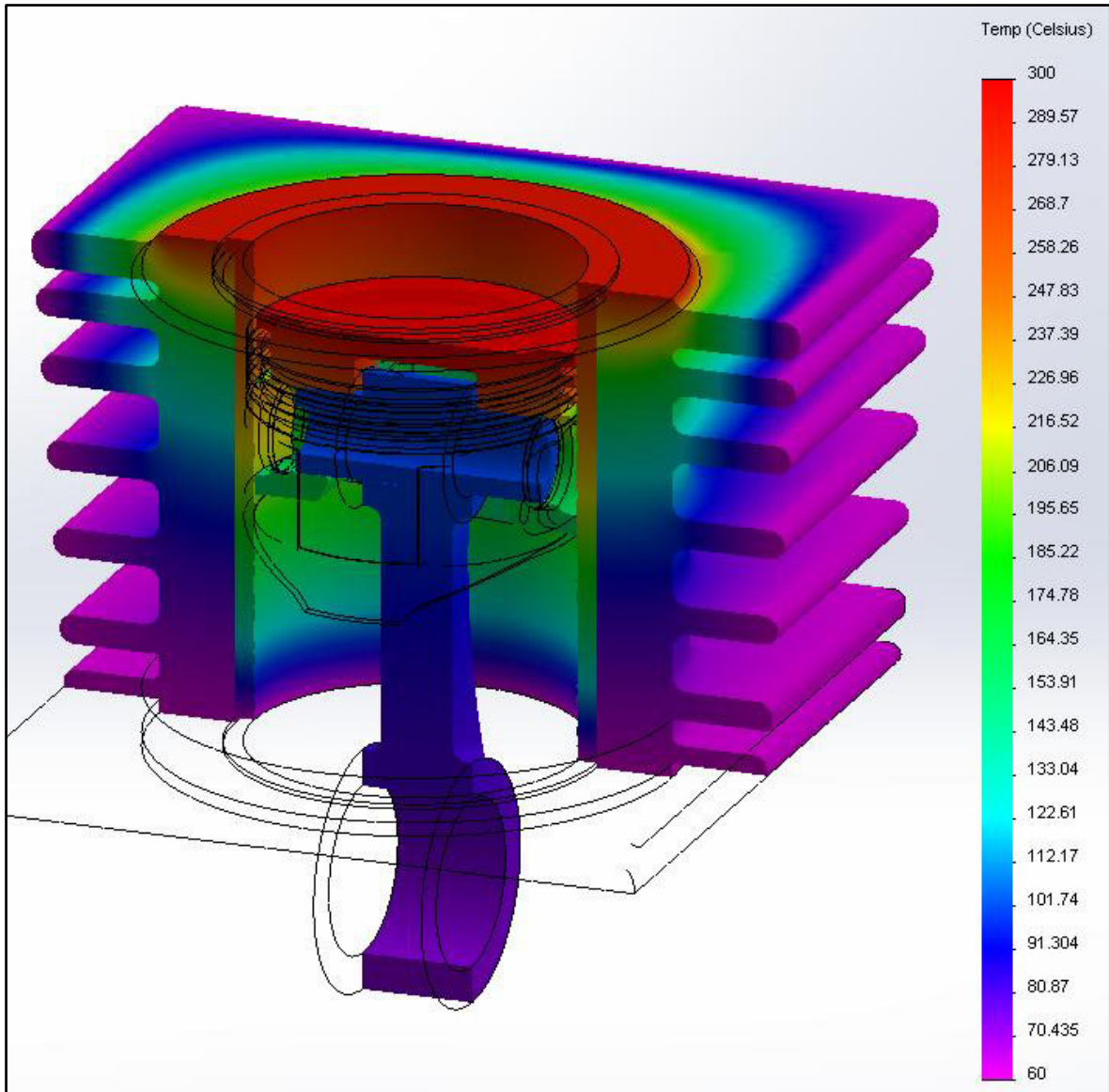
#### **2.1.4.5 Resultados de pruebas del diseño en SolidWorks.**

La temperatura que se ha usado para el análisis térmico, con respecto a la temperatura sobre la cabeza del pistón, ha sido obtenida de acuerdo a los valores que se encuentran en la Tabla 2.9, así mismo en la Tabla 2.10 se observan valores aproximados de la cantidad del flujo de calor que es disipado por las distintas partes del pistón, en la misma tabla, constan además los valores porcentuales de otros tipos de pistones con distinto tipo de enfriamiento de los pistones que se pueden encontrar en motores diésel o gasolina.

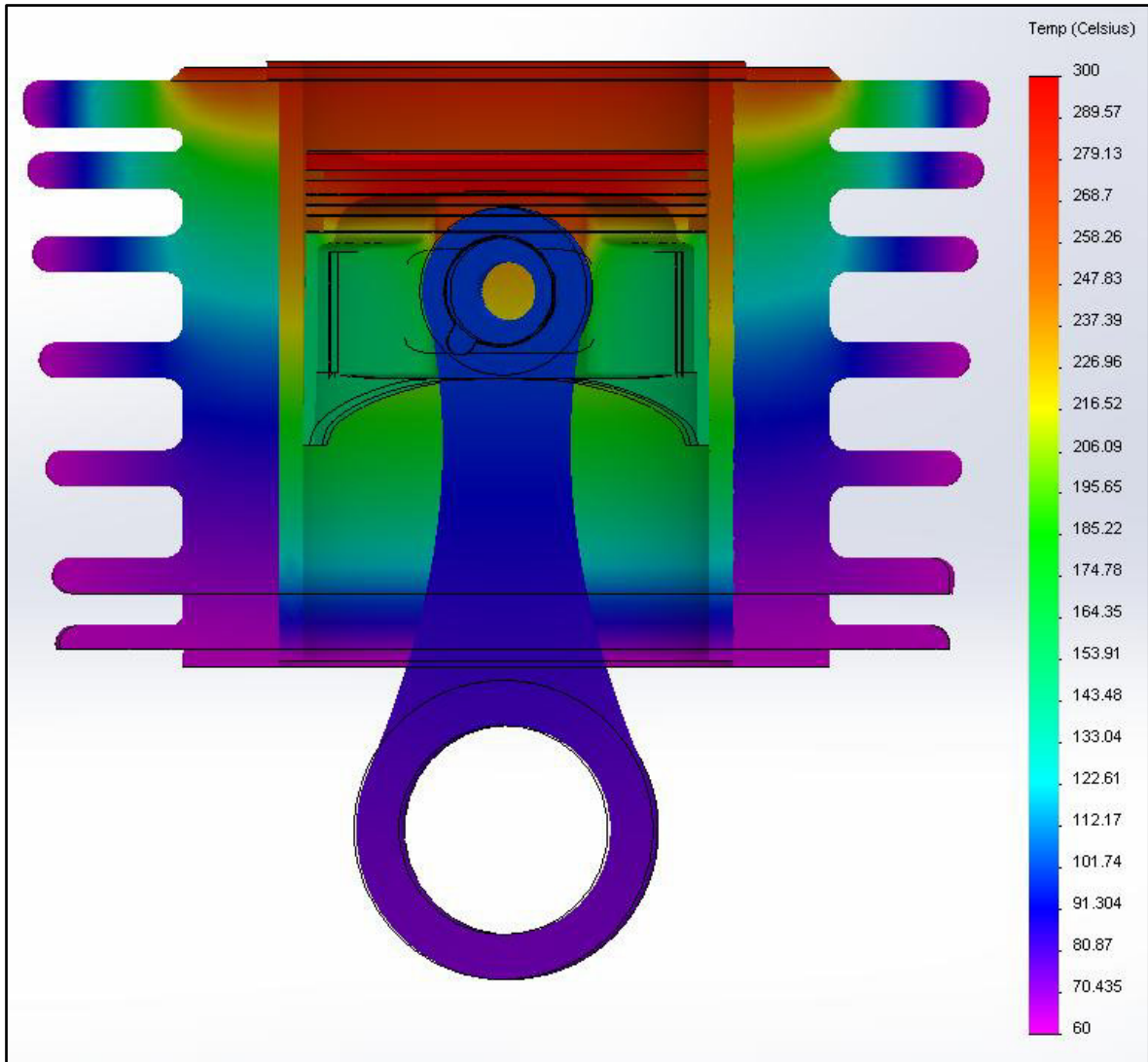
Si bien es cierto que la temperatura de los gases de escape es de más de 900°C, ese calor no es transmitido en su totalidad a la cabeza del pistón, ya que existen otros componentes del motor como la cámara de combustión, válvulas, bujía y la camisa del cilindro, por los cuales se disipa la temperatura hacia el exterior.

La transmisión de temperatura desde los gases de escape hacia los distintos elementos del motor es en forma de convección (transferencia de calor por medio del movimiento de fluidos, ya sea líquido o gas), mientras que entre los componentes del motor, es en forma de conducción (contacto directo entre cuerpos, sin movimiento de partículas).

En la Figura 2.24 y 2.25, se puede observar la transmisión de temperatura desde la cabeza del pistón hacia todos los elementos, los valores que nos arroja el análisis realizado en SolidWorks, se encuentran dentro de los parámetros de temperatura de las tablas 2.9 y 2.10.



**Figura 2.24 Análisis térmico del pistón y motor, vista dimétrica en corte**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas



**Figura 2.25 Análisis térmico del pistón y motor, vista lateral en corte**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas

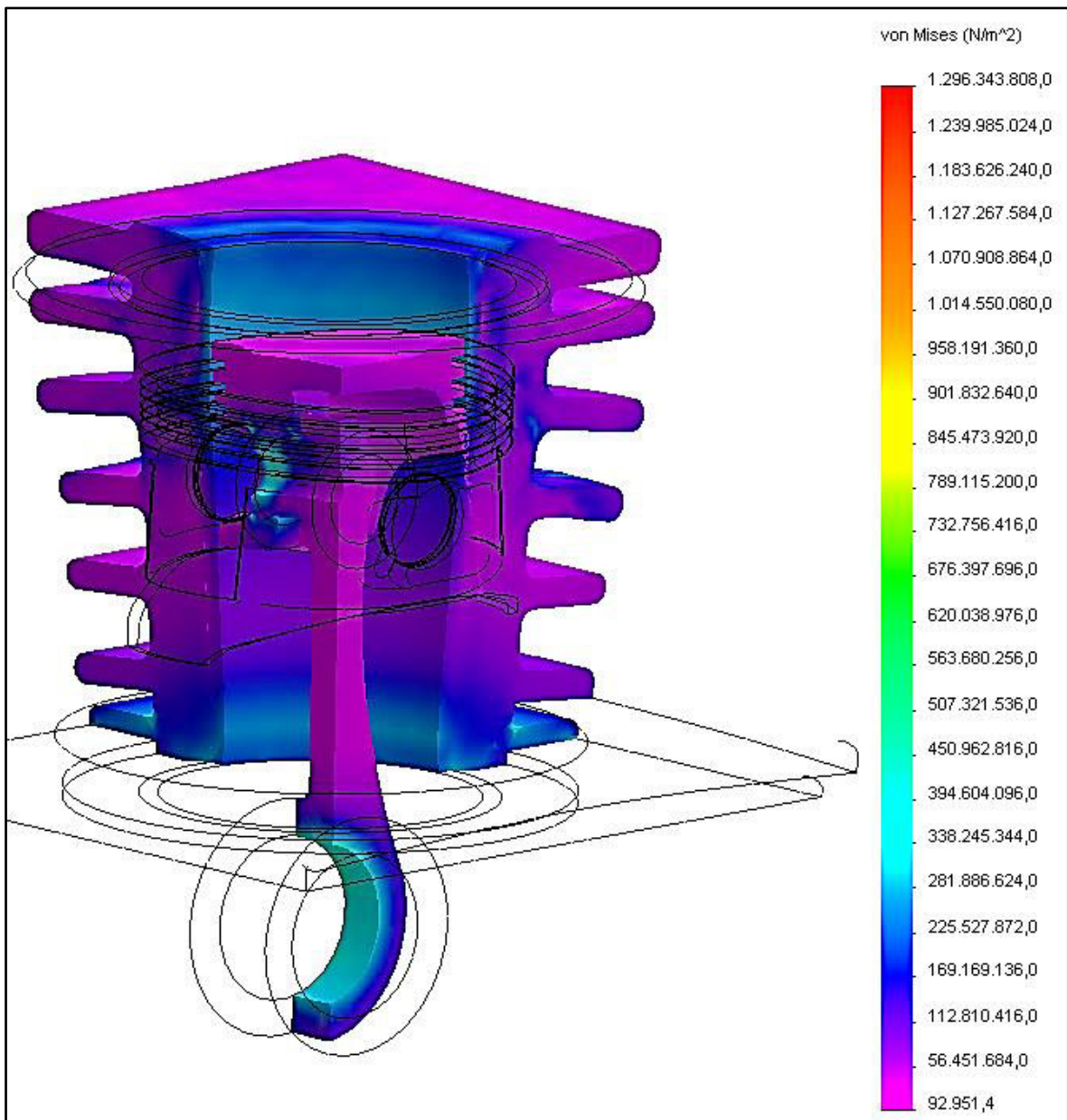
Para el análisis de tensiones y el de desplazamientos, se utilizó la información que nos arrojó el análisis de temperatura de las Figuras 2.24 y 2.25, además se agregó la presión dada por el fabricante de los motores, la cual para los motores Honda GX120 y GX160 es de 121 PSI aproximadamente.

En la Figura 2.26, se muestra en análisis de tensiones que se presentan en el pistón y en el motor en conjunto.

En este tipo de análisis se indican los valores de las tensiones que se presentan en el motor, dichos valores deben ser iguales o menores al límite elástico, caso



contrario el material sufre una deformación plástica y el material pierde la cualidad de retomar su forma inicial, el material queda deformado.

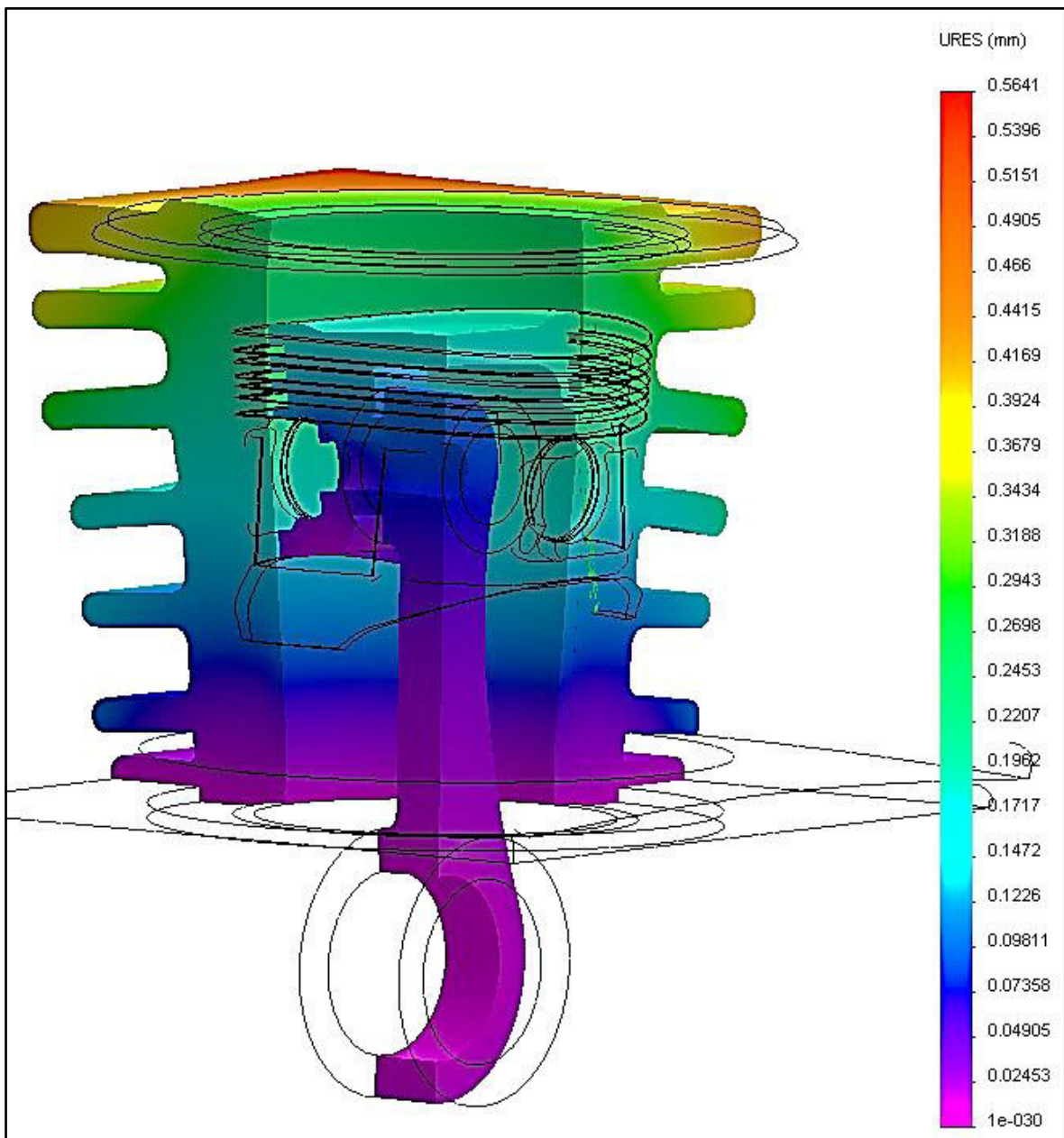


**Figura 2.26 Análisis de tensiones del pistón y motor, vista en corte**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas

En la Figura 2.27, se encuentra el análisis de desplazamientos que sufren los elementos del motor y en especial el pistón. El desplazamiento máximo que tuvo el pistón fue de 0,1717mm aproximadamente, esta medida es un aumento en el diámetro de la cabeza del pistón.





**Figura 2.27** Análisis de desplazamientos del pistón y motor, vista en corte  
 Figura elaborada por: Xavier Guarderas

## CAPITULO III

### Fabricación de pistones para los motores Honda GX120 y GX160

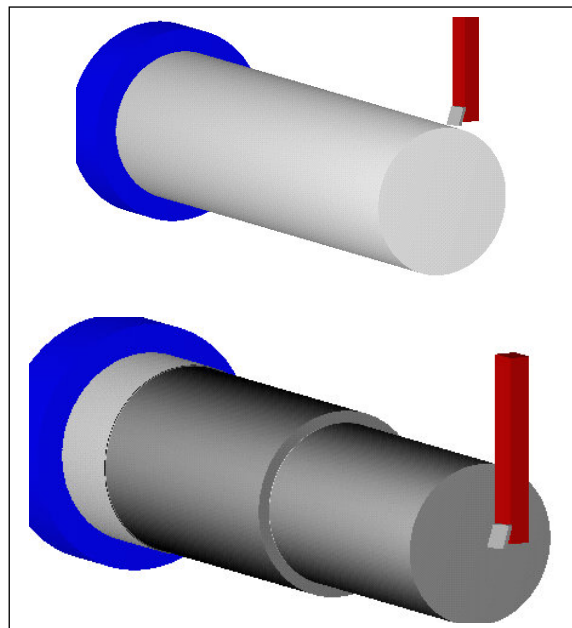
#### 3.1. Programación para las máquinas CNC

La programación CNC se la realizó en dos etapas que son:

- Usada por el torno CNC: En esta programación se encuentra el trabajo de refrendado, cilindrado, ranurado y tronzado que se debe de realizar a cada cilindro de material base. El material base posee 250mm de largo por 70mm de diámetro, de lo cual 50mm se colocan dentro del usillo del torno para realizar el mecanizado y el material restante es el usado para fabricar los pistones.
- Usada por el centro de mecanizado CNC: En este proceso el material base ya ha sido previamente trabajado en el torno y el centro de mecanizado realizará trabajos de vaciado, redondeo, taladrado, desbaste y ranurado. En este proceso el material base es un cilindro sólido, las medidas del cilindro serán de 49mm de largo por 69mm de diámetro para el motor GX160 y de 46mm de largo por 63mm de diámetro para el motor GX120.

##### 3.1.1. Programación de torno CNC.

```
G10 P0 Z-250
G0 G96 G99
T0101 (REFRENDADO Y CILINDRADO)
G50 S3500
S150 M3
G00 X75 Z5
G01 X-1 Z-1
G01 X69
G01 Z-210
G00 X72 Z5
G00 X65
G01 X65 Z-101
G00 X72 Z5
G00 X62
G01 X62 Z-101
G00 X72 Z5
G00 X60.25
G01 X60.25 Z-101
G01 X71
G00 X71 Z2
G00 X0 Z5
```



**Figura 3.1 Refrendado y cilindrado**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas

G1 Z0 (FORMA DE LA CABEZA DE PISTON)

G1 X-1 Z-2

G1 X38

G2 X40 Z-1.80 R2

G1 X46.5 Z-1.2

G03 X48 Z-1 R2

G1 X59.51

G1 X60.010 Z-1.5

G28 U0 M5

G28 W0

G40

T0909 (RANURADOS)

G50 S3000

G96 S80 M3

G00 X65 Z-4.5 (PRIMER PISTÓN)

G01 X55.50 Z-4.5

G00 X62

G00 X62 Z-8

G01 X55.50 Z-8

G00 X62

G00 Z-11

G01 X55.50

G00 X62

G01 Z-11.8

G01 X55.50

G00 X62

G01 Z-12.5

G01 X55.50

G00 X62

G00 X62 Z-54.5 (SEGUNDO PISTÓN)

G01 X55.50 Z-54.5

G00 X62

G00 X62 Z-58

G01 X55.50 Z-58

G00 X62

G00 Z-61

G01 X55.50

G00 X62

G01 Z-61.8

G01 X55.50

G00 X62

G01 Z-62.5

G01 X55.50

G00 X70

G00 X70 Z-105.5 (TERCER PISTÓN)

G01 X61.50 Z-105.5

G00 X70

G00 Z-106

G01 X61.50 Z-106

G00 X70

G00 X70 Z-109.5

G01 X61.50 Z-109.5

G00 X70

G00 Z-110

G01 X61.50 Z-110

G00 X70

G00 Z-113

G01 X61.50

G00 X70

G00 Z-113.8

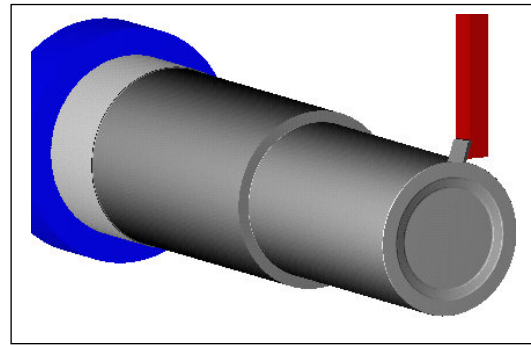


Figura 3.2 Cabeza de pistón

Figura elaborada por: Xavier Guarderas

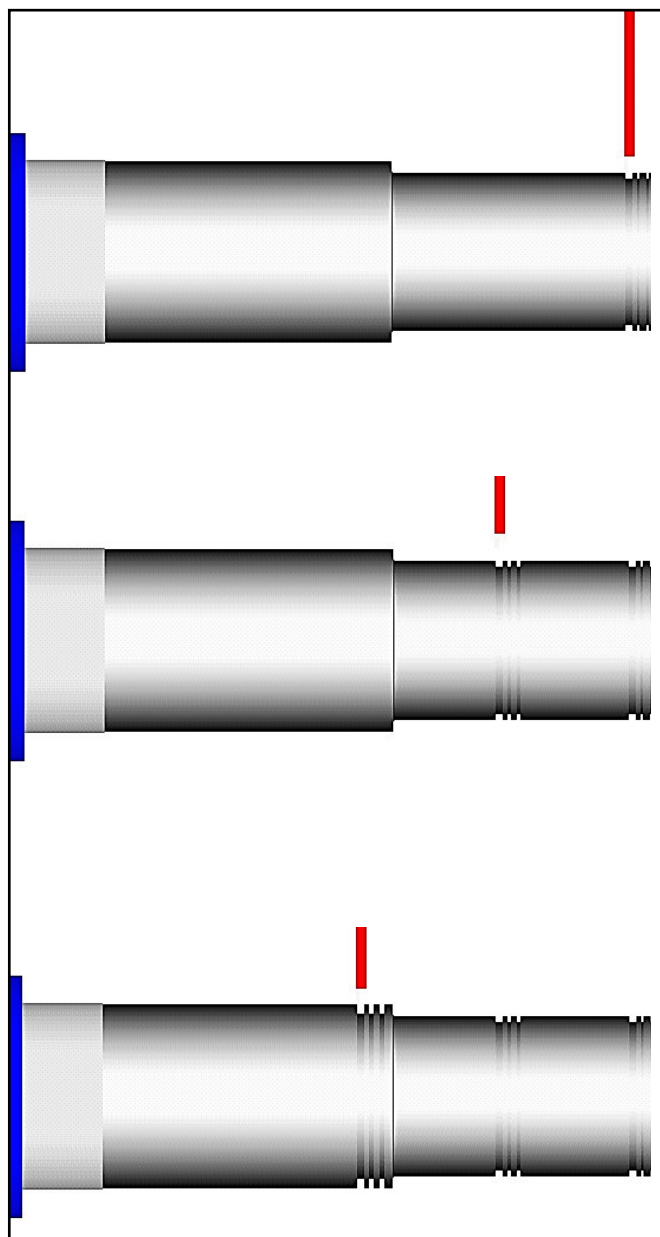


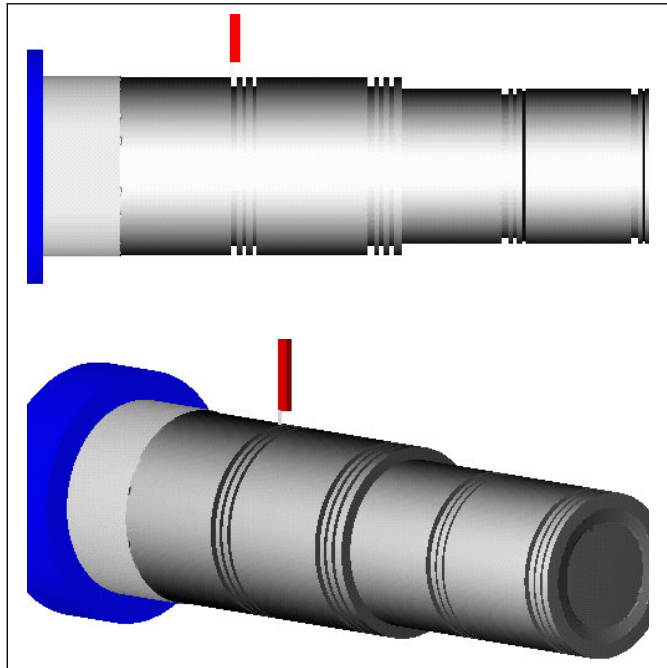
Figura 3.3 Ranurado de pistones 1,2 y3

Figura elaborada por: Xavier Guarderas

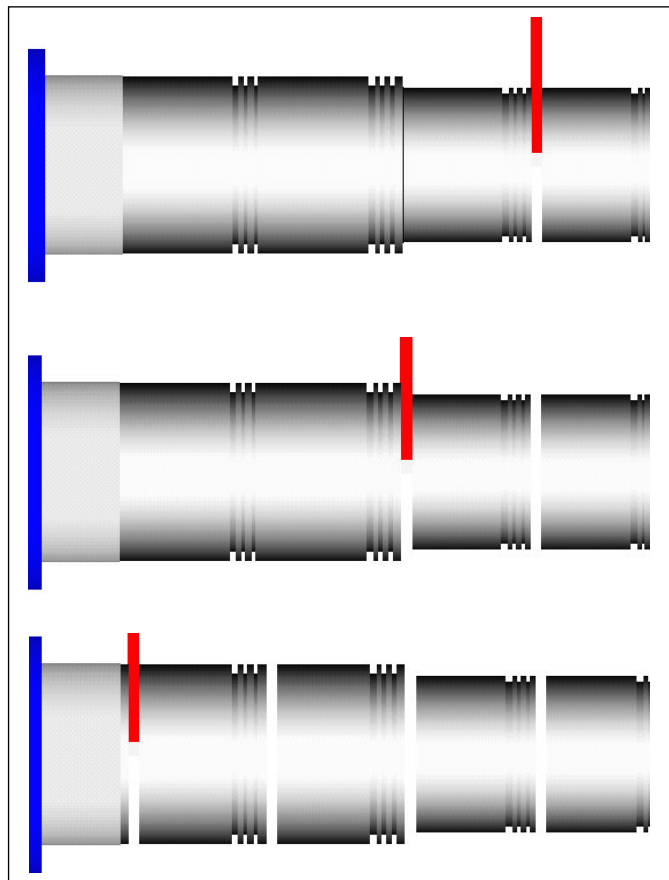
```

G01 X61.50
G00 X70
G00 Z-114.5
G01 X61.50
G00 X70
G00 X70 Z-158.5 (CUARTO PISTÓN)
G01 X61.50 Z-158.5
G00 X70
G00 Z-159
G01 X61.50 Z-159
G00 X70
G00 X70 Z-162.5
G01 X61.50 Z-162.5
G00 X70
G00 Z-163
G01 X61.50 Z-163
G00 X70
G00 Z-166
G01 X61.50
G00 X70
G00 Z-166.8
G01 X61.50
G00 X70
G00 Z-167.5
G01 X61.50
G00 X70
G28 U0 M5
G28 W0
G40
T1010 (TRONZADO)
G50 S3000
G96 S80 M3
G00 X65 Z-51
G01 X-1 Z-51 (1)
G00 X70
G00 X70 Z-101 (2)
G01 X-1
G00 X70
G00 X70 Z-154 (3)
G01 X-1
G00 X70
G00 X70 Z-207 (4)
G01 X-1
G00 X70
G28 U0 M5
G28 W0
G40
M30

```



**Figura 3.4 Ranurado del pistón 4**  
 Figura elaborada por: Xavier Guarderas



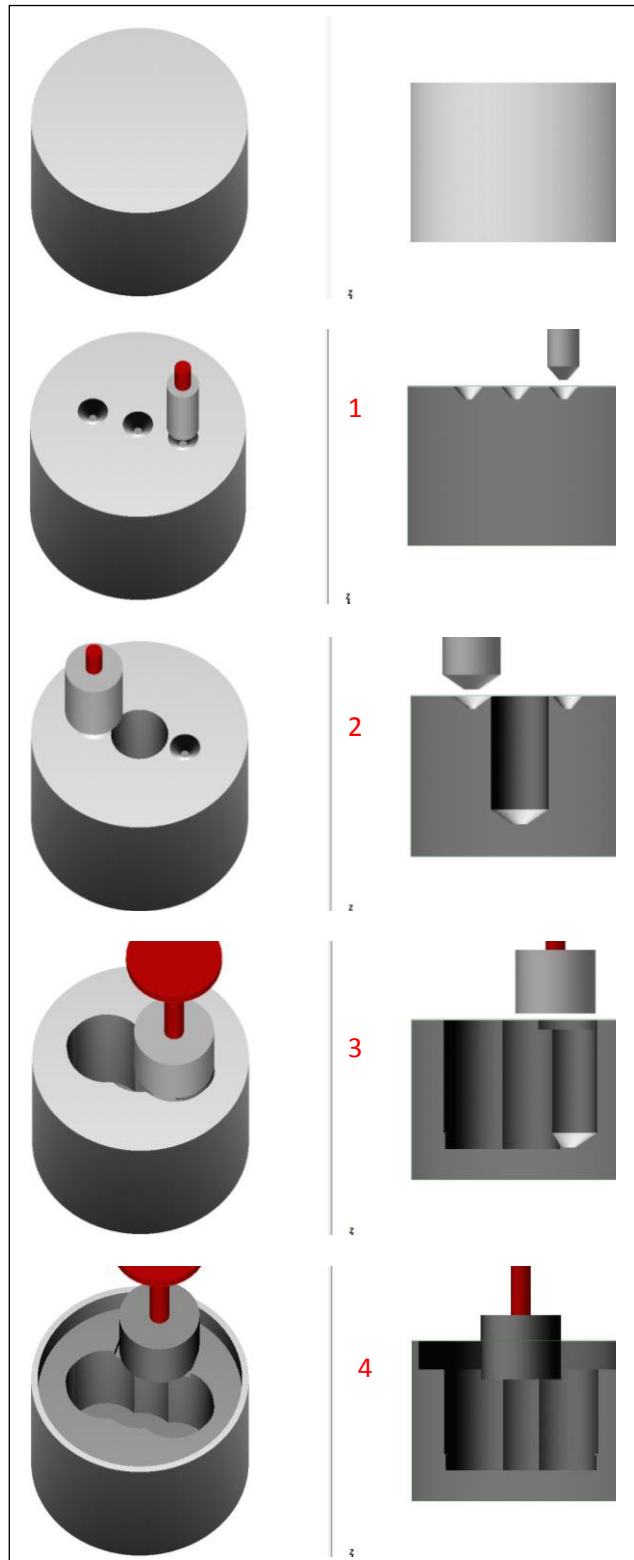
**Figura 3.5 Tronzado de los pistones**  
 Figura elaborada por: Xavier Guarderas

### 3.1.2. Programación de centro de mecanizado CNC.

```

N0010 G91 G28 Z0
N0020 G28 Y0
N0030 T0909 (BROCA DE CENTROS)
N0040 M6
N0050 G94 S600 M3
N0060 G90 G55 G0 X0 Y0
N0070 G43 Z10 H09
N0080 G99 G81 X0 Y0 Z-4 R2 F100
N0090 X-11.16
N0100 X11.16 (1)
N0110 G80 G91 G0 G28 Z0 M5
N0120 G28 Y0
N0130 T1010 (BROCA D18)
N0140 M6
N0150 G94 S650 M3
N0160 G90 G55 G0 X0 Y0
N0170 G43 Z10 H10
N0180 G99 G83 Z-40 Q5. R2 F100
N0190 X0 Y0
N0200 X-11.16 (2)
N0210 X11.16
N0220 G80 G91 G0 G28 Z0 M5
N0230 G28 Y0
N0240 T0303 (FRESA DE D25)
N0250 M6
N0260 G94 S650 M3
N0270 G90 G55 G0 X0 Y0
N0280 G43 Z10 H03
N0290 G99 G83 Z-40.5 Q5. R2 F100
N0300 X0 Y0
N0310 X-11.16 Y0
N0320 X11.16 (3)
N0330 G80
N0340 G0 X0 Y0
N0350 G0 Z-3
N0360 G1 X0 Y19.5
N0370 G2 X0 Y19.5 I0 J-19.5
N0380 G0 X0 Y0 Z2
N0390 G0 X0 Y0
N0400 G0 Z-6
N0410 G1 X0 Y19.5
N0420 G2 X0 Y19.5 I0 J-19.5
N0430 G0 X0 Y0 Z2
N0440 G0 X0 Y0
N0450 G0 Z-9
N0460 G1 X0 Y19.5
N0470 G2 X0 Y19.5 I0 J-19.5
N0480 G0 X0 Y0 Z2
N0490 G0 X0 Y0
N0500 G0 Z-12
N0510 G1 X0 Y19.5 (4)
N0520 G2 X0 Y19.5 I0 J-19.5
N0530 G0 X0 Y0 Z2
N0540 G43 Z10 H03 (FALDA DE PISTÓN)
N0550 G0 X0 Y-50
N0560 G1 Z-2

```



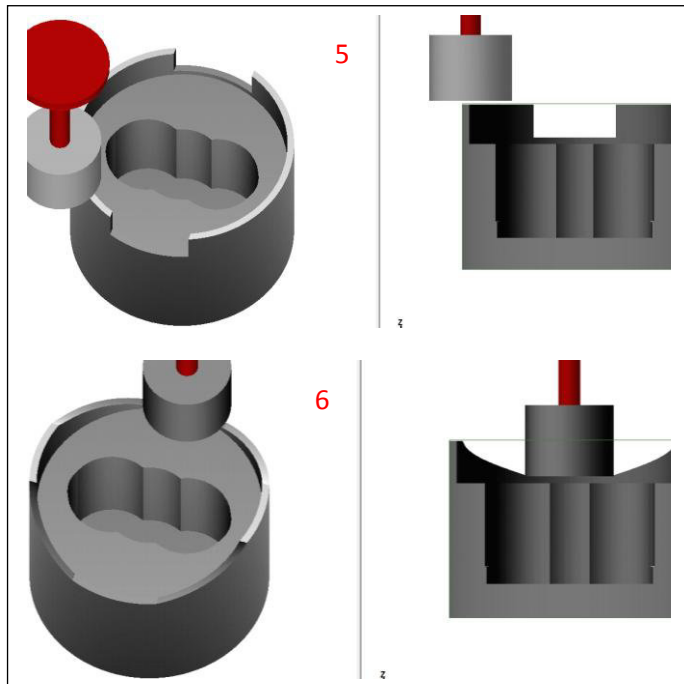
**Figura 3.6 Mecanizado interno del pistón**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas

```

N0570 G1 Y50
N0580 G1 Z-4
N0590 G1 Y-50
N0600 G1 Z-6
N0610 G1 Y50
N0620 G1 Z-8
N0630 G1 Y-50
N0640 G1 Z-10
N0650 G1 Y50
N0660 G0 X0 Y0 Z10
N0670 G0 X-31.5 Y-22.5 Z1 (5)
N0680 G1 Z0
N0690 G1 X0 Y-34 Z-10
N0700 G0 Z1
N0710 G0 X31.5 Y-22.5 Z1
N0720 G1 Z0
N0730 G1 X0 Y-34 Z-10
N0740 G0 Z1
N0750 G0 X31.5 Y22.5
N0760 G1 Z0
N0770 G1 X0 Y34 Z-10
N0780 G0 Z1
N0790 G0 X-31.5 Y22.5

```



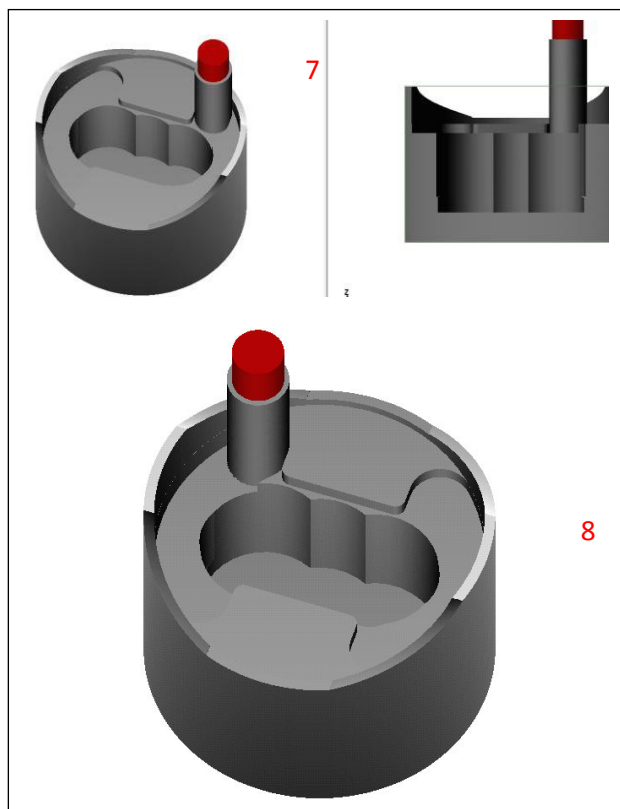
**Figura 3.7 Mecanizado interno del pistón**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas

```

N0810 G1 X0 Y34 Z-10 (6)
N0820 G91 G0 G28 Z0 M5
N0830 G28 Y0
N0840 T0707 (FRESA CILINDRICA D12 H32.15)
N0850 M6
N0860 G94 S2000 F100 M3
N0870 G90 G55 G0 X0 Y0
N0880 G43 Z10 H07
N0890 G0 Z-15
N0900 G42 G1 X10.5 Y-12.97 D07
N0910 G1 X-10.5
N0920 G3 X-12.5 Y-14.85 R2
N0930 G1 X-12.5 Y-18.21
N0940 G40 G1 X-18.5 Y-18.21
N0950 G2 X-18.5 Y18.21 R25.9
N0960 G42 G1 X-12.5 Y18.21
N0970 G1 Y14.85
N0980 G3 X-10.5 Y12.97 R2
N0990 G1 X10.5
N1000 G3 X12.5 Y14.85 R2
N1010 G1 X12.5 Y18.21
N1020 G40 G1 X18.5 Y18.21 (7)
N1030 G2 X18.5 Y-18.21 R25.9
N1040 G42 G1 X12.5 Y-18.21
N1050 G1 X12.5 Y-14.85
N1060 G3 X10.5 Y-12.97 R2
N1070 G1 X-6
N1080 G40 G0 Y0
N1090 G0 Z-18
N1100 G42 G1 X12.5 Y-12.97 D07
N1110 G1 X-10.5
N1120 G3 X-12.5 Y-14.85 R2
N1130 G1 X-12.5 Y-18.21
N1140 G40 G1 X-18.5 Y-18.21
N1150 G2 X-18.5 Y18.21 R25.9
N1160 G42 G1 X-12.5 Y18.21 (8)

```



**Figura 3.8 Mecanizado interno del pistón**

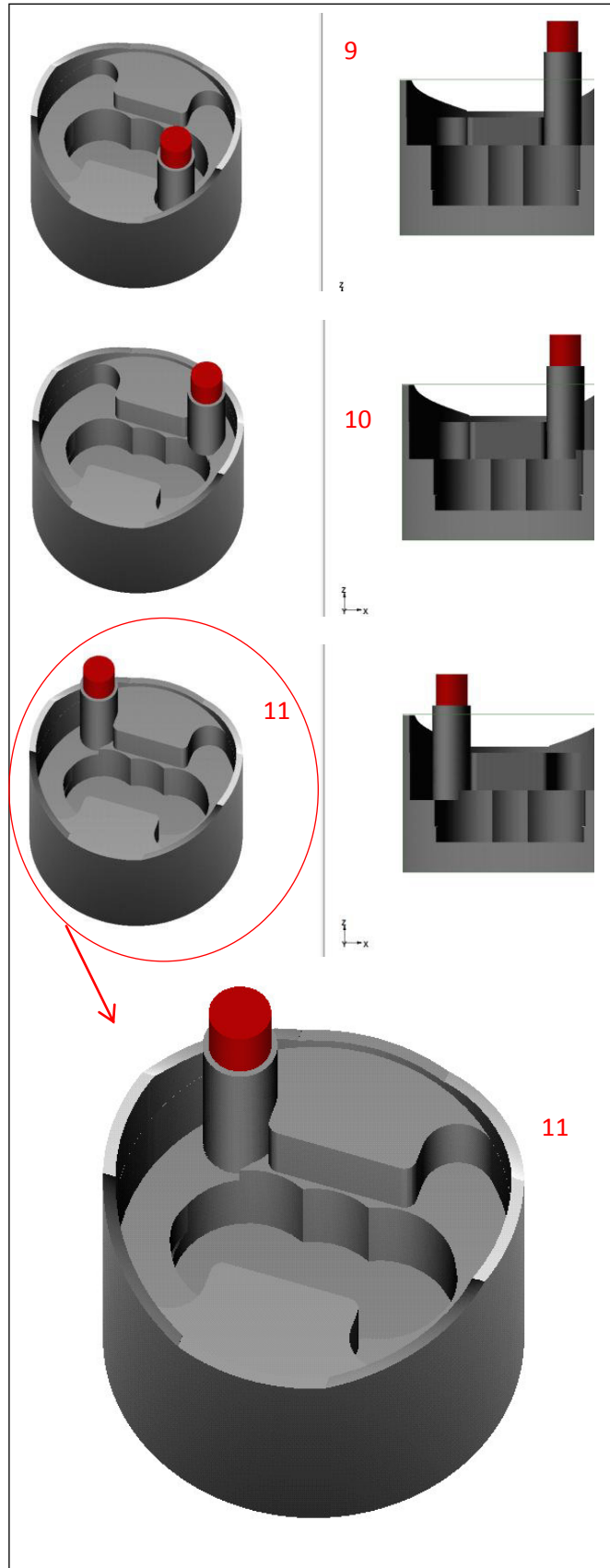
Figura elaborada por: Xavier Guarderas



```

N1170 G1 Y14.85
N1180 G3 X-10.5 Y12.97 R2
N1190 G1 X10.5
N1200 G3 X12.5 Y14.85 R2
N1210 G1 X12.5 Y18.21
N1220 G40 G1 X18.5 Y18.21
N1230 G2 X18.5 Y-18.21 R25.9
N1240 G42 G1 X12.5 Y-18.21
N1250 G1 Y-14.85
N1260 G3 X10.5 Y-12.97 R2
N1270 G1 X-6
N1280 G40 G0 Y0
N1290 G0 Z-21
N1300 G42 G1 X12.5 Y-12.97 D07
N1310 G1 X-10.5
N1320 G3 X-12.5 Y-14.85 R2
N1330 G1 X-12.5 Y-18.21
N1340 G40 G1 X-18.5 Y-18.21
N1350 G2 X-18.5 Y18.21 R25.9
N1360 G42 G1 X-12.5 Y18.21
N1370 G1 Y14.85
N1380 G3 X-10.5 Y12.97 R2
N1390 G1 X10.5
N1400 G3 X12.5 Y14.85 R2
N1410 G1 X12.5 Y18.21
N1420 G40 G1 X18.5 Y18.21
N1430 G2 X18.5 Y-18.21 R25.9
N1440 G42 G1 X12.5 Y-18.21
N1450 G1 Y-14.85 (9)
N1460 G3 X10.5 Y-12.97 R2
N1470 G1 X-6
N1480 G40 G0 Y0
N1490 G0 Z-24
N1500 G42 G1 X10.5 Y-12.97 D07
N1510 G1 X-10.5
N1520 G3 X-12.5 Y-14.85 R2
N1530 G1 X-12.5 Y-18.21
N1540 G40 G1 X-18.5 Y-18.21
N1550 G2 X-18.5 Y18.21 R25.9
N1560 G42 G1 X-12.5 Y18.21
N1570 G1 Y14.85
N1580 G3 X-10.5 Y12.97 R2
N1590 G1 X10.5
N1600 G3 X12.5 Y14.85 R2 (10)
N1610 G1 X12.5 Y18.21
N1620 G40 G1 X18.5 Y18.21
N1630 G2 X18.5 Y-18.21 R25.9
N1640 G42 G1 X12.5 Y-18.21
N1650 G1 Y-14.85
N1660 G3 X10.5 Y-12.97 R2
N1670 G1 X-6
N1680 G40 G0 Y0
N1690 G0 Z-27
N1700 G42 G1 X10.5 Y-12.97 D07
N1710 G1 X-10.5
N1720 G3 X-12.5 Y-14.85 R2
N1730 G1 X-12.5 Y-18.21
N1740 G40 G1 X-18.5 Y-18.21
N1750 G2 X-18.5 Y18.21 R25.9
N1760 G42 G1 X-12.5 Y18.21 (11)

```

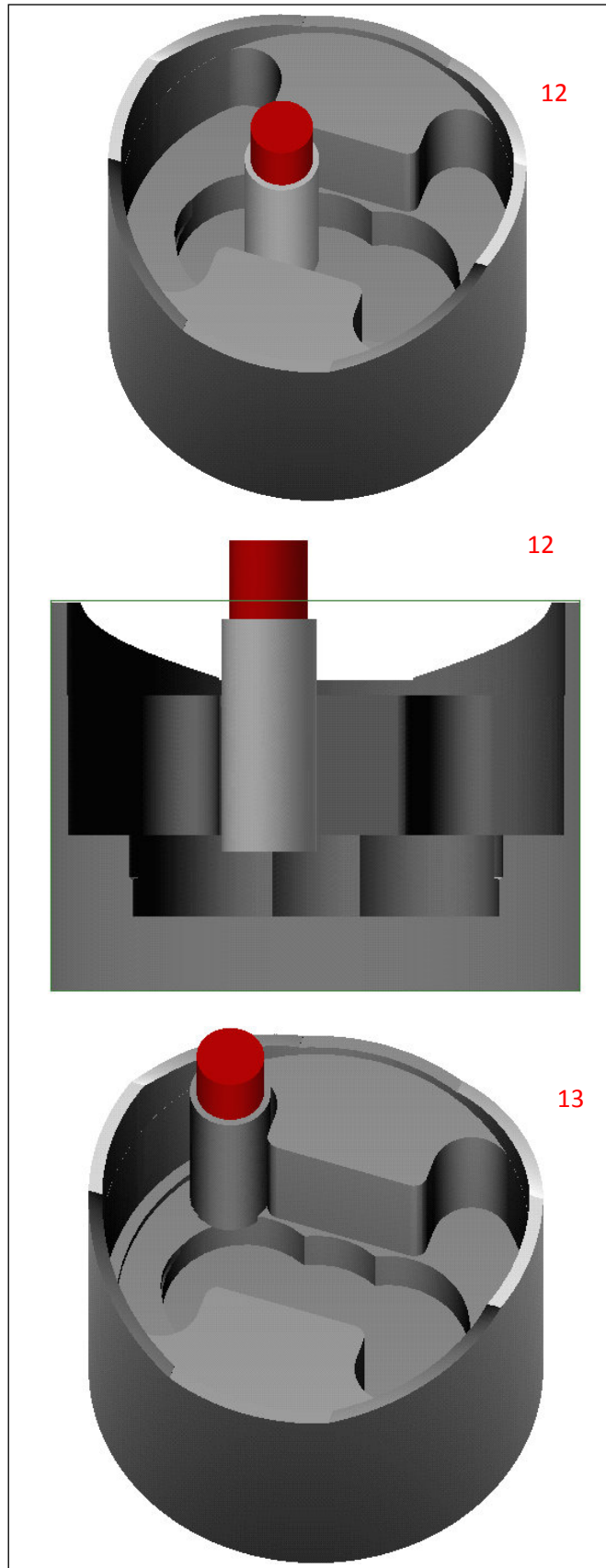


**Figura 3.9 Mecanizado interno del pistón**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas

```

N1770 G1 Y14.85
N1780 G3 X-10.5 Y12.97 R2
N1790 G1 X10.5
N1800 G3 X12.5 Y14.85 R2
N1810 G1 X12.5 Y18.21
N1820 G40 G1 X18.5 Y18.21
N1830 G2 X18.5 Y-18.21 R25.9
N1840 G42 G1 X12.5 Y-18.21
N1850 G1 Y-14.85
N1860 G3 X10.5 Y-12.97 R2
N1870 G1 X-6
N1880 G40 G0 Y0
N1890 G0 Z-30
N1900 G42 G1 X10.5 Y-12.97 D07
N1910 G1 X-10.5
N1920 G3 X-12.5 Y-14.85 R2
N1930 G1 X-12.5 Y-18.21
N1940 G40 G1 X-18.5 Y-18.21
N1950 G2 X-18.5 Y18.21 R25.9
N1960 G42 G1 X-12.5 Y18.21
N1970 G1 Y14.85
N1980 G3 X-10.5 Y12.97 R2
N1990 G1 X10.5
N2000 G3 X12.5 Y14.85 R2
N2010 G1 X12.5 Y18.21
N2020 G40 G1 X18.5 Y18.21
N2030 G2 X18.5 Y-18.21 R25.9
N2040 G42 G1 X12.5 Y-18.21
N2050 G1 Y-14.85
N2060 G3 X10.5 Y-12.97 R2
N2070 G1 X-6
N2080 G40 G0 Y0
N2090 G0 Z-32.15 (12)
N2100 G42 G1 X10.5 Y-12.97 D07
N2110 G1 X-10.5
N2120 G3 X-12.5 Y-14.85 R2
N2130 G1 X-12.5 Y-18.21
N2140 G40 G1 X-18.5 Y-18.21
N2150 G2 X-18.5 Y18.21 R25.9
N2160 G42 G1 X-12.5 Y18.21
N2170 G1 Y14.85
N2180 G3 X-10.5 Y12.97 R2
N2190 G1 X10.5
N2200 G3 X12.5 Y14.85 R2
N2210 G1 X12.5 Y18.21
N2220 G40 G1 X18.5 Y18.21
N2230 G2 X18.5 Y-18.21 R25.9
N2240 G42 G1 X12.5 Y-18.21
N2250 G1 Y-14.85
N2260 G3 X10.5 Y-12.97 R2
N2270 G1 X-6
N2280 G40 G0 Y0 (FRESA H-33.65)
N2290 G0 Z-33.65
N2300 G42 G1 X10.5 Y-12.97 D07
N2310 G1 X-10.5
N2320 G3 X-12.5 Y-14.85 R2
N2330 G1 X-12.5 Y-15.29
N2340 G40 G1 X-18.5 Y-15.29
N2350 G2 X-18.5 Y15.29 R24
N2360 G42 G1 X-12.5 Y15.29 (13)

```



**Figura 3.10 Mecanizado interno del pistón**

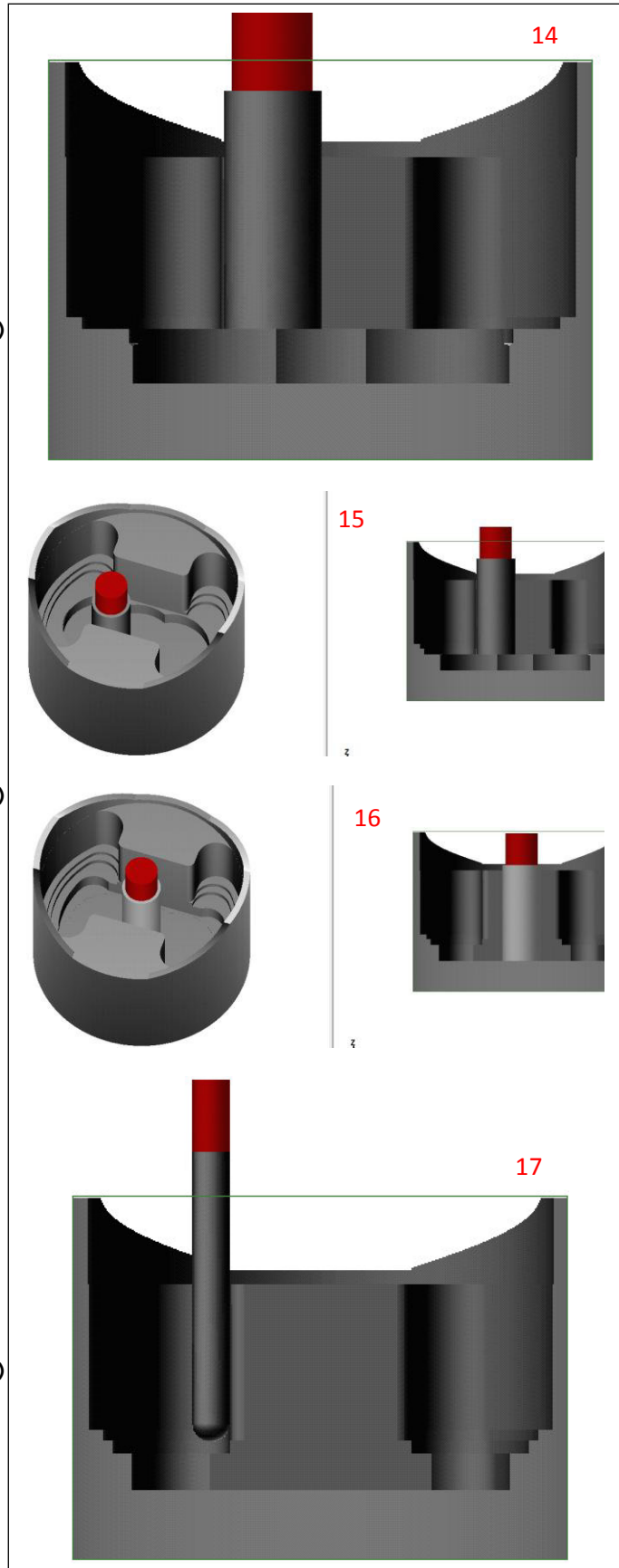
Figura elaborada por: Xavier Guarderas



```

N2370 G1 Y14.85
N2380 G3 X-10.5 Y12.97 R2
N2390 G1 X10.5
N2400 G3 X12.5 Y14.85 R2
N2410 G1 X12.5 Y15.29
N2420 G40 G1 X18.5 Y15.29
N2430 G2 X18.5 Y-15.29 R24
N2440 G42 G1 X12.5 Y-15.29
N2450 G1 Y-14.85
N2460 G3 X10.5 Y-12.97 R2
N2470 G1 X-6 (14)
N2480 G40 G0 Y0 (FRESA H-35.35)
N2490 G0 Z-35.35
N2500 G42 G1 X10.5 Y-12.97 D07
N2510 G1 X-12.5
N2520 G1 X-12.5 Y-13.10
N2530 G40 G1 X-18.5 Y-13.10
N2540 G2 X-18.5 Y13.10 R22.50
N2550 G1 X-18.5 Y13.10
N2560 G1 X-18.5 Y6.97
N2570 G1 X-12.5 Y6.97
N2580 G1 X18.5
N2590 G1 Y13.10
N2600 G40 G1 X18.5 Y13.10
N2610 G2 X18.5 Y-13.10 R22.50
N2620 G1 X18.5 Y-13.10
N2630 G42 G1 Y-12.97
N2640 G1 X-6 (15)
N2650 G40 G0 Y0 (FRESA H-40.42)
N2660 G0 Z-40.42
N2670 G42 G1 X10.5 Y-12.97 D07
N2680 G1 X-12.5
N2690 G1 Y-12.97
N2700 G1 X-18.5 Y-12.97
N2710 G40 G1 X-18.5 Y-7.96
N2720 G2 X-18.5 Y7.96 R20.14
N2730 G1 X-18.5 Y7.96
N2740 G1 X-18.5 Y6.97
N2750 G1 X-12.5 Y6.97
N2760 G1 X18.5
N2770 G1 Y7.97
N2780 G40 G1 X18.5 Y7.96
N2790 G2 X18.5 Y-7.96 R20.14
N2800 G1 X18.5 Y-7.96
N2810 G42 G1 Y-12.97
N2820 G1 X-6
N2830 G40 G0 X0 Y0 (16)
N2840 G91 G28 Z0 M5
N2850 G28 Y0
N2860 T1111 (FRESA DE RADIO D5)
N2870 M6
N2880 G94 S2000 F100 M3
N2890 G90 G55 G0 X0 Y0
N2900 G43 Z10 H11
N2910 G0 Z-33.75
N2920 G42 G1 X10.5 Y-12.97 D11
N2930 G1 X-10.5
N2940 G3 X-12.5 Y-14.85 R2
N2950 G1 X-12.5 Y-18.12
N2960 G40 G1 X-15 Y-18.12 (17)

```

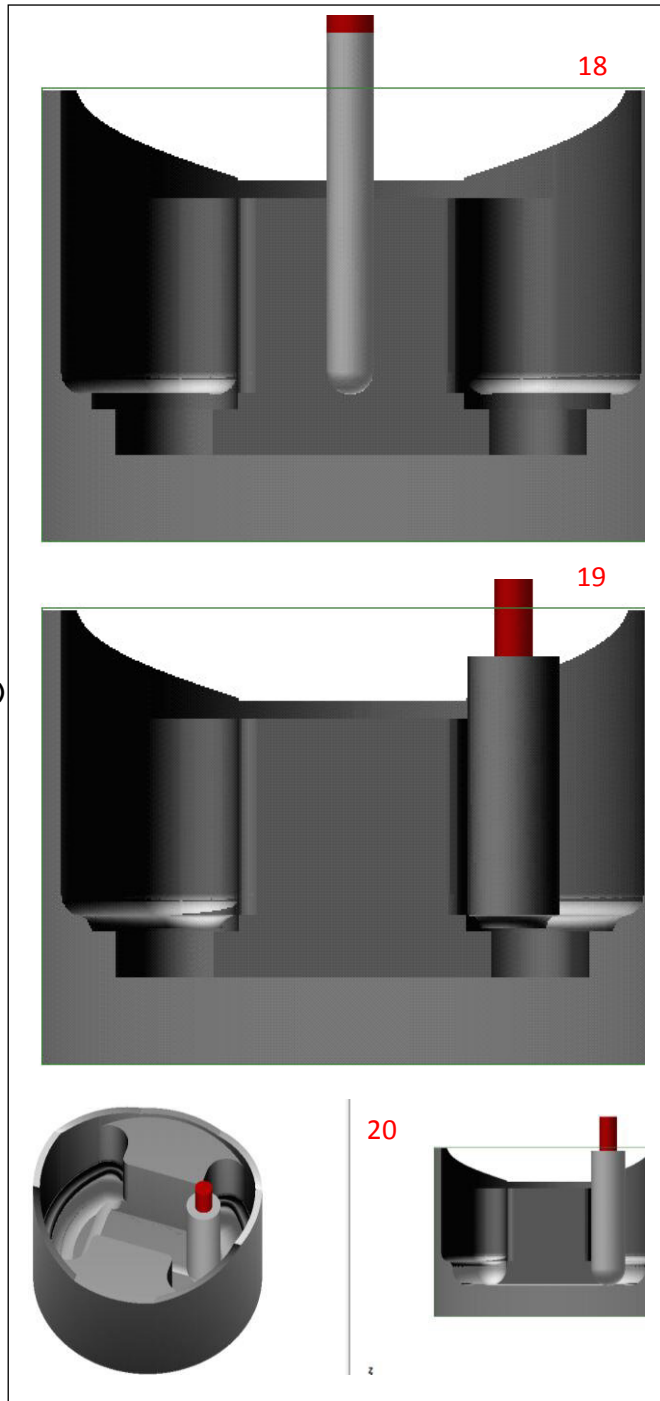


**Figura 3.11 Mecanizado interno del pistón**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas

```

N2970 G2 X-21.30 Y-20.43 R3.5
N2980 G2 X-21.30 Y20.43 R29.51
N2990 G2 X-15 Y18.12 R3.5
N3000 G42 G1 X-12.5 Y18.12
N3010 G1 Y14.85
N3020 G3 X-10.5 Y12.97 R2
N3030 G1 X10.5
N3040 G3 X12.5 Y14.85 R2
N3050 G1 X12.5 Y18.12
N3060 G40 G1 X15 Y18.12
N3070 G2 X21.3 Y20.43 R3.5
N3080 G2 X21.3 Y-20.43 R29.51
N3090 G2 X15 Y-18.12 R3.5
N3100 G42 G1 X12.5 Y-18.12
N3110 G1 Y-14.85
N3120 G3 X10.5 Y-12.97 R2
N3130 G1 X-6
N3140 G40 G0 X0 Y0 (18)
N3150 G91 G28 Z0 M5
N3160 G28 Y0
N3170 T1414
N3180 M6 (FRESA 1/4 DE RAD D10)
N3190 G94 S2000 F100 M3
N3200 G90 G55 G0 X-17.80 Y0
N3210 G1 Z-35.1
N3220 G1 X-17.80 Y-18 D14
N3230 G2 X-17.80 Y18 R25.31
N3240 G1 X-17.80 Y0
N3250 G1 X17.80 Y0
N3260 G1 Y18
N3270 G2 X17.80 Y-18 R25.31
N3280 G1 Y0
N3290 G40 G0 Y0 (19)
N3300 G91 G40 G28 Z0 M5
N3310 G28 Y0
N3320 T1212 (FRESA RADIO D10)
N3330 M6 G94 S200 F100 M3
N3340 G90 G55 G0 X-17.50 Y0
N3350 G1 Z-40.86 D12
N3360 G1 X-17.60 Y-16
N3370 G2 X-17.60 Y16 R23.79
N3380 G1 Y0
N3390 G1 X17.60 Y0
N3400 G1 Y16
N3410 G2 X17.60 Y-16 R23.79
N3420 G1 Y0 (20)
N3430 G40 G0 X0 Y0
N3440 G0 X0 Y0 Z0
N3450 G0 X23.72 Y0
N3460 G0 Z-38
N3470 G1 Z-40.86 (21)
N3480 G18 G2 X-23.72 Z-40.86 R143.32 (1) (22)
N3490 G17 G0 X0 Y0 Z-30
N3500 G0 X23.62 Y0.5326
N3510 G0 Z-38
N3520 G1 Z-40.86
N3530 G18 G2 X-23.628 Z-40.86 R143.32 (2)
N3540 G17 G3 X-23.628 Y-0.5326 R23.72
N3550 G18 G3 X23.628 Z-40.86 R143.32
N3560 G17 G3 X23.536 Y1.0653 R23.72 (3)

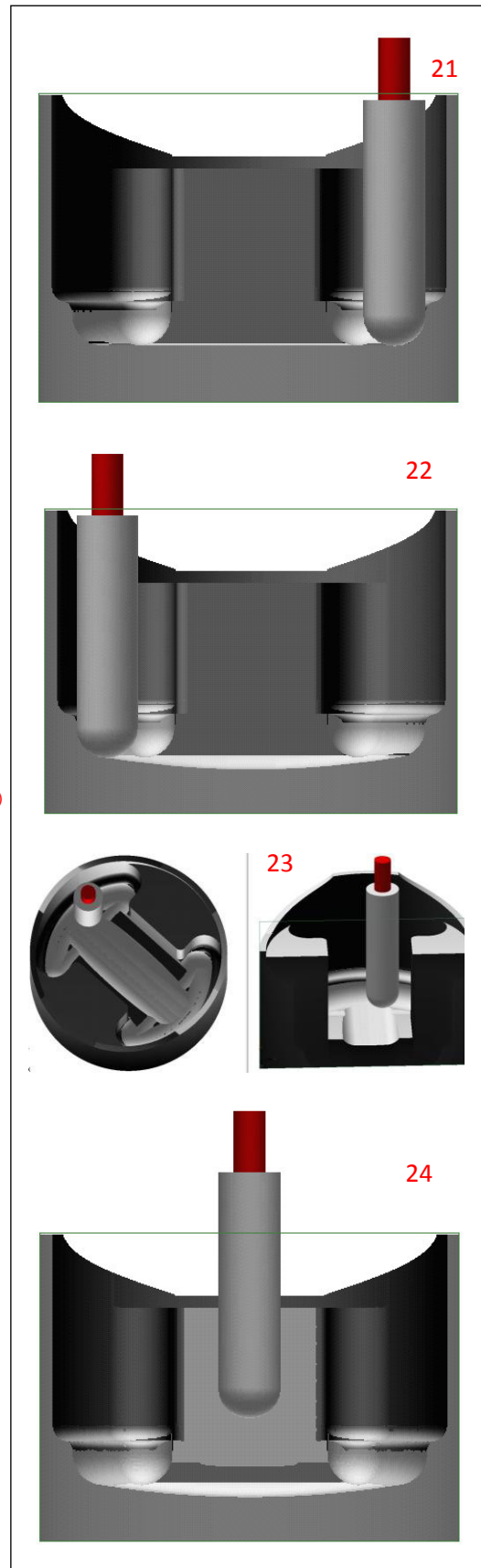
```



**Figura 3.12 Mecanizado interno del pistón**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas

N3570 G18 G2 X-23.536 Z-40.86 R143.32  
 N3580 G17 G3 X-23.536 Y-1.0653 R23.72  
 N3590 G18 G3 X23.536 Z-40.86 R143.32  
 N3600 G17 G3 X23.444 Y1.598 R23.72 (4)  
 N3610 G18 G2 X-23.444 Z-40.86 R143.32  
 N3620 G17 G3 X-23.444 Y-1.598 R23.72  
 N3630 G18 G3 X23.444 Z-40.86 R143.32  
 N3640 G17 G3 X23.352 Y2.1306 R23.72 (5)  
 N3650 G18 G2 X-23.352 Z-40.86 R143.32  
 N3660 G17 G3 X-23.352 Y-2.1306 R23.72  
 N3670 G18 G3 X23.352 Z-40.86 R143.32  
 N3680 G17 G3 X23.26 Y2.6633 R23.72 (6)  
 N3690 G18 G2 X-23.26 Z-40.86 R143.32  
 N3700 G17 G3 X-23.26 Y-2.6633 R23.72  
 N3710 G18 G3 X23.26 Z-40.86 R143.32  
 N3720 G17 G3 X23.168 Y3.196 R23.72 (7)  
 N3730 G18 G2 X-23.168 Z-40.86 R143.32  
 N3740 G17 G3 X-23.168 Y-3.196 R23.72  
 N3750 G18 G3 X23.168 Z-40.86 R143.32  
 N3760 G17 G3 X23.076 Y3.7286 R23.72 (8)  
 N3770 G18 G2 X-23.076 Z-40.86 R143.32  
 N3780 G17 G3 X-23.076 Y-3.7286 R23.72  
 N3790 G18 G3 X23.076 Z-40.86 R143.32  
 N3800 G17 G3 X22.984 Y4.2613 R23.72 (9)  
 N3810 G18 G2 X-22.984 Z-40.86 R143.32  
 N3820 G17 G3 X-22.984 Y-4.2613 R23.72  
 N3830 G18 G3 X22.984 Z-40.86 R143.32  
 N3840 G17 G3 X22.892 Y4.794 R23.72 (10)  
 N3850 G18 G2 X-22.892 Z-40.86 R143.32 (23)  
 N3860 G17 G3 X-22.892 Y-4.794 R23.72  
 N3870 G18 G3 X22.892 Z-40.86 R143.32  
 N3880 G17 G3 X22.8 Y5.3266 R23.72 (11)  
 N3890 G18 G2 X-22.8 Z-40.86 R143.32  
 N3900 G17 G3 X-22.8 Y-5.3266 R23.72  
 N3910 G18 G3 X22.8 Z-40.86 R143.32  
 N3920 G17 G3 X22.708 Y5.8593 R23.72 (12)  
 N3930 G18 G2 X-22.708 Z-40.86 R143.32  
 N3940 G17 G3 X-22.708 Y-5.8593 R23.72  
 N3950 G18 G3 X22.708 Z-40.86 R143.32  
 N3960 G17 G3 X22.616 Y6.392 R23.72 (13)  
 N3970 G18 G2 X-22.616 Z-40.86 R143.32  
 N3980 G17 G3 X-22.616 Y-6.392 R23.72  
 N3990 G18 G3 X22.616 Z-40.86 R143.32  
 N4000 G17 G3 X22.524 Y6.9246 R23.72 (14)  
 N4010 G18 G2 X-22.524 Z-40.86 R143.32  
 N4020 G17 G3 X-22.524 Y-6.9246 R23.72  
 N4030 G18 G3 X22.524 Z-40.86 R143.32  
 N4040 G17 G3 X22.432 Y7.4573 R23.72 (15)  
 N4050 G18 G2 X-22.432 Z-40.86 R143.32  
 N4060 G17 G3 X-22.432 Y-7.4573 R23.72  
 N4070 G18 G3 X22.432 Z-40.86 R143.32  
 N4080 G17 G3 X22.34 Y7.99 R23.72 (16)  
 N4090 G18 G2 X-22.34 Z-40.86 R143.32  
 N4100 G17 G3 X-22.34 Y-7.99 R23.72  
 N4110 G18 G3 X22.34 Z-40.86 R143.32  
 N4120 G0 X0 Y0 Z-30  
 N4130 G0 X0 Y0  
 N4140 G91 G40 G28 Z0 M5  
 N4150 G28 Y0  
 N4160 M30 (24)



**Figura 3.13 Mecanizado interno del pistón**

Figura elaborada por:  
Xavier Guarderas

### 3.1.3. Programación del centro de mecanizado CNC (bulón).

```

G28 Y0
T1010 (BROCA D18)
M6 (ALOJAMIENTO DE BULÓN)
G94 S650 M3
G90 G55 G0 X25.65 Y0 Z50
G43 Z10 H10
G99 G83 Z-34 Q5. R2 F100 L0 (25)
G80 G91 G0 G28 Z0 M5
G28 Y0
M00
T1515 (FRESA CILINDRICA DE D12)
M6 (ALIVIANADO)
G94 S2000 M3
G90 G55 G0 X25.65 Y34
G43 Z-4 H15
G41 G1 X14.65
G1 Y-34
G1 X32.10
G1 Y34 (26)
G91 G0 G28 Z0 M5
G28 Y0
T1111 (FRESA CILINDRICA DE D5)
M6 (ESPACIO PARA EXTRAER SEGURO)
G94 S2000 M3
G90 G55 G0 X17.20 Y6.5
G43 Z10 H11
G99 G83 Z-9 R2 Q4.5 F100 L0 (27)
X17.20 Y6.5
G80
G1 Z-9
G1 X25.65 Y0
G0 Z5
G91 G0 G28 Z0 M5
G28 Y0
T1616 (FRESA CILINDRICA DE D12)
M6 (ALOJAMIENTO PARA SEGURO)
G94 S2000 M3
G90 G55 G0 X25.65 Y0
G43 Z-7 H16 (28)
G1 X29.15 Y0
G2 X29.15 Y0 I-3.5 J0
G0 X25.65 Y0
G91 G0 G28 Z0
G28 Y0
M30 (29)

```

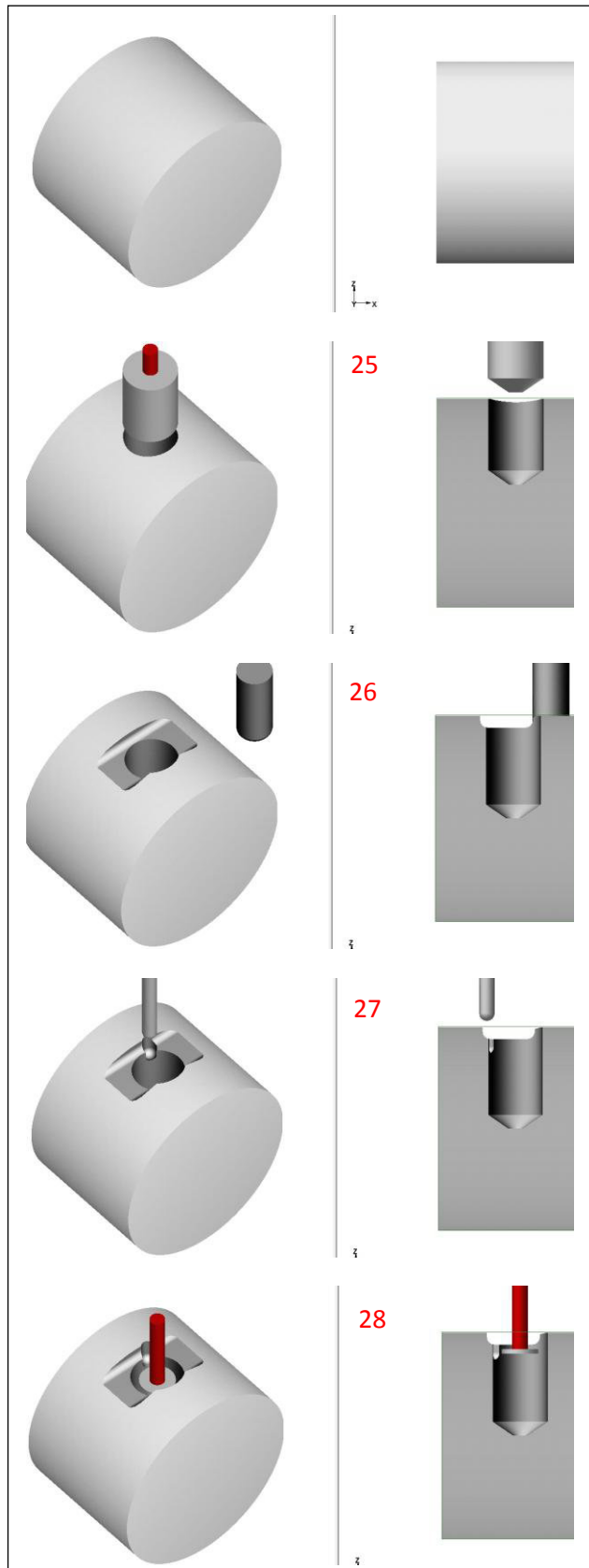
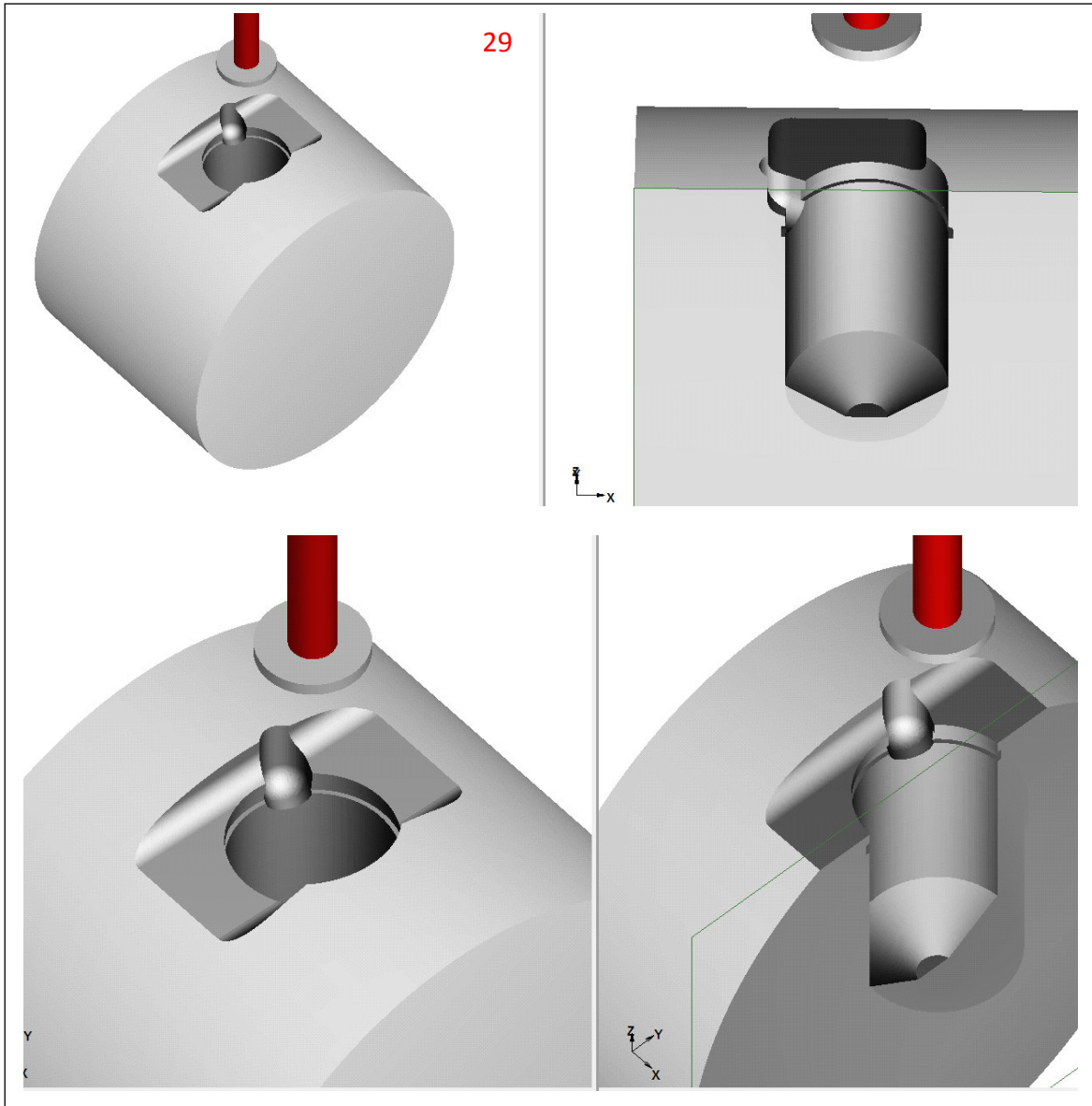


Figura 3.14 Mecanizado lateral del pistón  
 Figura elaborada por: Xavier Guarderas



**Figura 3.15 Mecanizado lateral del pistón**  
 Figura elaborada por: Xavier Guarderas

### 3.2. Fabricación

El proceso de fabricación inicia con el corte del material previamente seleccionado, el cual posee una longitud de 250mm y un diámetro de 75mm. Se coloca el material base en el mandril del torno CNC, y se procederá a realizar un trabajo de refrendado y cilindrado con un inserto de desbaste de exteriores, (Figura. 3.14) esto se lo realiza antes de comenzar con el mecanizado definitivo, ya que el material base, pudiera poseer alguna variación del diámetro a lo largo del material o una inclinación en la cara frontal del cilindro.

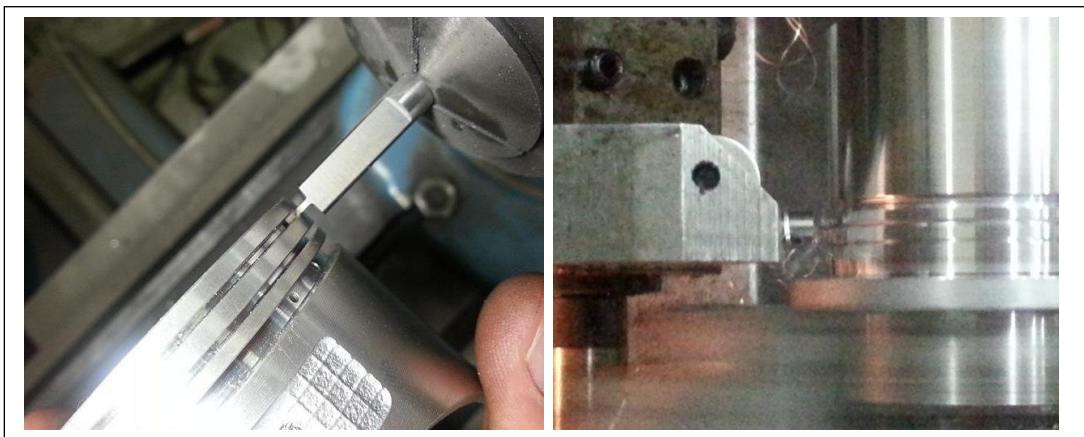




**Figura 3.16 Cilindrado del material**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas

Una vez que se posee el cilindro en perfecto estado y la máquina ha sido calibrada, se puede proceder a realizar el mecanizado real. Con la misma herramienta de desbaste exterior, se realiza un proceso de cilindrado, dejando el diámetro de los cilindros en las medidas ideales y se da la forma de la cabeza del primer pistón.

Luego se cambia a una herramienta de ranurado de un milímetro de grosor, (Figura 3.15) con la cual se realizan las respectivas ranuras de todos los pistones para una correcta optimización de tiempo. Posteriormente se realiza nuevamente un cambio de la herramienta a una de tronzado de 4mm de ancho, para poder retirar el primer pistón y poder repetir el proceso de dar la forma de la cabeza del pistón con la herramienta de exteriores antes mencionada, al número dos. Este



**Figura 3.17 Herramienta de Ranurado y proceso de ranurado en el torno**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas

proceso se irá alternando hasta completar con el mecanizado de los 4 pistones.

Una vez finalizado este proceso en el torno CNC, se procede a colocar el pistón previamente mecanizado en el centro de mecanizado CNC, se prueba la programación y se calibra la máquina (Figura 3.16), adicionalmente debemos colocar todas las herramientas necesarias para poder comenzar con el mecanizado.



**Figura 3.18 Determinación del origen pieza por medio de un sensor y reloj palpador**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas

Este proceso comienza con la realización de unas perforaciones de 4mm de profundidad con una broca de centros, estas perforaciones ayudan a que una broca más grande tenga una guía y no realice la perforación en otro lugar, ya que pudiera desplazarse la broca sobre el material. Se continúa con una broca de 18mm, hasta una profundidad especificada en la programación.

Se procede a cambiar de herramienta y se selecciona una fresa de 25mm de diámetro, con la cual se realiza el desbaste de material en la parte central, en las perforaciones antes realizadas por la broca y se da la forma de la falda del pistón.



**Figura 3.19 Proceso de mecanizado interno**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas

A continuación se utiliza una fresa de 12mm de diámetro para desbastar el material y dar forma a la parte interna del pistón, se procederá a realizar esto hasta una altura específica, y luego se desplaza la herramienta más hacia el centro, con lo cual deja un exceso de material en forma de gradas, esto lo realiza tres veces y es para poder dar la forma interna que posee el pistón.

Para el desbaste de este exceso de material que se dejó previamente, se utilizan tres tipos distintos de fresas, la primera en usarse es una fresa redonda de 5mm de diámetro, con la cual se retira la primera grada, dejando un acabado cóncavo. La segunda fresa que se utiliza, es una para realizar chaflanes circulares o llamada también de cuarto de círculo, la cual le da forma convexa a la segunda grada. La tercera grada es retirada con la ayuda de una fresa redonda de 10mm de diámetro, y se obtiene la ondulación en forma de “S” en las paredes internas del pistón, se utiliza la misma fresa para dar la forma cóncava de la parte interna de la cabeza del pistón, realizando varias pasadas hasta terminar de dar la curvatura deseada.

Con este último procedimiento se ha finalizado el mecanizado de la parte interna del pistón. Posterior al mecanizado antes descrito, se procede a girar el pistón 90° para poder realizar el alojamiento del bulón.



Para la perforación del bulón se utiliza una broca de 18mm de diámetro, la cual realiza la perforación hasta la mitad del pistón y regresa a su punto inicial, se realiza un cambio de herramienta y se coloca una fresa de 12mm de diámetro, con la cual se realiza un mecanizado horizontal sobre el costado del pistón, alivianándolo, este trabajo se lo realiza en dos pasadas ya que el diámetro de la fresa es menor que el espacio a mecanizarse. Luego se realiza un cambio de herramienta por una fresa redonda de 5mm de diámetro y se procede a realizar una perforación desplazada del centro del alojamiento del bulón, dejando así el espacio para poder retirar el anillo de sujeción del bulón.



**Figura 3.20 Giro de 90° y mecanizado en el costado del pistón**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas



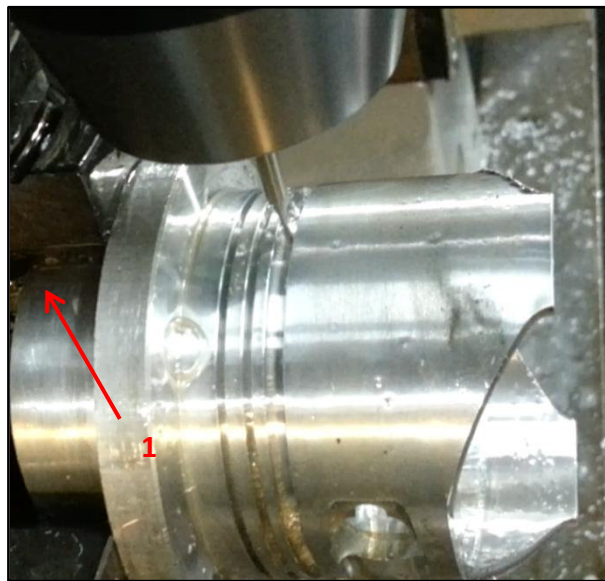
**Figura 3.21 Pistón con un costado mecanizado y listo a mecanizarse el otro**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas

Finalmente se coloca una fresa de 12mm de diámetro por 1mm de alto o con un inserto de ranurado interior, para realizar el alojamiento del anillo de sujeción del bulón, tomando en cuenta que la ranura a realizarse, quede a 2mm sobre la profundidad de la perforación anterior.

Cabe mencionar que el procedimiento previamente descrito, corresponde a la programación que se encuentra desde el punto 3.1.1 hasta 3.1.3, correspondiente al pistón para el motor GX160 a sobre medida (+0.010" = +0.25mm).

Además de la programación antes descrita, en la programación real, cuando el pistón estaba a 90°, se realizaron las perforaciones que se encuentran en el canal del anillo de lubricación. (Figura 3.20)



**Figura 3.22 Perforados en el canal de lubricación**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas

Una vez terminado el mecanizado del pistón, se debe dar un acabado de forma manual a ciertas aristas de la falda del pistón para que estas no rayen las paredes del cilindro.

Cabe mencionar adicionalmente que por la falta de un soporte para el metal, la cual permita girar al pistón sin afectar ni dañar sus superficies, se debió dejar una base provisional en el material (Figura 3.20 - (1)), la cual fue retirada de

forma manual en una cierra de banco. En la Figura 3.21 se puede apreciar el trabajo que se realizó en la cabeza del pistón para darle la forma deseada y la forma en como el pistón fue sujetado para evitar que se dañe su superficie exterior.



**Figura 3.23 Giro de 90° y mecanizado en el costado del pistón**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas

Las características del centro de mecanizado CNC usadas en la fabricación de los pistones, se encuentran en el Anexo 10 y en el Anexo 11 se encuentran las características del torno CNC usado en la fabricación. Algunas de las características que se encuentran en dichos anexos, pueden ser distintas de las originales de las máquinas, ya que son modelos antiguos pero las características corresponden a su versión actual.

## **CAPITULO IV**

### **Resultados**

#### **4.1. Análisis de resultados**

##### **4.1.1. Fabricación.**

Como resultado de la fabricación, se ha podido observar que dada la complejidad del diseño y la escasez de herramientas en nuestro medio, el pistón mecanizado en máquinas CNC resulta ser un poco más pesado que el original, entre 4gr. a 8gr., ya que el principal problema de las herramientas es el largo de las mismas. Para poder realizar ciertas circunferencias en la parte interna del pistón, se necesitan herramientas muy pequeñas y al mismo tiempo largas para que el porta herramientas no choque o tope la falda del pistón, llegando así a dañar el diseño del pistón.

Durante la fabricación, se ha determinado que es más rápido y sencillo realizar el mecanizado en torno CNC para la parte externa de los pistones, y en un centro de mecanizado CNC para la parte interna del pistón, ya que si bien es cierto que se puede realizar todo el trabajo en un centro de mecanizado de 5 ejes, el acabado superficial externo, no sería el mismo y la programación que se realizaría para dicho pistón sería mucho más compleja y larga, cabe mencionar que la calibración de la máquina y la colocación del cuarto y quinto eje demorarían aún más todo el proceso. El mecanizado total de cada pistón es de aproximadamente una hora y media a dos horas.

Antes de la fabricación, se debe tener en cuenta que los insertos de las herramientas de ambas máquinas no presenten desgaste, o en el caso de presentar dicho desgaste, se debe revisar que el desgaste sea compensado en la configuración de la máquina y se tiene que enserar todas las herramientas a utilizarse.

Sería muy recomendable para futuras fabricaciones que antes de realizar el mecanizado, se haga una base de soporte para una correcta ubicación del



material base, y así evitar que durante el mecanizado de la pieza, esta se mueva y produzca una variación en ciertas medidas.

Para realizar un correcto control de las medidas de los pistones, se debe usar un medidor de perfiles, ya que con calibradores pie de rey o micrómetros, no se puede obtener ciertas mediciones en áreas específicas del pistón como son ciertos chaflanes y redondeos.

#### **4.1.2. Pruebas destructivas.**

Dentro de las pruebas destructivas que se realizaron, se realizó una prueba de dureza Brinell a la cabeza del pistón correspondiente al motor Honda GX160 STD, con lo cual se procedió a cortar dicho pistón, la muestra obtenida se utilizó en dos ensayos distintos, en la Figura 4.1, se puede apreciar el corte realizado.



**Figura 4.1 Corte de pistón**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas.

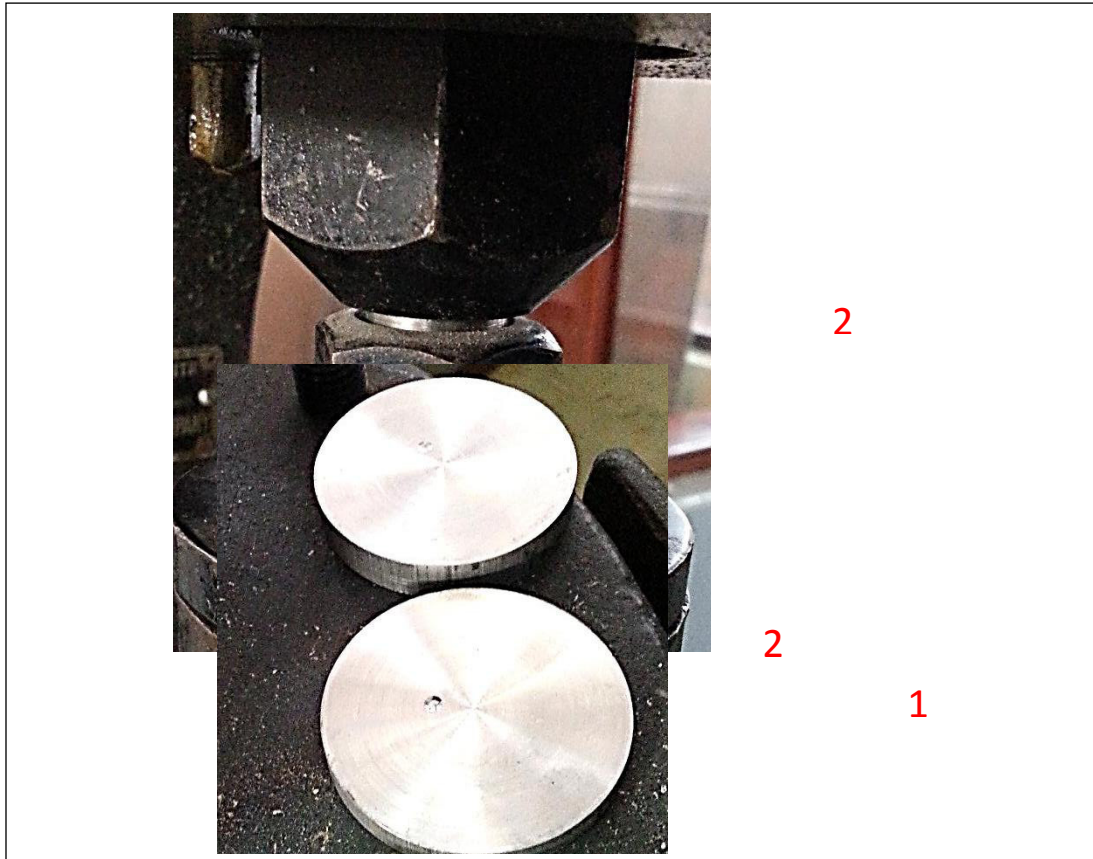
Adicionalmente se sometió a los pistones de los motores Honda GX120 STD y Honda GX160 STD a un ensayo de compresión hasta llegar a la ruptura de los mismos.

##### **4.1.2.1. Ensayo de dureza Brinell.**

El ensayo de dureza Brinell, se realizó a tres muestras de duraluminio de 4, 6 y 10mm de alto para determinar si existe deformación diferente con respecto al

grosor de las probetas, además, se realizó el mismo ensayo a la probeta de la cabeza del pistón, la cual tiene 4mm de alto.

La carga utilizada para dicha prueba fue de 500kg, con una bola de 10mm de diámetro.



**Figura 4.2 Ensayo de dureza Brinell a 3 muestras de duraluminio de distinta altura**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas.

En la Figura 4.2 se puede apreciar la deformación que se obtuvo en las muestras de duraluminio. Se realizó una primera medición (1), aplicando una carga de 3000kg y utilizando la misma bola de 10mm de diámetro. En esta primera medición, se observó que la deformación era excesiva así que la carga a utilizarse no podía ser de 3000kg, pero, si la de 500kg (2) ya que con esta carga la medición se encontraba dentro de la tabla de medición Brinell.

En la Figura 4.3 Se observa la medición realizada a la muestra de la cabeza del pistón, aplicando una carga de 500kg, con una bola de 10mm.

El resultado obtenido de dicho ensayos se los puede observar en la Tabla 4.1.



**Figura 4.3 Ensayo de dureza Brinell a cabeza de pistón**  
 Figura elaborada por: Xavier Guarderas.

#### **4.1.2.2. Ensayo de compresión a los pistones.**

En el ensayo de compresión que se realizó a los pistones, se pudo determinar la carga máxima a la cual todo el elemento falla, con esto no se pretende decir que el pistón en condiciones reales de trabajo, va a fallar de dicha forma, este ensayo es únicamente informativo.

La presión real de trabajo de los motores Honda GX120 y GX160, es de 121PSI, lo que nos da una carga de 238kgf aproximadamente sobre la cabeza del

pistón correspondiente al motor GX120, y para el motor GX160, la carga sobre la cabeza del pistón es de 306kgf aproximadamente.

En la Figura 4.5, se puede apreciar la gráfica de la carga que se aplicó sobre la cabeza del pistón STD del motor GX120, la carga máxima fue de 31000kg aunque el pistón comenzó a romperse a 6000kg, con un desplazamiento de 10mm por minuto.

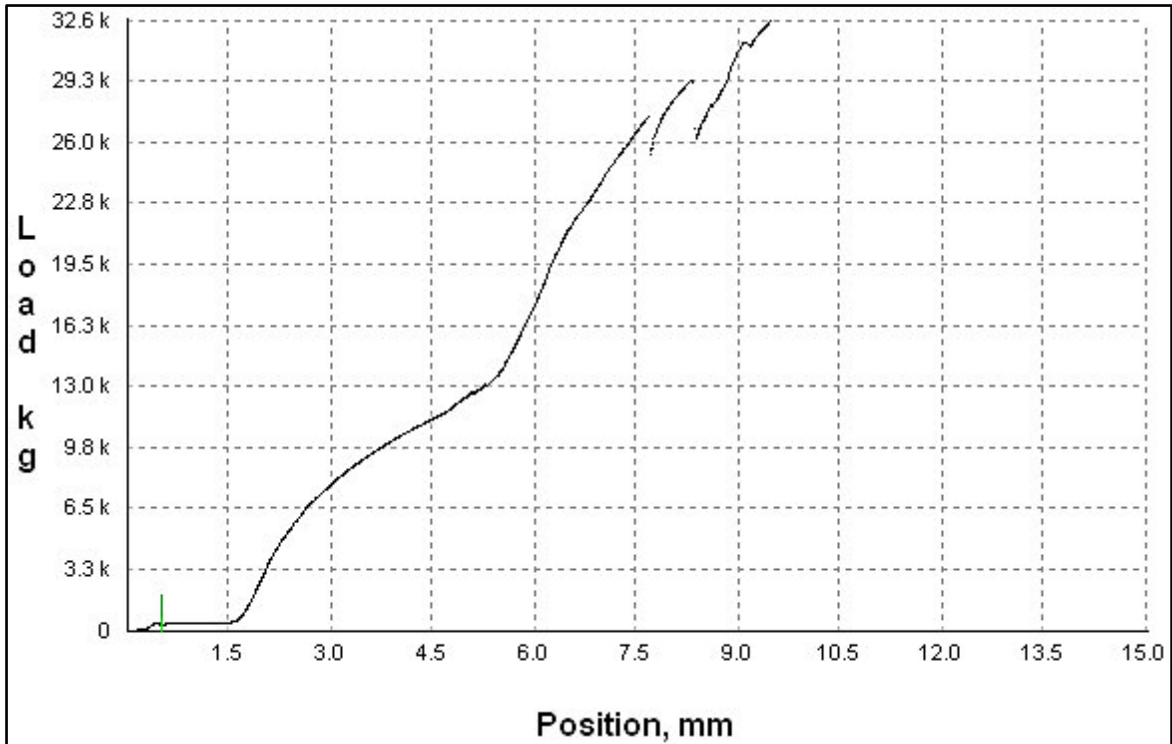


**Figura 4.4 Pistón del motor GX120 STD antes del ensayo de compresión**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas.

Durante el ensayo, el pistón comenzó a sufrir daño a los 16.500kgf aproximadamente, correspondientes a 5,83mm de desplazamiento, hasta llegar a su ruptura total.





**Figura 4.5 Gráfica de Carga vs. Desplazamiento del pistón del motor GX120 STD**  
del ensayo del Anexo 2.2



**Figura 4.6 Pistón del motor GX120 STD, durante y luego del ensayo de compresión**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas.

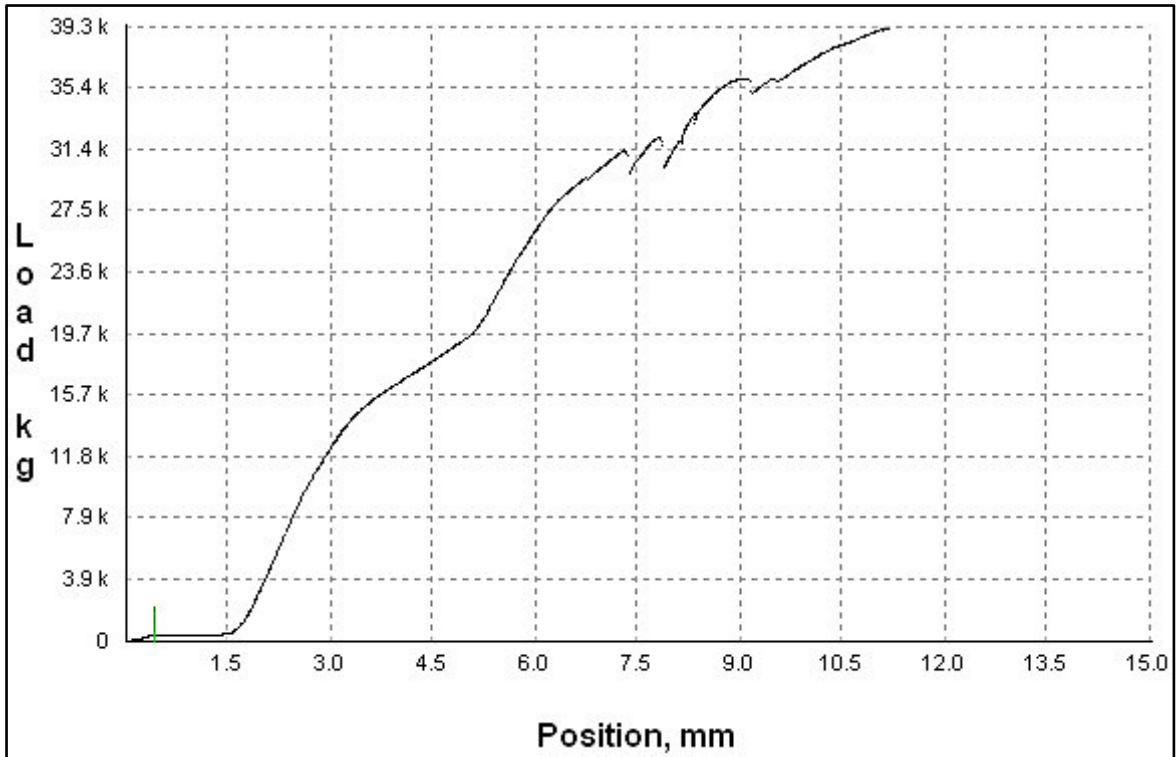
Los resultados obtenidos del ensayo realizado al pistón del motor GX120, se encuentran en el Anexo 2.1



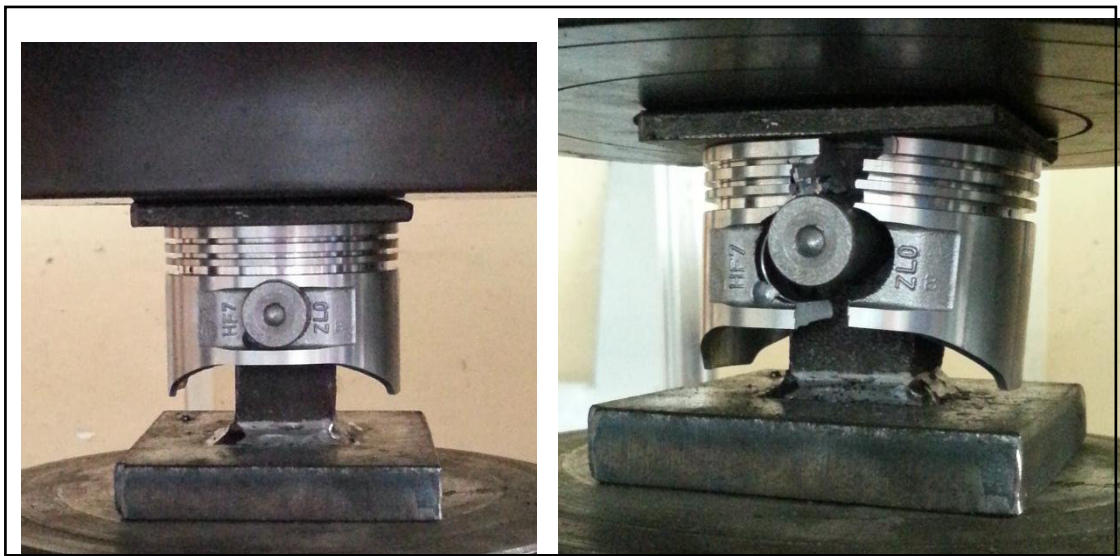


La Figura 4.8, nos indica los valores del desplazamiento que tuvo el elemento, con respecto a la carga aplicada sobre el mismo.

Durante el ensayo, el pistón comenzó a sufrir daño a los 24.408kgf, correspondientes a 5,83mm de desplazamiento, hasta llegar a su ruptura total.



**Figura 4.8 Gráfica de Carga vs. Desplazamiento del pistón del motor GX160 STD**  
 Figura obtenida del ensayo del Anexo 2.2



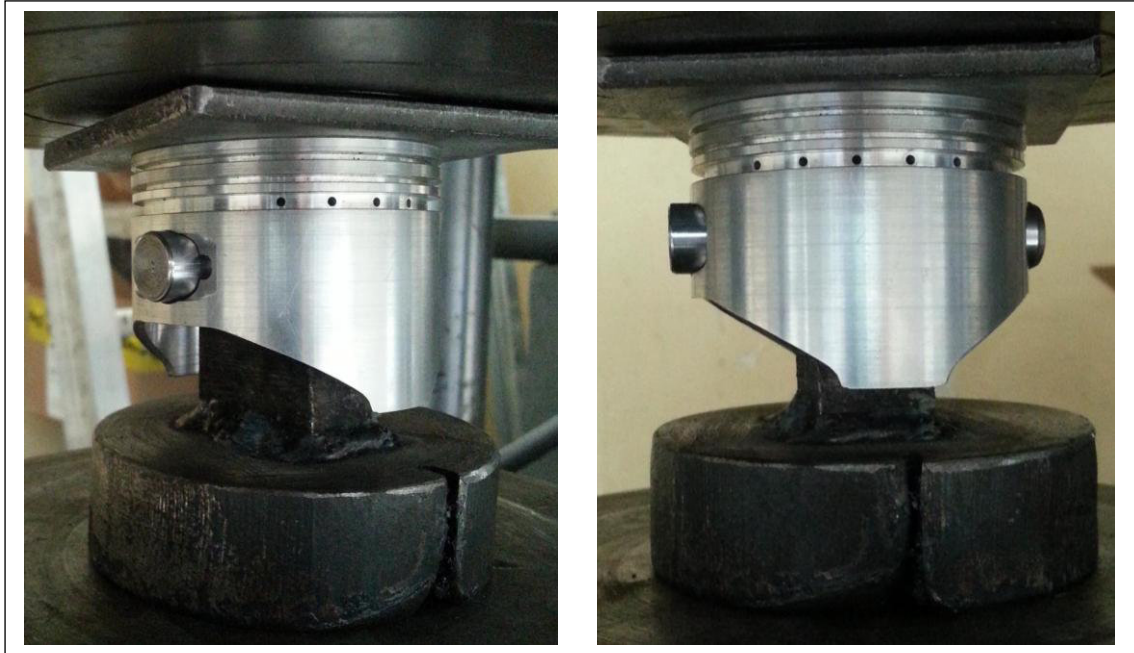
**Figura 4.9 Pistón del motor GX160 STD, durante y luego del ensayo de compresión**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas.

Los resultados obtenidos del ensayo realizado al pistón del motor GX160, se encuentran en el Anexo 2.1

Dentro del ensayo de compresión, se realizó la misma prueba a un pistón fabricado mediante CNC. Este pistón, corresponde al motor GX120, con sobre medida +0,010.

En la Figura 4.10 se puede observar al pistón durante el ensayo de compresión.



**Figura 4.10 Pistón fabricado +0,010 del motor GX120, durante el ensayo de compresión**

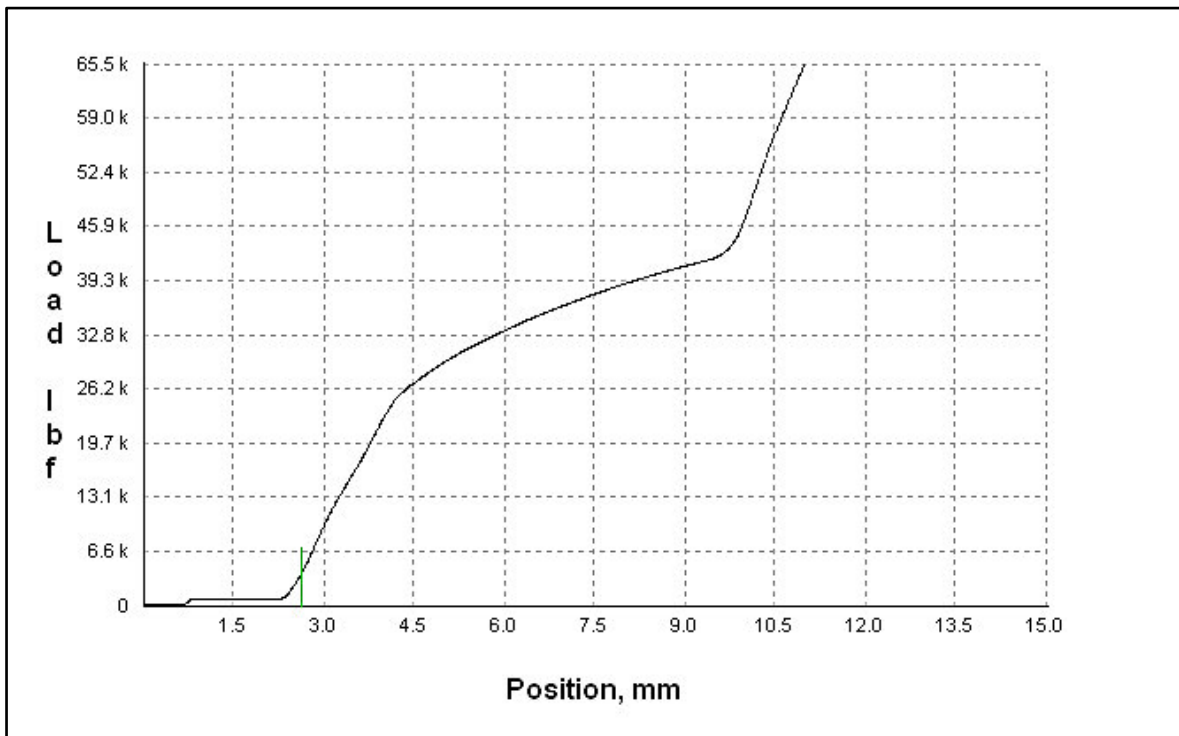
Figura elaborada por: Xavier Guarderas.

Durante el ensayo de compresión del pistón fabricado, en el primer intento, se rompió el bulón, ya que el bulón de acero poseía un tratamiento térmico, el cual lo volvía duro pero al mismo tiempo frágil. Para realizar un segundo intento, se utilizó de bulón el vástago de un perno de media pulgada de grado 8, el cual posee una resistencia a la tracción mínima de 150K psi y una dureza Rockwell máxima de C39. En el segundo intento, se deformó el bulón pero no se llegó a romper el pistón y se tuvo que detener el ensayo, ya que el borde inferior de la falda del pistón estaba próxima a topar con el soporte base. En la Figura 4.11 se puede apreciar al pistón en su base, el bulón deformado y el pistón sin presentar una ruptura y en la Figura 4.12, se encuentra la gráfica correspondiente a dicho ensayo.





**Figura 4.11 Pistón fabricado +0,010 del motor GX120,  
luego del ensayo de compresión**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas.

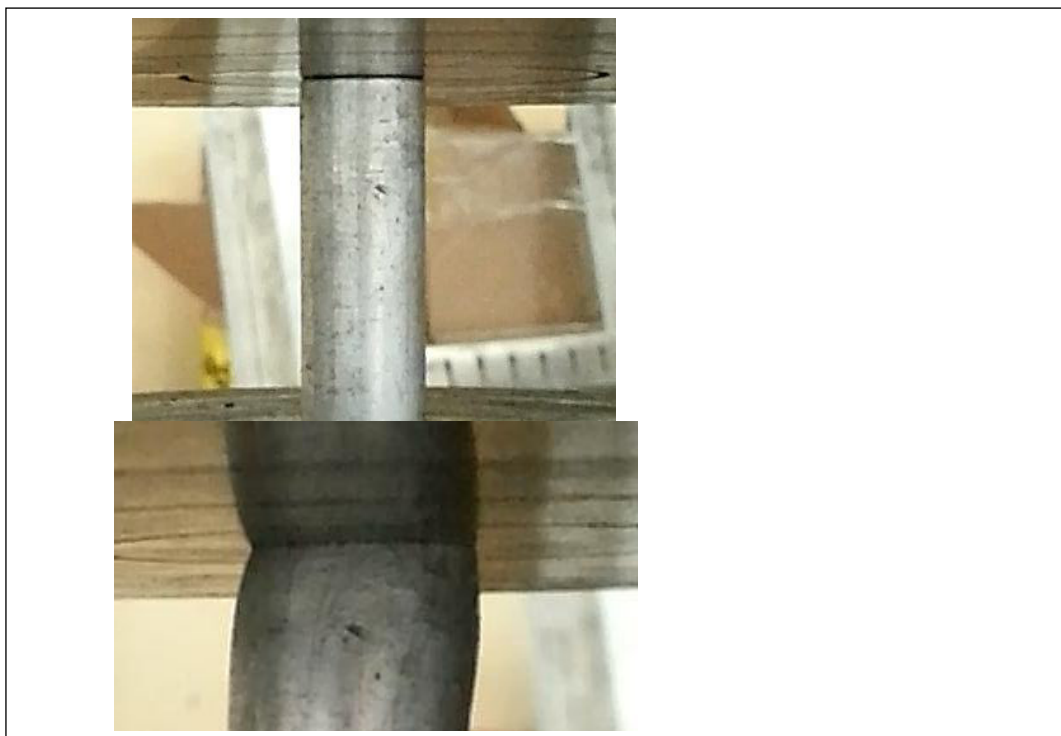


**Figura 4.12 Gráfica de Carga vs. Desplazamiento del pistón  
fabricado +0,010 del motor GX120**  
Figura obtenida del ensayo del Anexo 9.3

#### 4.1.2.3. Ensayo de compresión.

Para el ensayo de compresión, se realizaron 2 probetas de distinta altura pero del mismo diámetro para observar como la altura influye en los resultados. Para realizar este ensayo, se tomaron los parámetros de la norma ASTM E9/E9M-09, la cual es una norma estandarizada para realizar ensayos de compresión a materiales metálicos a temperatura ambiente.

La probeta de la Figura 4.13, poseía una altura de 48mm por un diámetro de 16mm, dicha probeta no tuvo una correcta compresión, ya que por la altura de la misma tuvo un pandeo y no se pueden obtener unos correctos resultados de esta probeta.



**Figura 4.13 Probeta 1 antes y después del ensayo de compresión**

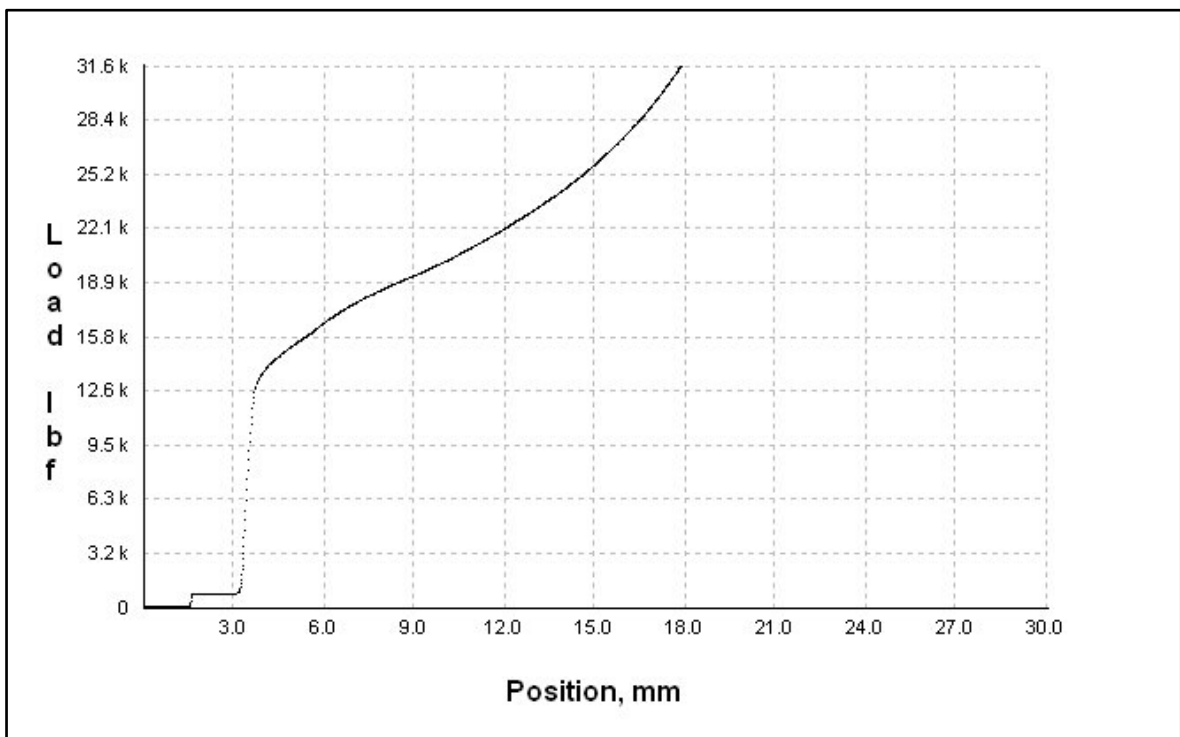
Figura elaborada por: Xavier Guarderas.

La probeta de la Figura 4.14, poseía una altura de 25mm por un diámetro de 16mm, dicha probeta tuvo una correcta compresión, llegando a adquirir una forma de tipo barril y obteniendo unos correctos resultados del ensayo. En la

Figura 4.15, se encuentra la grafica realizada durante el ensayo y los resultados se encuentran en el Anexo 9.1, Tabla 2.



**Figura 4.14 Probeta 2 antes y después del ensayo de compresión**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas.



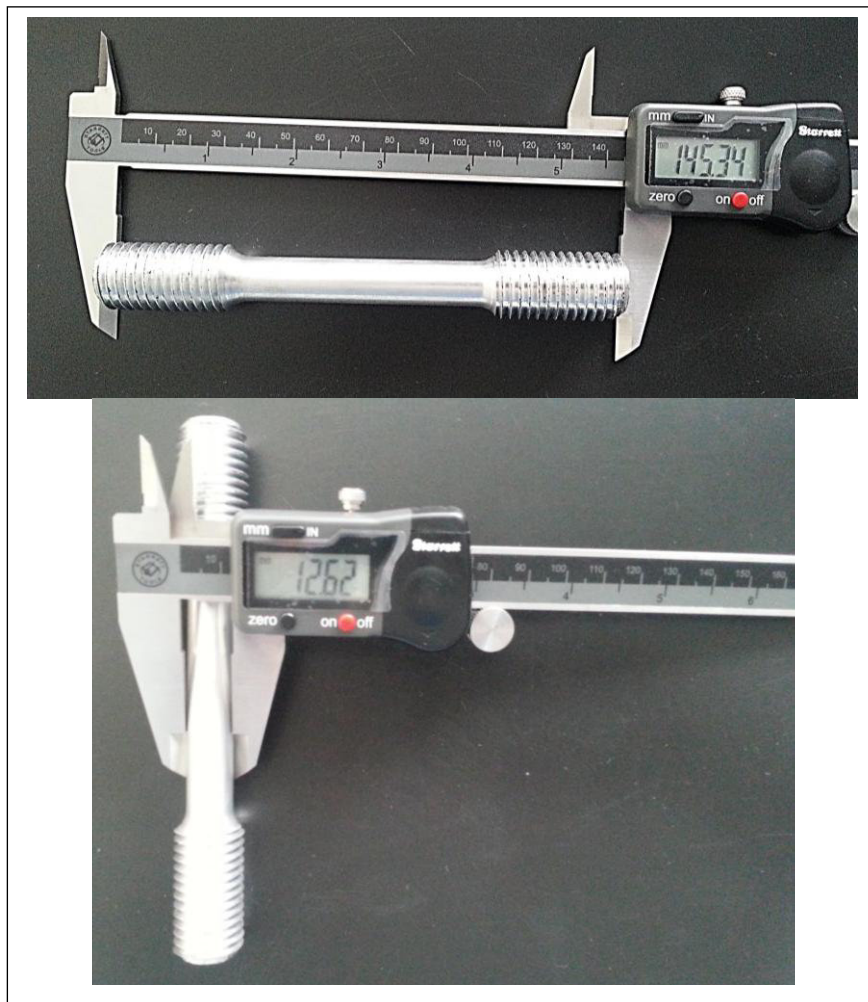
**Figura 4.15 Gráfica de Carga vs. Desplazamiento del ensayo de compresión a la probeta 2**

Figura obtenida del ensayo del Anexo 9.3

#### 4.1.2.4. Ensayo de tracción.

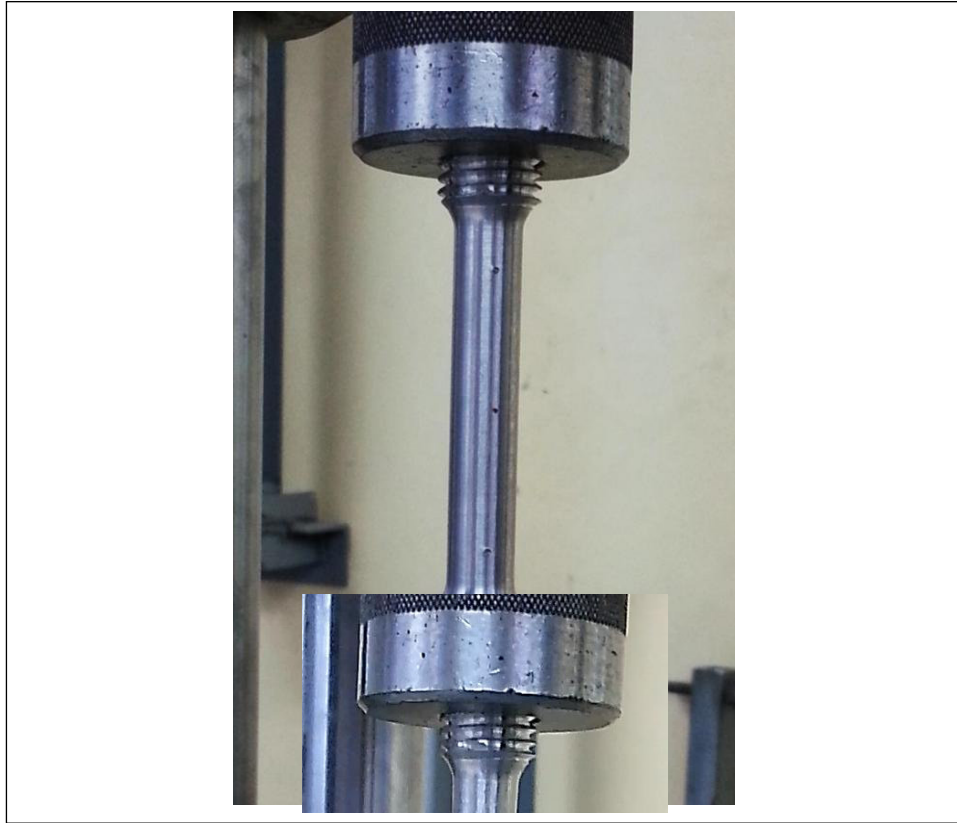
El ensayo de tracción, se realizó basándose en la norma ASTM E8/E8M-09, la cual es una norma estandarizada para realizar ensayos de tracción a materiales metálicos a temperatura ambiente. En la norma se encuentran las distintas medidas que puede poseer una probeta y la forma de la misma dependiendo del modo de sujeción y si es una barra o una plancha.

En la Figura 4.16, se puede ver la probeta antes del ensayo y sus medidas iniciales y en la Figura 4.17 se encuentra la probeta durante y después del ensayo realizado.



**Figura 4.16 Probeta antes del ensayo de tracción**  
Figura elaborada por: Xavier Guarderas.

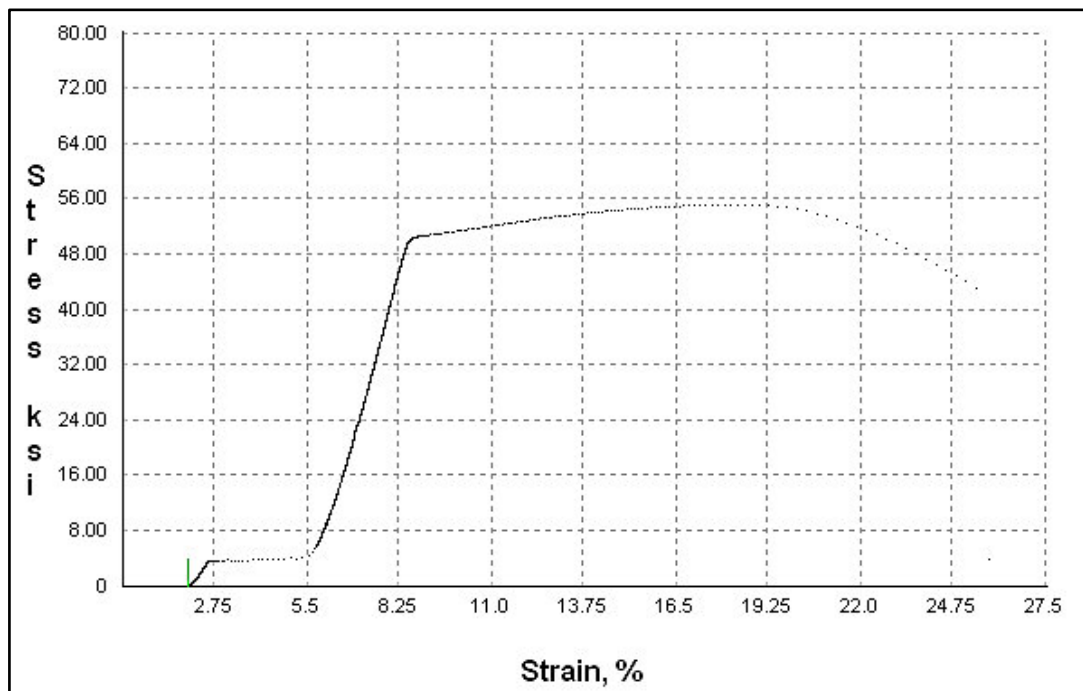




**Figura 4.17 Probeta durante y luego del ensayo de tracción**

Figura elaborada por: Xavier Guarderas.

En la Figura 4.18, se puede observar la gráfica que se obtuvo de este ensayo de tracción y los resultados se encuentran en el Anexo 9, Tabla 1.



**Figura 4.18 Gráfica de Carga vs. Desplazamiento del ensayo de tracción**

Figura obtenida del ensayo del Anexo 9.2

### 4.1.3. Ventajas y desventajas de los pistones fabricados Vs. pistones STD.

#### Ventajas

- Como se ha podido observar, el tiempo de fabricación de los pistones a sobre medida es más rápido y más fácil de realizarlo.
- La resistencia a la compresión de los pistones con sobre medida, según las pruebas destructivas, son casi un 50% más que los pistones STD y las propiedades físicas de material son igualmente superiores.
- El rendimiento mecánico del motor GX120 se incrementa en 1,5% más de caballos de fuerza y en 1,65% más en torque con el uso del pistón con sobre medida +0,020.
- El rendimiento mecánico del motor GX160 se incrementa en 1,46% más de caballos de fuerza y el mismo porcentaje en torque con el uso del pistón con sobre medida +0,020.
- Por el tipo de fabricación, el lote de producción puede ser muy reducido, sin la necesidad de elaborar moldes de arena o un molde permanente y esto se puede aplicar en trabajos de otros pistones con fines especiales como motores de competencia.

#### Desventajas

- El costo de producción es alto.
- Se requiere personal capacitado para el correcto manejo de las máquinas CNC y software utilizados.
- El peso de los pistones se ve incrementado entre 4 a 8gr dependiendo del modelo de pistón, ya que por la escases de herramientas del CNC y formas complejas realizadas en una fundición, no es posible retirar todo el material de ciertas secciones.
- Si no se poseen todas las herramientas correctas, puede existir una mínima variación en ciertas medidas.
- Para pulir la sección del bulón, se debe usar una máquina especial con una herramienta de escariado.

## Conclusiones

El objetivo de este trabajo investigativo, fue proponer la factibilidad de realizar el diseño y la fabricación de pistones a sobre medida para los motores Honda GX120 y GX160 en máquinas CNC, con lo cual se ha podido llegar a determinar que en el Ecuador si es posible realizar el diseño de los pistones y su posterior fabricación en máquinas CNC.

Dicho objetivo se ha logrado cumplir, primero analizando el cálculo que se presenta en un pistón, para posteriormente determinar las aleaciones utilizadas para la fabricación de pistones y las propiedades que presenta cada una de ellas y seleccionar la más adecuada para este tipo de pistones, la cual es la aleación 4032-T6, ya que comercialmente es más común en el mercado y sus propiedades se encuentran dentro de los parámetros requeridos.

Mediante la realización de simulaciones computarizadas del diseño de los pistones, se probó la resistencia de los mismos bajo condiciones reales de trabajo dentro del motor, con lo cual se ha comprobado que la forma estructural del pistón es la adecuada y que el material seleccionado posee las características térmicas necesarias para soportar dicho trabajo.

Para la parte de la fabricación de los pistones, se estudió a fondo el funcionamiento de cada una de las máquinas necesarias para realizar este tipo de trabajos, adicionalmente se determinaron los tipos de herramientas que utiliza cada máquina y cuáles serían las más adecuadas para una correcta y eficaz fabricación de los pistones, llegando así a obtener adicionalmente un problema ya que no todas las herramientas se las puede encontrar en el país pero debido a que el material es más suave se las pudiera llegar a fabricar, con lo cual se abarata el costo de las mismas pero la durabilidad también sería inferior.

## Recomendaciones

Se recomienda para futuros estudiantes que deseen tomar esta investigación como base para una continuación de la misma, que se tenga en cuenta los siguientes aspectos dentro del diseño y la fabricación de los pistones.

Como primera recomendación, sería la utilización de un medidor de perfiles para poder obtener medidas más precisas de ciertos puntos internos y externos del pistón, ya que con un micrómetro o un calibrador pie de rey no es posible obtener todas las medidas debido a la dimensión de los calibradores. Adicionalmente se deberían cortar por la mitad otros pistones STD, para poder medir las circunferencias internas exactas que posee el pistón y determinar la curvatura interna de la cabeza de los pistones.

Se recomienda además que antes de realizar la fabricación final de los pistones se realice un mecanizado previo en un material de prueba, para así evitar y corregir posibles fallos durante el proceso del mecanizado y no dañar las herramientas de la máquina o el material real a usarse en los pistones. Este proceso nos sirve también para verificar la geometría de los pistones fabricados, con respecto al diseño y a los pistones STD.





Sería conveniente si se realizara un lote de producción de más unidades o para una producción industrializada, que antes de comenzar con el proceso de mecanizado, se cambien todos los insertos de las herramientas a utilizarse y se verifiquen las dimensiones de las mismas cada cierto número de pistones fabricados, con esto se evitaría tener desgaste en los insertos ya que se iría compensando dicho desgaste en la máquina y así no se obtendría un exceso de material.

Como última recomendación sería la fabricación de un soporte para el material base y así evitar que la pieza se mueva durante el mecanizado, produciendo daño en el pistón o medidas incorrectas.

## Bibliografía

- Baechtel, J. (2011). Performance Automotive Engine Math. Minnesota: Car Tech.
- CEDIT. (s.f.). Scribd. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/14977680/Manual-Torno-Cnc-Muy-Completo>
- CERFIN-SECAP. (s.f.). Programación de torno CNC. Quito.
- Hamm, G., & Burk, G. (1986). Tablas de la técnica del automóvil. (T. DIORKI, Trad.) Barcelona: Reverté.
- Kalpakjian, & Schmid. (2002). Manufactura, ingeniería y tecnología (Cuarta edición ed.). México: Pearson.
- Kaufman, J. G., & Rooy, E. L. (2004). Aluminum Alloy Castings. Estados Unidos: ASM International.
- Mahle GmbH. (2012). Pistons and engine testing (Primera edición ed.). Stuttgart: Mahle GmbH.
- Maleev, V. L. (1945). Internal Combustion Engines, Theory and Design. New York: McGraw-Hill.
- Maquinaria, M. C. (Dirección). (2012). Centro de Maquinado Vertical VM 15 VM 16 [Película].
- Mott, R. L. (2009). Resistencia de materiales (Quinta edición ed.). México: Pearson.
- Sandvik Coromant. (2010). Roscado - Guía de aplicación. C-2920-031.pdf. España
- Sandvik Coromant. (2012). Herramientas de torneado-Torneado general. Madrid.
- Sandvik Coromant. (2012). Suplemento Coropak 12.1, C-2900-138.pdf. España
- Sandvik Coromant. (2013). Catálogo de machos a roscar. C-2900-141.pdf. España
- Santiago, S. (2007). Motores. Madrid: Editex.
- Vedia, R. M. (1957). Motores térmicos. Zaragoza: Editorial Reverté.
- Vedia, R. M., & Martinez, O. H. (1966). Teoría de los motores térmicos. Buenos Aires: La Línea Recta .
- Vilañez, P. (2005). Programación del centro de mecanizado. Quito: SECAP.

## Anexos

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b> <b>DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA</b>																											
<b><u>Resultados de análisis por Espectrometría de Chispa</u></b>																												
<b>Solicitante</b>	:	Xavier Guarderas																										
<b>No. Referencia</b>	:	ST - 6340																										
<b>Fecha</b>	:	12 - 06 - 2013																										
<b>Muestras recibidas</b>	:	Pistón del motor GX 160																										
<p>La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN. A continuación los resultados obtenidos:</p>																												
<table border="1"><thead><tr><th>Metales</th><th>Pistón del motor GX 160 (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Silicio (Si)</td><td>12,77</td></tr><tr><td>Hierro (Fe)</td><td>0,344</td></tr><tr><td>Cobre (Cu)</td><td>1.027</td></tr><tr><td>Manganeso (Mn)</td><td>0,067</td></tr><tr><td>Magnesio (Mg)</td><td>0,882</td></tr><tr><td>Cromo (Cr)</td><td>0,022</td></tr><tr><td>Níquel (Ni)</td><td>1,345</td></tr><tr><td>Zinc (Zn)</td><td>0,043</td></tr><tr><td>Titanio (Ti)</td><td>0,021</td></tr><tr><td>Galio (Ga)</td><td>0,019</td></tr><tr><td>Vanadio (V)</td><td>0,013</td></tr><tr><td>Aluminio (Al)</td><td>83,40</td></tr></tbody></table>			Metales	Pistón del motor GX 160 (%)	Silicio (Si)	12,77	Hierro (Fe)	0,344	Cobre (Cu)	1.027	Manganeso (Mn)	0,067	Magnesio (Mg)	0,882	Cromo (Cr)	0,022	Níquel (Ni)	1,345	Zinc (Zn)	0,043	Titanio (Ti)	0,021	Galio (Ga)	0,019	Vanadio (V)	0,013	Aluminio (Al)	83,40
Metales	Pistón del motor GX 160 (%)																											
Silicio (Si)	12,77																											
Hierro (Fe)	0,344																											
Cobre (Cu)	1.027																											
Manganeso (Mn)	0,067																											
Magnesio (Mg)	0,882																											
Cromo (Cr)	0,022																											
Níquel (Ni)	1,345																											
Zinc (Zn)	0,043																											
Titanio (Ti)	0,021																											
Galio (Ga)	0,019																											
Vanadio (V)	0,013																											
Aluminio (Al)	83,40																											
 Ing. Marcelo Lozada Jefe de Departamento (e.)																												
																												
<p>Pasaje Andalucía 134 E12A y Mena Caamaño – TeleFax (593-2) 2 236 562 – Casilla 17-01-2759 E-mail : <a href="mailto:edelator@interactive.net.ec">edelator@interactive.net.ec</a> - Quito-Ecuador</p>																												

## Anexo 1: Análisis de espectrometría por chispa.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
LABORATORIO DE ANÁLISIS  
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES



### INFORME TÉCNICO

LAEV – JUN.49

Quito, 24 de junio de 2013

TRABAJO SOLICITADO POR: Sr. Xavier Guarderas

ORDEN DE TRABAJO N° 0000877

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras metálicas para el desarrollo del proyecto de tesis: "DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PISTONES A SOBRE MEDIDA (+0,010" Y +0,020") PARA MOTORES HONDA GX120 Y GX160 EN TORNO CNC Y EN CENTRO DE MECANIZADO CNC". Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

#### RESULTADOS

1. **MUESTRA:** Tres (3) muestras de duraluminio, una (1) muestra de aleación de aluminio (Al+Si) para ensayo de dureza Brinell y dos (2) pistones para ensayo de compresión.

#### 2. ENSAYO DE DUREZA BRINELL

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de dureza Brinell realizado en las muestras.

Tabla 1. Resultados del ensayo de dureza Brinell.

Identificación	Espesor	Dureza
	mm	HB
D1 (Duraluminio)	4,01	64,6
D2 (Duraluminio)	5,70	64,6
D3 (Duraluminio)	9,17	64,6
D4 (Al+Si)	4,00	92,6



LAEV-EPN  
Orden N°: 0000877



## Anexo 2: Informe técnico de ensayos Brinell y de compresión



### 3. ENSAYO DE COMPRESIÓN

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de compresión realizado en los pistones.

Tabla 2. Resultados del ensayo de compresión.

Identificación	Altura del pistón	Diámetro del pistón	Carga máxima registrada	
	mm	mm	lbf	kgf
C1	4,01	67,70	86.300	39.227
C2	5,70	59,66	71.700	32.591

En el anexo se muestran las curvas de carga vs. posición registradas en los ensayos de compresión.

  
Víctor Hugo Guerrero, Ph.D.  
JEFE DEL LABORATORIO DE  
ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
**LAEV**  
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ANEXO

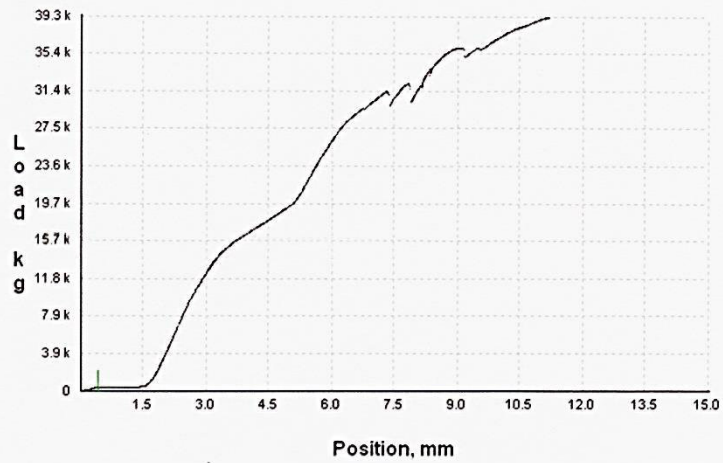


Figura 1. Curva de carga vs. posición de la muestra C1.

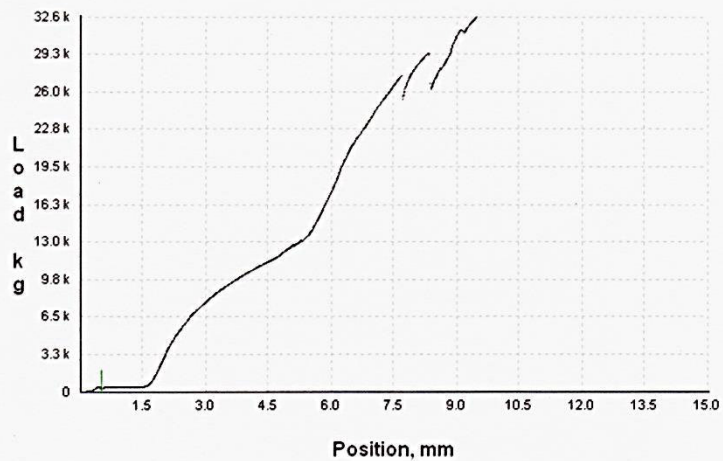


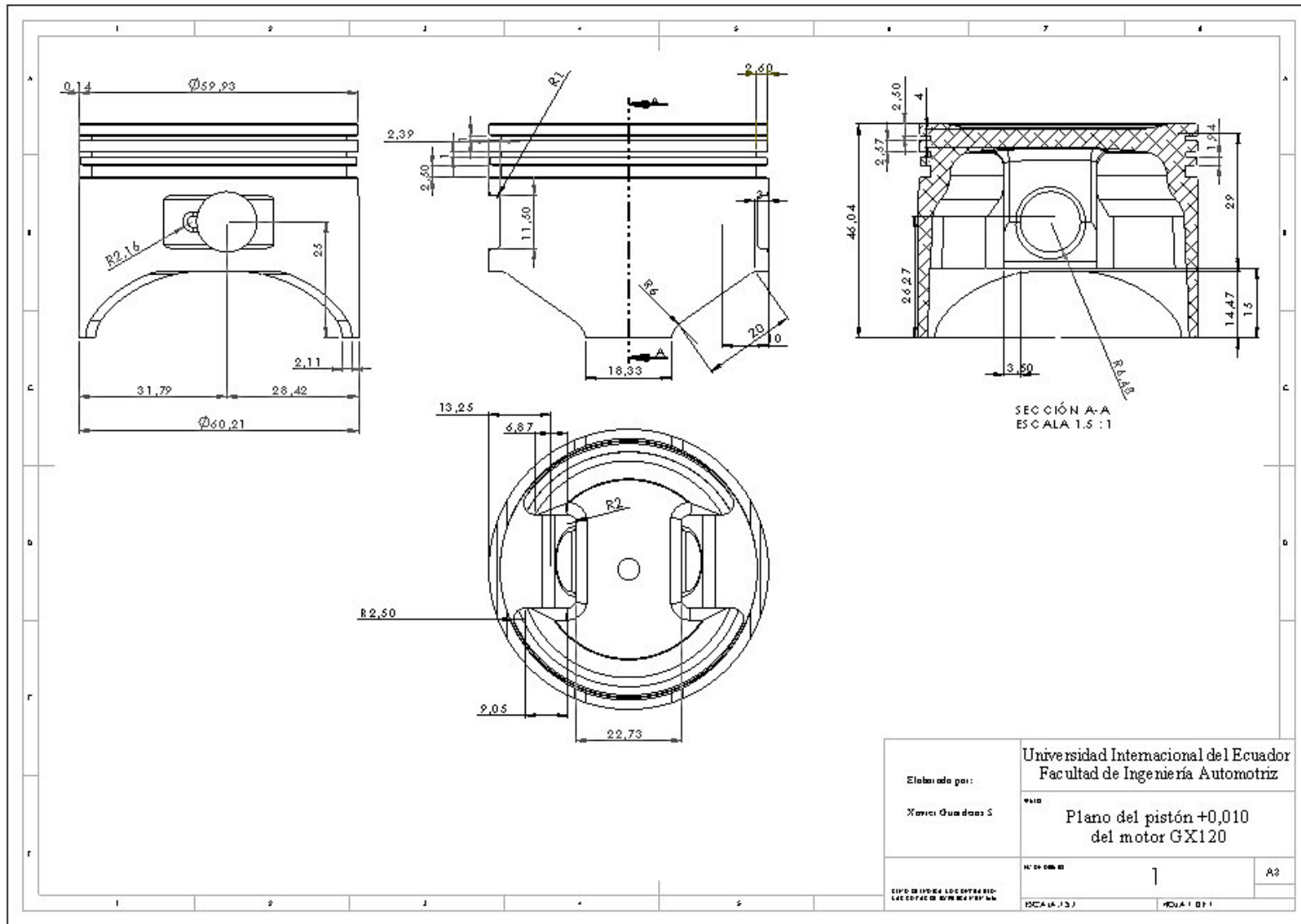
Figura 1. Curva de carga vs. posición de la muestra C2.



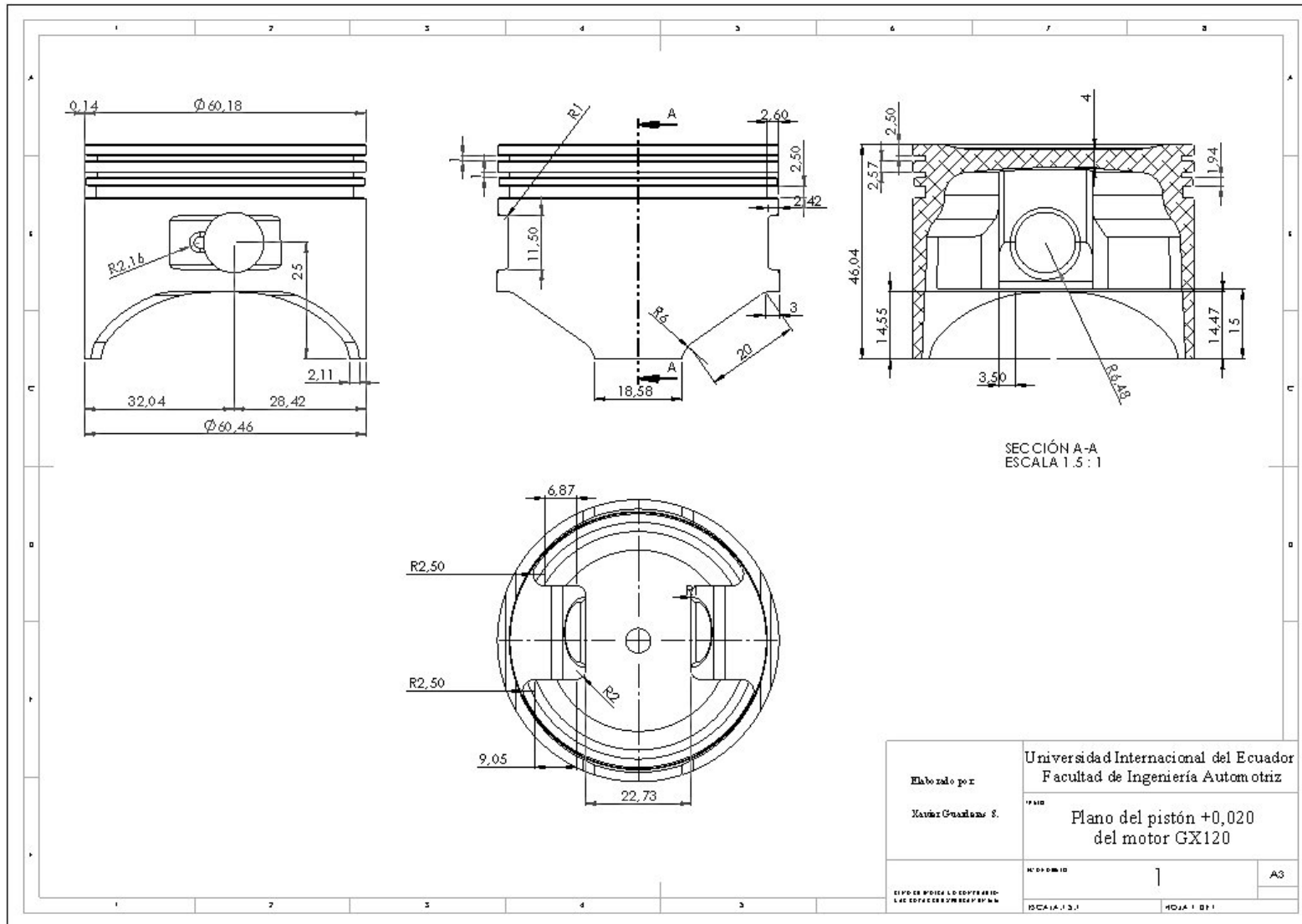
LAEV-EPN  
Orden N°: 0000877



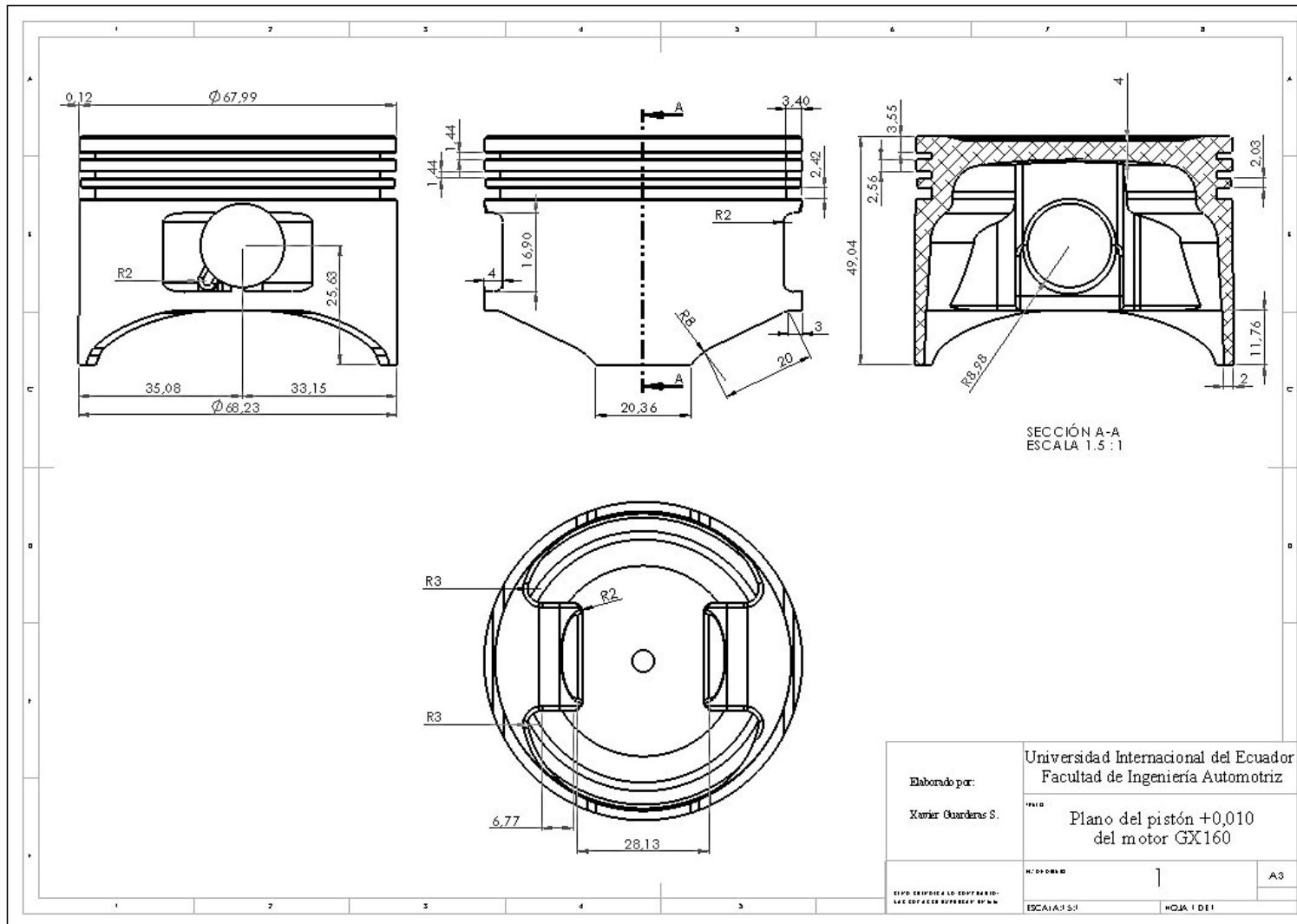
Anexo 2.2: Informe técnico de ensayos Brinell y de compresión



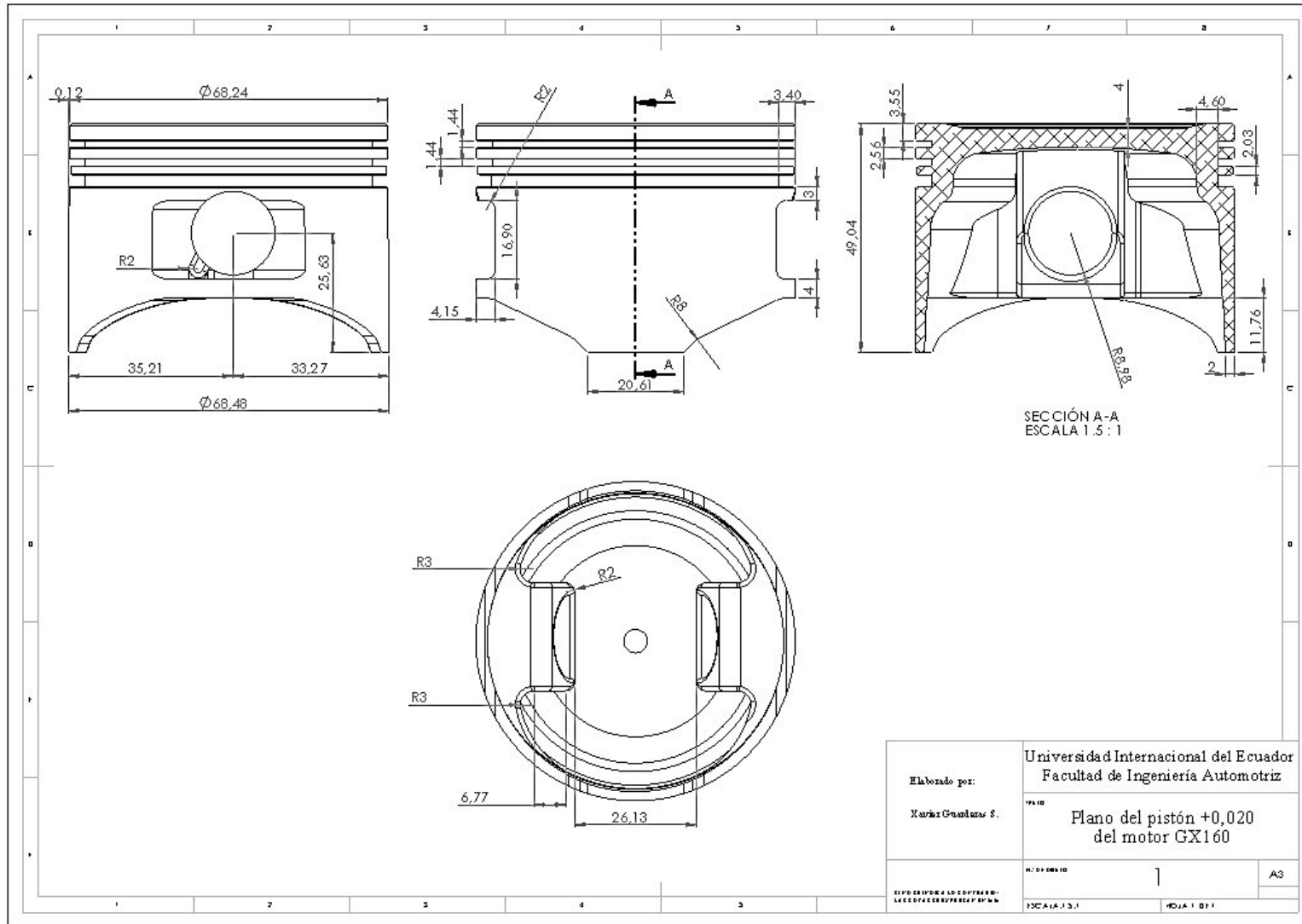
Anexo 3: Plano del pistón +0,25 del motor GX120



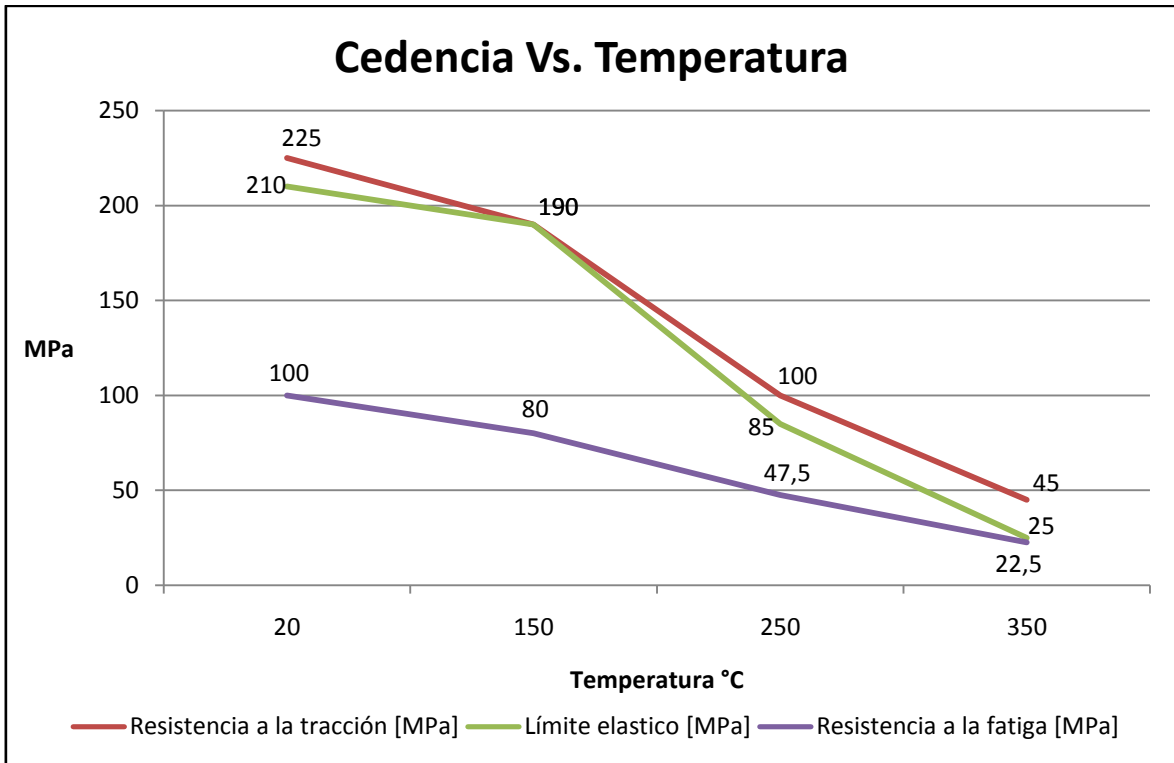
Anexo 4: Plano del pistón +0,50 del motor GX120



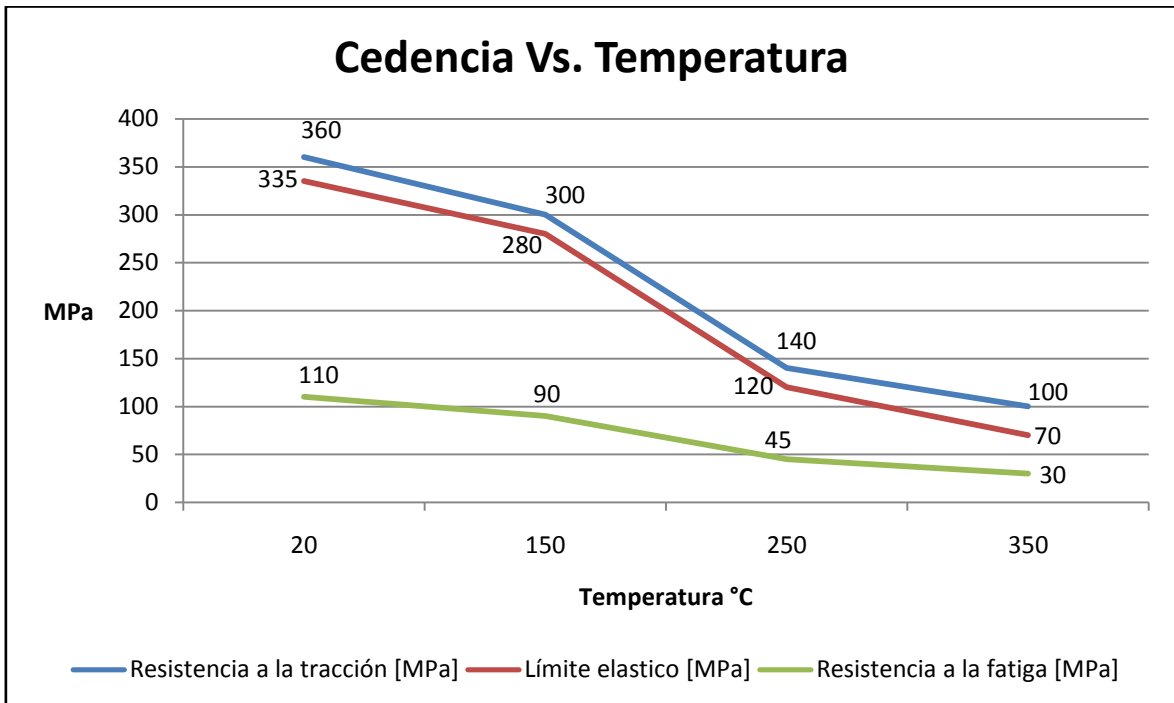
Anexo 5: Plano del pistón +0,25 del motor GX160



Anexo 6: Plano del pistón +0,50 del motor GX160



**Anexo 7:** Grafico de la cedencia Vs. Temperatura de la aleación de los pistones STD  
 Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p 67)  
 Figura elaborada por: Xavier Guarderas



**Anexo 8:** Grafico de la cedencia Vs. Temperatura de la aleación 4032-T6 o M124P  
 Fuente: (Mahle GmbH, 2012, p 69)  
 Figura elaborada por: Xavier Guarderas





## INFORME TÉCNICO

LAEV – SEP.53

Quito, 01 de octubre de 2013

TRABAJO SOLICITADO POR: Sr. Xavier Guarderas

ORDEN DE TRABAJO N° 0001143

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras metálicas para el desarrollo del proyecto de tesis: "DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PISTONES A SOBRE MEDIDA (+0,010" Y +0,020") PARA MOTORES HONDA GX120 Y GX160 EN TORNO CNC Y EN CENTRO DE MECANIZADO CNC". Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

### RESULTADOS

1. **MUESTRA:** Una (1) probeta circular de duraluminio para ensayo de tracción, una (1) muestra de duraluminio y un (1) pistón para ensayo de compresión.

### 2. ENSAYO DE TRACCIÓN

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de tracción realizado en la muestra.

Tabla 1. Resultados del ensayo de tracción.

Id.	Diámetro promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 50 mm
	mm	lbf	N	ksi	MPa	ksi	MPa	
T1	12,72	10.860	48.308	53,7	370,2	55,1	380,1	19,2



LAEV-EPN  
Orden N°: 0001143



## Anexo 9: Informe técnico del ensayo de tracción y compresión

La curva de esfuerzo vs. porcentaje de deformación se muestra en el anexo. El porcentaje de deformación que se puede observar en las curvas, corresponde al desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos.

### 3. ENSAYO DE COMPRESIÓN

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de compresión realizado en la muestra de duraluminio.

Tabla 2. Resultados del ensayo de compresión en la muestra.

Id.	Diámetro mm	Carga máxima registrada	
		lbf	kgf
C1	15,7	31.600	14.333,76

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de compresión realizado en el pistón.

Tabla 3. Resultados del ensayo de compresión en el pistón.

Id.	Altura del pistón	Diámetro del pistón mm	Carga máxima registrada	
	mm		lbf	kgf
P1	44	60,25	65.500	29.710,8

#### Observación:

El pistón no se rompió, solamente se deformó el bulón. Las faldas del pistón prácticamente tocaron la base del pistón.

En el anexo se muestran las curvas de carga vs. posición registradas en los ensayos de compresión.

  
VICTOR HUGO GUERRERO, Ph.D.  
JEFE DEL LABORATORIO DE  
ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES



ANEXO

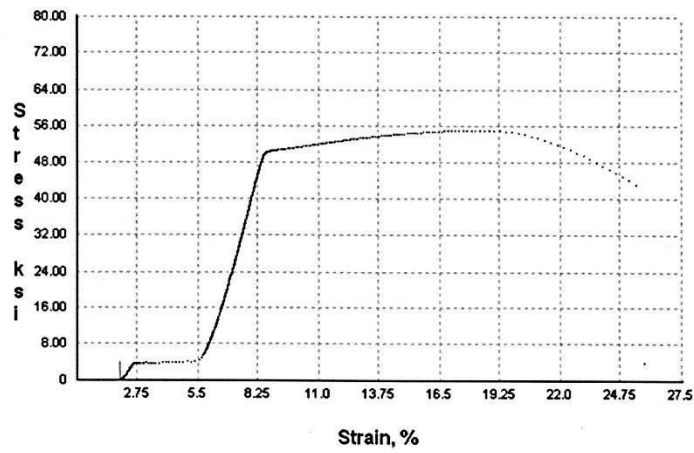


Figura 1. Curva de carga vs. posición de la muestra T1.

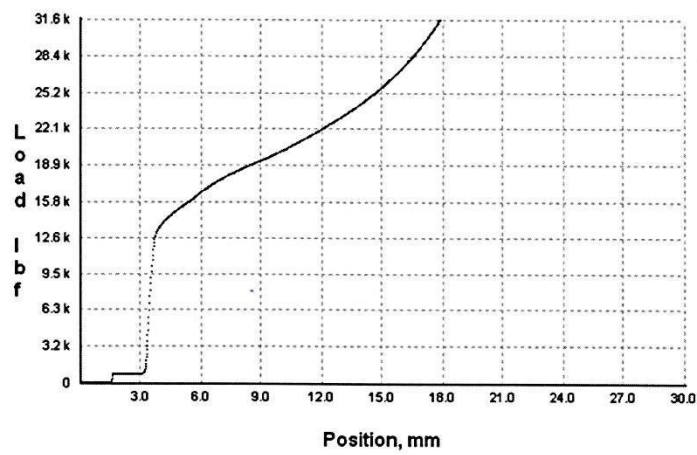


Figura 1. Curva de carga vs. posición de la muestra C1.



LAEV-EPN  
Orden N°: 0001143



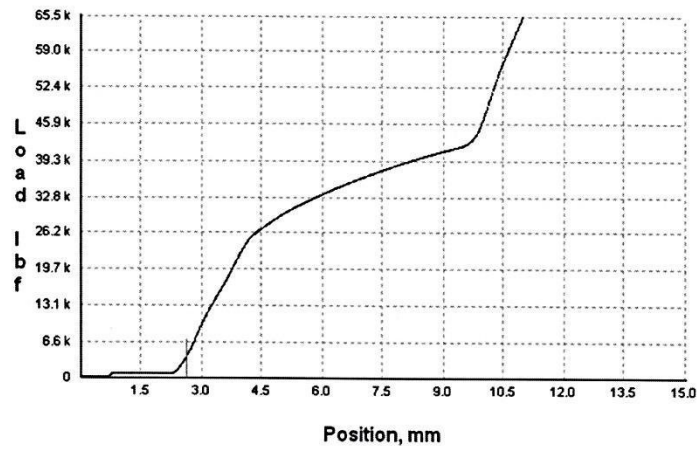


Figura 1. Curva de carga vs. posición de la muestra P1.

VF



LAEV-EPN  
Orden N°: 0001143



**Anexo 9.3:** Informe técnico del ensayo de tracción y compresión

VF-3		
RECORRIDOS	S.A.E.	MÉTRICO
Eje X	40"	1016 mm
Eje Y	20"	508 mm
Eje Z	25"	635 mm
Plato adaptador a superficie de mesa (~ mín.)	4"	102 mm
Plato adaptador a superficie de mesa (~ máx.)	29"	737 mm
MESA	S.A.E.	MÉTRICO
Longitud	48"	1219 mm
Anchura	18"	457 mm
Anchura de ranuras en T	5/8"	16 mm
Distancia entre ejes de ranura en T	3.15"	80.0 mm
Número de ranuras en T estándares	5	5
Peso máx. en mesa (distribuido uniformemente)	3500 lb	1588 kg
HUSILLO	S.A.E.	MÉTRICO
Potencia máx.	30 hp	22.4 kW
Velocidad máx.	8100 rpm	8100 rpm
Par máx.	90ft-lb @ 2000 rpm	122 Nm @ 2000 rpm
Sistema de accionamiento	Inline Direct-Drive	Inline Direct-Drive
Par máx. con caja de engranajes opc.	250 ft-lb @ 450 rpm	339 Nm @ 450 rpm
Cono	CT or BT 40	CT or BT 40
Lubricación de los rodamientos	Air/Oil Injection	Air/Oil Injection
Refrigeración	Liquid Cooled	Liquid Cooled
AVANCES	S.A.E.	MÉTRICO
Rápidos en X	1000 in/min	25.4 m/min
Rápidos en Y	1000 in/min	25.4 m/min
Rápidos en Z	1000 in/min	25.4 m/min
Corte máx.	650 in/min	16.5 m/min
MOTORES DE LOS EJES	S.A.E.	MÉTRICO
Empuje máx. X	2550 lb	11343 N
Empuje máx. Y	2550 lb	11343 N
Empuje máx. Z	4200 lb	18683 N
CAMBIADOR DE HERRAMIENTAS	S.A.E.	MÉTRICO
Tipo	Carousel (SMTC Optional)	Carousel (SMTC Optional)
Capacidad	20	20
Diámetro máx. de herramienta (ocupado)	3.5"	89 mm
Peso máx. de herramienta	12 lb	5.4 kg
Herramienta a herramienta (media)	4.2 sec	4.2 sec
Viruta a viruta (media)	4.5 sec	4.5 sec
CARACTERÍSTICAS GENERALES	S.A.E.	MÉTRICO
Aire necesario	4 scfm, 100 psi	113 L/min, 6.9 bar
Capacidad de refrigeración	55 gal	208 L
Peso de la máquina	12500 lb	5670 kg

**Anexo 10:** Ficha técnica del centro de mecanizado CNC marca Haas  
Fuente: Haas Automation, Inc. – CNC Machine Tools, 2013

Model	QUICK TURN SMART 250
CD	500U, 1000U
Chuck size	10"
Maximum machining diameter	Φ 380 mm ( Φ 15" )
Bar work capability *1	Φ 80 mm ( Φ 3.15" )
Maximum machining length *2	502.5, 1024.5 mm ( 19.858", 40.358" )
Travel ( X / Z )	210 / 560, 1105 mm ( 8.25" / 22", 43.375" )
Main spindle ( 30min. rating )	4000 rpm , 18.5 kW ( 25 HP )
Tool storage capacity	12
Floor space requirement	2710 × 1680, 3385× 1720 mm ( 106.7" × 66.1", 133.3" × 67.7")

\*1 With optional chuck.

\*2 Wpindle speed and maximum turning length depend on chuck specifications.

**Anexo 11:** Ficha técnica del torno CNC marca Mazak  
Fuente: Yamazaki Mazak Corporation