



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE
DE MOTOR MONO CILÍNDRICO DE 150 C.C POR MÉTODOS
CAD/CAM.”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: JHON JAIRO RAMOS CENTENO

DIRECTOR: Ing. EDGAR FABIÁN SÁNCHEZ CARRIÓN

Riobamba – Ecuador

2020

©2019, Jhon Jairo Ramos Centeno

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

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Jhon Jairo Ramos Centeno, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 29 de enero de 2020

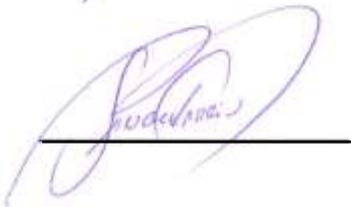
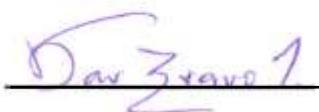


Jhon Jairo Ramos Centeno

060469741-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Propuesta tecnológica “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BLOQUE DE MOTOR MONO CILÍNDRICO DE 150 C.C POR MÉTODOS CAD/CAM.**”, realizado por el señor: **Jhon Jairo Ramos Centeno**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE DE TRIBUNAL		2020-01-29
Ing. Edgar Fabián Sánchez Carrión DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2020-01-29
Ing. Víctor David Bravo Morocho MIEMBRO DE TRIBUNAL		2020-01-29

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y guiándome por el buen camino para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar, salud y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ello que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

Jhon

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida. A mis padres por la confianza y apoyo brindado, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me han demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos. A mis hermanos quienes con sus consejos me han ayudado a enfrentar los retos que se me han presentado en mi vida, por ultimo al Ing. Fabián Sánchez, y Ing. David Bravo, por toda la colaboración brindada, durante la elaboración de este proyecto.

Jhon

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE GRÁFICOS	xii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL.....	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema.	2
1.3 Justificación.....	3
<i>1.3.1 Justificación Teórica.</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2 Justificación Metodológica.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.3 Justificación Práctica.....</i>	<i>3</i>
1.4 Objetivos.....	4
<i>1.4.1 Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2 Objetivos específicos:.....</i>	<i>4</i>

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 CAD (Diseño Asistido por Ordenador)	5
2.2 CAM (manufactura asistida por computador).....	5
2.3 Métodos CAD / CAM para ingeniería inversa.	5
2.4 Control numérico computarizado (CNC).....	5
2.5 Lenguajes de programación de control numérico.....	5
2.6 Formato de un bloque	5
2.7 Sintaxis de un programa CNC.....	6
2.8 Programación abierta	7
<i>2.8.1 Programación estándar.....</i>	<i>7</i>
<i>2.8.2 Programación ISO</i>	<i>7</i>
<i>2.8.3 Programación conversacional.....</i>	<i>7</i>

2.9	Programación mixta.....	8
2.10	Estructura del programa.....	8
2.11	Funciones programables	9
2.11.1	<i>Cabeceras de bloque (N)</i>	9
2.11.2	<i>Funciones preparatorias (G)</i>	10
2.11.3	<i>Funciones auxiliares (M)</i>	10
2.11.4	<i>Velocidad de avance (F)</i>	11
2.11.5	<i>Número de herramienta (T) y corrector (D)</i>	11
2.12	Herramientas en el CNC	11
2.12.1	<i>Características</i>	12
2.13	Reglaje de herramientas.....	12
2.13.1	<i>Compensación longitudinal</i>	12
2.14	Etapas de fabricación.....	13
2.14.1	<i>Desbaste</i>	13
2.14.2	<i>Acabado</i>	13
2.15	Parámetros tecnológicos	13
2.15.1	<i>Movimiento de corte</i>	14
2.15.2	<i>Movimiento de avance:</i>	15
2.15.3	<i>Movimiento de penetración</i>	16
2.16	Optimización de los programas de mecanizado de CNC	16
2.16.1	<i>Tiempo de producción</i>	16
2.16.2	<i>Coste de producción</i>	17
2.16.3	<i>Eficiencia Económica</i>	17
2.16.4	<i>Máxima Productividad</i>	17
2.16.5	<i>Mínimo Coste</i>	17
2.16.6	<i>Máxima rentabilidad</i>	18
2.17	Herramientas de la fresadora.....	18
2.17.1	<i>Montaje de herramientas</i>	19
2.17.2	<i>Procedimiento de montaje de las herramientas</i>	19
2.17.3	<i>Datos para el corte en fresadoras</i>	19
2.18	Ejes de referencia	22
2.19	Puntos de referencia.....	22
2.20	Puntos de referencia en la máquina.	23
2.20.1	<i>Cero máquina (M)</i>	23
2.20.2	<i>Punto de referencia de la máquina (R)</i>	23
2.20.3	<i>Puntos de referencia en la pieza</i>	23
2.20.4	<i>Punto de tope (A)</i>	24

2.20.5	<i>Cero pieza (W)</i>	24
2.21	Puntos de referencia de la herramienta	24
2.21.1	<i>Punto de referencia de la herramienta (N)</i>	24
2.21.2	<i>Punto guía de la fresa (P)</i>	25

CAPÍTULO III

3	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	26
3.1	Diagrama de procesos para el diseño y construcción del prototipo.	27
3.2	Modelado	28
3.2.1	<i>Solidworks:</i>	28
3.2.2	<i>Ingeniería inversa</i>	28
3.2.3	<i>Máquina podadora Poulan Pro PR650RWD</i>	29
3.3	Selección de herramientas.....	30
3.4	Cálculo de velocidades de husillo para las herramientas	31
3.4.1	<i>Velocidad para la herramienta 1</i>	31
3.4.2	<i>Velocidad para la herramienta 2</i>	31
3.4.3	<i>Velocidad para la herramienta 3</i>	31
3.4.4	<i>Velocidad para la herramienta 4</i>	32
3.4.5	<i>Velocidad para la herramienta 5</i>	32
3.5	Calculo de avances para las herramientas	33
3.5.1	<i>Avance de la herramienta 1</i>	33
3.5.2	<i>Avance de la herramienta 2</i>	33
3.5.3	<i>Avance de la herramienta 3</i>	33
3.5.4	<i>Avance de la herramienta 4</i>	33
3.5.5	<i>Avance de la herramienta 5</i>	34
3.6	Tiempos de mecanizado.....	34
3.7	Selección de portaherramientas	35
3.8	Optimizado de mecanizado	35
3.8.1	<i>Estrategias CAM</i>	35
3.8.2	<i>Optimización de los procesos</i>	39
3.9	Modificación de código ISO	45
3.10	Ensayo de espectrometría.....	50
3.10.1	<i>Aluminio:</i>	50
3.10.2	<i>Cobre:</i>	50
3.11	Construcción del prototipo.....	51
3.12	Resultados del mecanizado	55

3.13	Comparación del prototipo.....	57
------	--------------------------------	----

CAPÍTULO IV

4	ANÁLISIS DE COSTO Y PRESUPUESTO	59
4.1	Costos directos	59
4.2	Costos indirectos	60
4.3	Costos totales	60
	CONCLUSIONES.....	61
	RECOMENDACIONES.....	62
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-2.	Formato de un bloque.	6
Tabla 2-2.	Funciones preparatorias.	10
Tabla 3-2.	Datos sobre el material a mecanizar y su velocidad de corte.....	14
Tabla 4-2.	Valores de profundidad.....	16
Tabla 5-2.	Tabla de avances	20
Tabla 6-2.	Avances para cada operación	21
Tabla 1-3.	Fresas utilizadas para la construcción del prototipo	30
Tabla 2-3.	Tiempos de mecanizado para el bloque	34
Tabla 3-3.	Tiempo total de mecanizado por caras.....	41
Tabla 4-3.	Tiempo de mecanizado por caras optimizadas.....	42
Tabla 5-3.	Resultados de mecanización.	55
Tabla 1-4.	Costos de materiales y herramientas.....	59
Tabla 2-4.	Costos de fabricación.....	59
Tabla 3-4.	Costos de indirectos.....	60
Tabla 4-4.	Costo total.	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2.	Ejemplo de carácter.....	6
Figura 2-2.	Ejemplos de Palabra.....	6
Figura 3-2.	Ejemplos de Boques.....	6
Figura 4-2.	Ejemplo de programación abierta.....	7
Figura 5-2.	Panel de torno Fagor 8055T.....	8
Figura 6-2.	Cabecera de bloque.....	9
Figura 7-2.	Cabecera de bloque modificado.....	9
Figura 8-2.	Cambio manual (derecha) y cambio automático (izquierda).....	12
Figura 9-2.	Compensación longitudinal de herramientas.....	12
Figura 10-2.	Desbastados en control numérico.....	13
Figura 11-2.	Herramientas en corte.....	13
Figura 12-2.	Avance.....	15
Figura 13-2.	Tipos de fresas y su utilización.....	18
Figura 14-2.	Mango porta pinzas con pinza.....	18
Figura 15-2.	Tipos de porta pinzas y plato de plaquitas con cono ISO.....	19
Figura 16-2.	Relaciones entre avances.....	20
Figura 17-2.	Rugosidad en el fresado.....	21
Figura 18-2.	Ejes en la fresadora.....	22
Figura 19-2.	Puntos de referencia de la máquina.....	23
Figura 20-2.	Puntos de referencia en la pieza.....	24
Figura 21-2.	Puntos de referencia de la pieza. Cero pieza (W).....	24
Figura 22-2.	Puntos de referencia en la fresadora.....	25
Figura 23-2.	Puntos de referencia de la herramienta.....	25
Figura 1-3.	Modelado del prototipo del block realizado en SOLIDWORKS.....	28
Figura 2-3.	Medición del modelo.....	29
Figura 3-3.	Block del motor de podadora de césped.....	29
Figura 4-3.	Mecanizado de aletas del block con la opción CAVITY_MILL.....	36
Figura 5-3.	Material sobrante del mecanizado con la opción CAVITY_MILL.....	36
Figura 6-3.	Tiempo de mecanizado.....	37
Figura 7-3.	Mecanizado de las aletas con la opción de FIXED_CONTOUR.....	37
Figura 8-3.	Material sobrante del mecanizado con la opción FIXED_CONTOUR.....	38
Figura 9-3.	Tiempo de mecanizado optimizado.....	38
Figura 10-3.	Mecanización con la opción CAVITY_MILL.....	39
Figura 11-3.	Traectoria de la herramienta utilizando opción seguir pieza.....	39

Figura 12-3.	Tiempo de mecanización.....	40
Figura 13-3.	Trayectoria de la herramienta utilizando opción seguir la periferia.....	40
Figura 14-3.	Tiempo de mecanización optimizado.....	41
Figura 15-3.	Cuerpo 2 Cara 1.....	43
Figura 16-3.	Cuerpo 2 Cara 2.....	43
Figura 17-3.	Cuerpo 2 Cara 3.....	44
Figura 18-3.	Cuerpo 2 Cara 4.....	44
Figura 19-3.	Cuerpo 2 Cara 5.....	45
Figura 20-3.	Cuerpo 2 Cara 6.....	45
Figura 21-3.	Código ISO.....	46
Figura 22-3.	Código con las funciones N.....	46
Figura 23-3.	Código sin las funciones N.....	47
Figura 24-3.	Coordenadas de origen.....	47
Figura 25-3.	Coordenadas de origen del proceso.....	48
Figura 26-3.	Remplazo del origen de coordenadas.....	48
Figura 27-3.	Código de fin de máquina.....	49
Figura 28-3.	Código de fin de máquina para mecanizar.....	49
Figura 29-3.	Resultados de la prueba de espectrometría.....	50
Figura 30-3.	Bloque fundido.....	51
Figura 31-3.	Centrado del bloque.....	51
Figura 32-3.	Fresadora CNC con controlador Fanuc.....	52
Figura 33-3.	Código ISO cargado en el software CIMCO.....	52
Figura 34-3.	Asignación del cero pieza.....	53
Figura 35-3.	Mecanización de cara 1.....	53
Figura 36-3.	Block mecanizado.....	54
Figura 37-3.	Roscado del block.....	54
Figura 38-3.	Peso del prototipo del bloque del motor.....	57
Figura 39-3.	Peso del bloque del motor de la podadora Poulan Pro PR650RWD.....	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3.	Diagrama de procesos.....	27
Gráfico 2-3.	Tiempos de mecanizado en minutos.....	35
Gráfico 3-3.	Tiempos de mecanizados sin optimizar.....	42
Gráfico 4-3.	Tiempos de mecanizados optimizados	42

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A.** CATÁLOGO DEL PORTAHERRAMIENTAS FLEXIFER
- Anexo B.** CATÁLOGO DE FRESAS SANDVIK COROMANT
- Anexo C:** PLANOS

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se planteó el objetivo de realizar el diseño y la construcción de un prototipo del block de un motor de podadora de césped, para ello se procedió a realizar el diseño aplicando el método de ingeniería inversa para obtener los datos geométricos de un modelo inicial, con estos parámetros procedemos a desarrollar el modelado en el software tipo CAD SOLIDWORKS. Con el diseño realizado en el software CAD se exporto al software tipo CAD/CAM NX SIEMENS 11 para la simulación y proceso de fabricación. Después de estos pasos se generó el código ISO para la construcción del prototipo en la fresadora CNC de tres ejes, para la mecanización se realizó selección de herramientas basadas en la composición de las mismas y de la pieza a mecanizar. En la fresadora CNC de tres ejes con controlador Fanuc se obtuvo el prototipo en un tiempo de mecanizado de veinte horas laborales con un material de aleación de aluminio y cobre y un peso final de 2,80 lb. Se llegó a la conclusión que utilizando estrategias CAM y optimizando los pos procesos se obtiene un tiempo de fabricación generado por el software CAM de 456.32 comparado con el tiempo real que duró 1200 minutos como resultado hay un incremento del 62% al tiempo ideal, por lo que se determinó que la construcción del prototipo tarda más tiempo que el que se previó en la simulación del software SIEMENS NX 11, el prototipo es viable para la construcción mediante los métodos CNC. Para que el presente trabajo tenga mayor alcance se recomienda tener un mínimo margen de error en la calibración y reglaje de las herramientas al momento de la mecanización de las distintas caras para evitar un mal acabado superficial.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA> <DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR (CAD)>, <MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADOR (CAM)>, <MECANIZADO>, <BLOCK>, <CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)>, <CÓDIGOS>, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>, <NX SIEMENS (SOFTWARE)>.

REVISADO

21 ENE 2020

Ing. Jhonatan Parreño Uquillas, MBA
(ANALISTA DE BIBLIOTECA 1)



ABSTRACT

In this titling work the objective was set to carry out the design and construction of a prototype of a block of a lawn mower engine, for this purpose the design was carried out applying the reverse Engineering method to obtain the geometric data of an initial model, with these parameters we proceed to develop the modeling in the SOLIDWORKS CAD type software. With the design made in the CAD software, the SIEMENS 11 NX CAD/CAM software was exported for the simulation and manufacturing process. After these steps the ISO code was generated for the construction of the prototype in the three-axis CNC milling machine, for the machining; tools were selected based on their composition and the same and the work piece to be machined. In the three-axis CNC milling machine with Fanuc controller, the prototype was obtained in a machining time of twenty working hours with an aluminum-copper alloy material and a final weight of 2.80 lb. It was concluded that using CAM strategies and optimizing the post processes, a manufacturing time generated by the CAM software of 456.32 is obtained compared to the real time that lasted 1200 minutes, as a result there is an increase of 62% to the ideal time, for that it was determined that the construction of the prototype takes longer than what was anticipated in the simulation of the SIEMENS NX 11 software, the prototype is viable for construction using CNC methods. For this work to have a greater scope, it is recommended to have a minimum margin of error in the calibration and adjustment of the tools at the time of machining of the different faces to prevent a bad surface finish.

Keywords: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <COMPUTER ASSISTED DESIGN (CAD)>, <COMPUTER ASSISTED MANUFACTURE (CAM)>, <MACHINING>, <BLOCK>, <MECHANIZED NUMBER CONTROL (CNC)>, <CODES >, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>, <NX SIEMENS (SOFTWARE)>.



INTRODUCCIÓN

El desarrollo de métodos CAD/CAM es muy importante al igual que el control numérico computarizado ya que estos tienen un gran impacto en el desarrollo industrial, aumentando el nivel tecnológico de las grandes potencias y en consecuencia sus economías. Una de las principales ventajas de estos sistemas es la mejor calidad de vida que se tiene en la actualidad debido a que algunos productos son complejos para producir en un mínimo de costo, tiempo y sobre todo manteniendo la calidad del producto.

La manufactura es uno de los sectores más importantes para un país, permite la elaboración de productos con un mayor nivel de valor agregado, en los cuales existe buena capacidad de diferenciación y, sobre todo, un menor nivel de volatilidad en los precios. El desarrollo de este sector fortalece al país, ya que más allá de lo mencionado, también genera fuentes de empleo calificadas y formales. De acuerdo al INEC, a septiembre de 2017 esta actividad generó el 11% del empleo total del país. (Revista EKOS, 2018)

A la falta de manufactura de motores a nivel nacional la propuesta es la construcción de motores con procesos de manufactura computacional integrándonos a la nueva matriz productiva dejar de consumidores y poder crear una base de un monoblock para luego mejorar el diseño y que se pueda producir en serie generando movimiento económico.

Este proyecto está relacionado con los equipos de jardinería y forestal debido a que es un sector en el que no hay mucha oferta de repuestos nivel nacional; con estos antecedentes se utilizara el block de un motor de una podadora de 4 HP de potencia a gasolina de cuatro tiempos con una velocidad sin carga de 2600 rpm.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL.

1.1 Antecedentes

El control numérico tiene como base de origen en el año 1942, a falta de fabricación de hélices de helicópteros con diferentes geometrías en sus diseños para la industria aeronáutica, para la siguiente década en específico en el año 1956 se creó el primer lenguaje de programación por parte de la fuerza aérea americana, e cual constituía en quipos formados por controladores de válvula de vacío pero estos poseían defectos como una fuerte cantidad de consumo energético y emitía una elevada temperatura. (Acosta Gómez y Tubón Chasig 2017)

El desarrollo de la tecnología CNC es muy notoria prueba de ello es ver el desarrollo de las interfaces entre el usuario y la máquina logrando así tener una programación más rápida con un diseño mucho más dinámico y poder fabricar en máquinas de cinco ejes. (Acosta Gómez y Tubón Chasig 2017)

La diferencia principal entre una máquina convencional o manual de una máquina CNC es que una computadora tiene la función de controlar la posición y velocidad que accionan los ejes, debido a estas funciones la máquina realiza movimientos que un máquina convencional no puede tales como círculos, líneas longitudinales y figuras complejas tridimensionales. (Acuña C. y Sánchez O. 2005)

En conclusión los sistemas CAD CAM ayudan a los equipos CNC permiten la automatización de la mecanización industrial a partir del diseño generado en dichos sistemas, siendo de gran ayuda para las empresas para producir piezas con mayor rapidez y calidad. En la industria del mercado sabiendo que la calidad y el mejoramiento continuo es lo más importante. (Acosta Gómez y Tubón Chasig 2017)

1.2 Planteamiento del problema.

La Facultad de mecánica cuenta con varios laboratorios y talleres destinados al fortalecimiento teórico práctico en la formación de los profesionales que genera la misma; durante el proceso de la formación académica se obtuvo un conocimiento teórico y práctico sobre equipos CNC y el

gran impacto que tiene sobre la industria actual, estos conocimientos que aportan al fortalecimiento de buscar un emprendimiento llegando así al punto de observar la industria que abarca a la utilización de motores pequeños es muy grande y al tener las bases en las áreas de control numérico, CAD, CAM se llegó a la conclusión que podemos fabricar los bloques de los motores y poder cubrir una gran demanda que esta industria genera y de esa manera poner en prácticas nuestros conocimientos creando empleo ya se de manera directa e indirecta y tratando de producir partes y piezas en nuestro país.

1.3 Justificación.

1.3.1 Justificación Teórica.

Por medio de este trabajo de grado se estudiarán y aplicarán conceptos relacionados con el campo de la ingeniería automotriz, que en conjunto con los programas de modelación, simulación y análisis posibilitarán la conceptualización y creación de nuestro prototipo por medio de los procesos de manufactura adecuados, que nos permitan dejar un acabado de calidad y fiabilidad.

1.3.2 Justificación Metodológica.

En la descripción metodológica inicialmente se procede a realizar la investigación bibliográfica para identificar el marco teórico reglamentario. La investigación utilizará ésta modalidad que es imprescindible y se acudirá a fuentes bibliográficas con información secundaria conseguidas en libros, revistas, publicaciones, folletos; así también en fuentes de información primaria obtenidas en documentos válidos y confiables, desde una perspectiva deductiva.

Como herramientas metodológicas se utiliza la guía de observación, registro fotográfico, videos, grabaciones de las simulaciones y pruebas del equipo.

1.3.3 Justificación Práctica.

El trabajo de titulación se justifica en la práctica al momento de nosotros generar un código ya que mediante la construcción y diseño del prototipo, también se justifica el aporte de conocimientos en el desarrollo del diseño y construcción del prototipo, siendo un aporte significativo al desarrollo tecnológico de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, y aporte teórico práctico para los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Automotriz.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general.

Diseñar y construir un prototipo de bloque de motor mono cilíndrico 150 c.c. utilizando los métodos CAD/CAM.

1.4.2 Objetivos específicos:

- Obtener bibliografía referente al diseño y construcción de bloques de motor y los procesos de producción para editar conceptos teóricos.
- Realizar el modelado del prototipo utilizando el software CAD SOLIDWORKS.
- Realizar la simulación de la fabricación del prototipo utilizando el software CAM SIEMENS NX11.
- Utilizar estrategias CAM para optimizar el proceso de manufactura.
- Utilizar post procesos adecuados para lograr tiempos mínimos.
- Obtener el código ISO a partir de la simulación de la fabricación del prototipo en el software SIEMENS NX11.
- Realizar un ensayo de espectrometría para conocer si el material del block es adecuado para su mecanización.
- Fabricar el prototipo del block utilizando una máquina CNC de tres ejes a partir de los códigos generados.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO.

2.1 CAD (Diseño Asistido por Ordenador)

Es un software que sirve para desarrollar diseños mediante sistemas informáticos que permiten creación modificación del modelado geométrico utilizando las herramientas CAD (Navarro, 2005).

2.2 CAM (manufactura asistida por computador)

“Es el uso de sistemas informáticos para la planificación, gestión y control del proceso de fabricación de objetos.” (Navarro, 2005).

2.3 Métodos CAD / CAM para ingeniería inversa.

La ingeniería inversa es el proceso de obtener un modelo CAD geométrico a partir de puntos 3D adquiridos escaneando un modelo físico existente.

2.4 Control numérico computarizado (CNC)

Se denomina control de máquinas herramientas empleando un código ISO alfanumérico con instrucciones para que la máquina llegara mecanizar de manera precisa y que tenga una buena calidad de acabado.

2.5 Lenguajes de programación de control numérico.

El control numérico es un sistema de fabricación automatizada mediante la ejecución de programas en los que se describen las acciones de la máquina (arranque, parada, etc.) y los movimientos de la herramienta necesarios para obtener el producto final (pieza). La elaboración de estos programas es los que denominamos “Programación de control numérico”. (Tornero Martínez, 2012 p. 4)

2.6 Formato de un bloque

Para informarle a la máquina el procedimiento que debe hacer necesitamos un programa el cual es un bloque que en su estructura posee caracteres alfanuméricos que tienen un significado y terminología propia. (Escalona 2009, p. 28)

Tabla 1-2. Formato de un bloque.

a	B	C	d		
O001					
N010	G21				Encabezado
N020		X30	Z80		
N030	G28				
N040	M06			T1	
N050	M03			S500	
N060				F60	Procedimiento
N070	M02				
N080	G28				Conclusion

Fuente: (Escalona, 2009)

Realizado por: Ramos Jhon, 2019

2.7 Sintaxis de un programa CNC

Para este tipo de programación CNC necesitamos conocer sus cuatro expresiones elementales que forman parte de su estructura del programa y así su terminología. (Sánchez Fulgueira, 2012 p. 59)

- Carácter: “Es la unidad más pequeña de un programa CNC y puede ser un dígito, una letra o un símbolo.”(Sánchez Fulgueira 2012, p. 59)



Figura 1-2. Ejemplo de carácter.

Fuente: (Sánchez Fulgueira, 2012)

- Palabra (función o instrucción): “Es una combinación de caracteres alfanuméricos para crear instrucciones de control del sistema”. (Sánchez Fulgueira, 2012 p. 59) .Generalmente cada palabra empieza con su letra en mayúscula y a continuación un número.



Figura 2-1. Ejemplos de Palabra.

Fuente: (Sánchez Fulgueira, 2012).

- Bloque: se forma de varias instrucciones, los boques están compuestos de una o dos palabras que son las instrucciones y estas de dos o más caracteres. (Sánchez Fulgueira, 2012 p. 60)



Figura 3-2. Ejemplos de Boques.

Fuente: (Sánchez Fulgueira, 2012).

- Programa: se compone de bloques o líneas de código escritas de manera ordenada y lógica separadas entre sí con un espacio a la siguiente línea esto nos indica que en cada línea hay un inicio y fin. “En el formato que se utilizará, la letra en cada uno de los bloques define el significado de la palabra y, por lo tanto, siempre se debe escribir primero (por ejemplo X2.75 es correcto, mientras que 2.75X no lo es).” (Sánchez Fulgueira, 2012 p. 59)

2.8 Programación abierta

La programación abierta es la más utilizada en la programación de control numérico. Está basada en la escritura lineal de los programas, independientemente de la posición que ocupen los datos. Así se puede encontrar un programa como el siguiente:

```
N10 G90 G0 X60 Z2 F120 S960
N20 M03 T2 D2; GIRO Y SELECCION DE HERRAMIENTA
;COMIENZO DEL MECANIZADO
G0 X55 Z2
G1 X55 Z-35 F80
.
.
.
```

Figura 4-2. Ejemplo de programación abierta.
Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

2.8.1 Programación estándar

La programación estándar se hace de manera general en un ordenador para lo cual se necesita conocer de las estructuras y funciones de la programación si como el de un software que simule su aplicación y mecanizado, se divide en las siguientes. (Tornero Martínez, 2012 p. 9)

2.8.2 Programación ISO

Como se conoce que el ISO tiene la función de estandarización de las normas en la fabricación por lo cual aplicado en CNC es un sistema de programación normalizado. Los fabricantes en su mayor parte utilizan el sistema de programación ISO, sin embargo la tecnología avanza mucho que hace que no todos los fabricantes utilicen este sistema pero la programación es similar. (Serrano Sánchez, et al., 2012)

2.8.3 Programación conversacional

Ésta programación se realiza mediante el panel de control de la máquina indicándole los datos de las operaciones que se van a realizar, por lo que este tipo es de programación manual a pie de

máquina, debido a la simbología en el panel la programación es más intuitiva no es necesario un operario tan especializado en programación. (Tornero Martínez, 2012 p. 10)



Figura 5-2. Panel de torno Fagor 8055T.
Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

2.9 Programación mixta

Existen muchos controles que permiten a los operarios comunicarse con ellos a base de sus capacidades, es una combinación de las siguientes tipos de programación: manual a pie de máquina, manual con ordenador y mediante CAD-CAM.

- Programación manual a pie de máquina: es la más práctica ya que solo se debe introducir los datos necesarios en cada proceso pro tiene solo sirve para piezas no tan complejas
- Programación manual con ordenador: se realiza mediante un software para hacer la programación estándar una de las ventajas es que no es necesario estar en la máquina.
- Programación mediante CAD –CAM: este tipo es el más utilizado por los desarrolladores ya que permiten obtener la programación a partir de diseños de los sólidos a fabricarse, el programa más completo y utilizado es el siemens NX. (Tornero Martínez, 2012 p. 10)

2.10 Estructura del programa

La serie de líneas son bloques que forman un programa CNC, los cuales contienen información necesaria de las operaciones que van a realizarse, estos boques se leerán de una manera ordenada de los procesos del mecanizado, las acciones que se va a realizar la máquina viene definido en cada bloque y contiene los siguientes parámetros:

- Desplazamientos de herramientas.
- Velocidades de avance y rotación.
- Selección de herramientas.

- Establecimiento de las condiciones y modo de funcionamiento de la máquina herramienta y del CNC. (Tornero Martínez, 2012 p. 11)

2.11 Funciones programables

En un lenguaje de programación ISO consta de múltiples funciones clasificadas de la siguiente manera:

- Cabeceras de bloque (N).
- Funciones preparatorias (G).
- Cotas de los ejes (X, Y, Z,...C).
- Velocidad de avance (F).
- Velocidad de giro del cabezal (S).
- N° de herramienta (T).
- N° de corrector (D).
- Funciones auxiliares (M). (Tornero Martínez, 2012 p. 13)

2.11.1 Cabeceras de bloque (N)

Se denomina con la letra (N) por lo general se indican con múltiplos de 10 como se muestra en la figura y están en un rango de 1 hasta 99999 dependiendo del límite de bloques del software.

```
N10 G90 . . .
N20 M3
N30 G0 . . .
```

Figura 6-2. Cabecera de bloque.

Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

Si se desea añadir otro bloque después de tener la programación terminada con su respectivo orden podemos incluir una nueva línea como se muestra en la siguiente figura:

```
N10 G90 . . .
N15 G94 . . .
N20 M3
N30 G0 . . .
```

Figura 7-2. Cabecera de bloque modificado.

Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

2.11.2 Funciones preparatorias (G)

Estas funciones hacen mención al modo y forma que se hacen las trayectorias, se denominan con la letra G y se complementa con el dígito que corresponda a la línea, a continuación en la tabla tenemos detalladas cada función. (Torero Martínez, 2012 p. 13).

Tabla 2-1. Funciones preparatorias.

Función	Característica
G40	Anulación de compensación radial
G17	Plano principal X-Y y longitudinal Z
G90	Programación absoluta
G71	Programación en milímetros
G91	Programación incremental
G28	Selección segundo cabezal o Conmutación de ejes

Fuente: (Torero Martínez, 2012)

Realizado por: Ramos Jhon, 2019

2.11.3 Funciones auxiliares (M)

Son las que indican la forma de funcionamiento de la máquina y del programa CNC se denomina con la letra M y se le acompaña con el dígito correspondiente a la función que se requiera a continuación se muestra las más importantes:

- M00, parada programada.
- M01, parada condicional. Análoga a M00.
- M02, final de programa. Después de ésta, se realiza una función RESET del CNC.
- M03, acciona el motor principal en sentido horario.
- M04, acciona el motor principal en sentido anti-horario.
- M05, parada del cabezal.

- M06, cambio de herramienta.
- M30, fin de programa con vuelta al comienzo. Idéntica a M02 salvo que el CNC vuelve al primer bloque del programa.
- M41, M42, M43, M44, cambio de gamas del cabezal.
- M45, cabezal auxiliar / herramienta motorizada. (Tornero Martínez, 2012 p. 15)

2.11.4 Velocidad de avance (F)

Se la indican con letra F acompañado de la magnitud del avance, en la misma línea de programación va una función preparatoria y depende de la función que vayan a cumplir por ejemplo si requerimos poner el avance en milímetros sobre revolución tenemos G95, también se tiene la opción de avance en milímetros sobre minuto G94, tenemos un ejemplo:

- N20 G94 F350

De este bloque interpretamos que el avance es de 350 en milímetros sobre revolución. (Tornero Martínez, 2012 p. 17)

2.11.5 Número de herramienta (T) y corrector (D)

Se indican con la letra T y acompañada del número de la herramienta, para el mecanizado de una pieza necesitamos de varias herramientas por lo cual en la programación necesitamos diferenciar la herramienta que necesitemos para el proceso adecuado por lo que la función T permite seleccionar el tipo de herramienta. (Tornero Martínez, 2012 p. 17)

2.12 Herramientas en el CNC

Las herramientas que se usan el CNC se encuentran ubicadas en el portaherramientas que a su vez se encuentra en la torreta, las torretas pueden ser de cambio a automáticas como se muestran en la figura..., esto es importante para cuando estamos realizando la programación ya que si tenemos una de cambio manual en el código tendremos que insertar paradas utilizando M00 que es una parada programada que utilizamos para proceder con el cambio de herramienta, por lo contrario si la torreta es de cambio automático el mismo CNC se encarga de girar hasta la herramienta que se necesite. (Tornero Martínez, 2012 p. 67).



Figura 8-2. Cambio manual (derecha) y cambio automático (izquierda).
Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

2.12.1 Características

Los aspectos y valores de cada herramienta se encuentran en la tabla de herramientas en las cuales van detalladas su posición en la torreta dimensionas entre otras.

2.13 Reglaje de herramientas

Es una operación que utilizamos para informar al CNC en qué estado están las herramientas si necesitan una compensación.

2.13.1 Compensación longitudinal

Se utiliza para compensar diferencias longitudinales en los ejes x y z como se muestran en la figura ... , esta compensación siempre se debe hacer en el cambio de herramienta para respetar el cero pieza y de esa manera cuando se produce el cambio de herramienta queda en la misma posición (Tornero Martínez, 2012 p. 69).

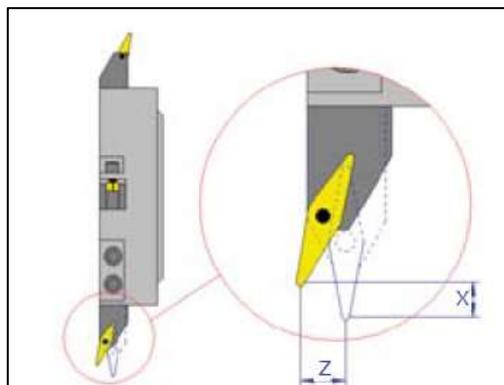


Figura 9-2. Compensación longitudinal de herramientas

Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

2.14 Etapas de fabricación

En el proceso de fabricación de las máquinas herramientas hay dos etapas que son acabado y desbaste. (Tornero Martínez, 2012 p. 73)

2.14.1 Desbaste

En esta etapa tiene la función de eliminar lo más posible el material sobrante en un mínimo de tiempo para obtener la pieza final aunque con mayor dimensión, el desbastado consiste en realizar pasadas continuamente hasta llegar a la forma de la pieza final pro con mayor dimensión para pasar a la siguiente etapa de acabado. (Tornero Martínez, 2012 p. 73)



Figura 10-2. Desbastados en control numérico

Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

2.14.2 Acabado

Consiste en el mismo procedimiento de desbaste solo que esta vez trata de dejar el mínimo de material sobrante y utiliza las funciones como G1, G2, G3, etc. (Tornero Martínez, 2012 p. 75)

2.15 Parámetros tecnológicos

Para realizar el mecanizado debemos dotar a la máquina tres movimientos necesarios que se dividen en movimiento de corte, movimiento de avance y movimiento de penetración. (Tornero Martínez, 2012 p. 75)



Figura 2-2. Herramientas en corte

Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

2.15.1 Movimiento de corte

“Es el movimiento relativo de la herramienta respecto de la pieza que proporciona la fuerza de corte. Se caracteriza por su velocidad, llamada velocidad de corte.” (Tornero Martínez, 2012 p. 75).

Velocidad de corte (V_c): se denomina a la velocidad momentánea entre la herramienta y el punto de contacto de la pieza a mecanizar, tiene como unidades metros por minuto o metros por segundo, la velocidad que se va a asignar en función de los parámetros como del material que se mecanizara, del material de la herramienta y de la operación de mecanizado. (Tornero Martínez, 2012 p. 76).

Tabla 3-2. Datos sobre el material a mecanizar y su velocidad de corte

MATERIAL DE LA PIEZA			VELOCIDAD DE CORTE (M/MIN)						
Denominación	Tratamiento	Dureza HB	Material de la herramienta						
			Acero rápido + refrigerante	Material duro sin recubrir	Metal duro recubierto	Cermet	Nitruro de boro	Diamante policristalino	
A	acero sin aleación	recocido < 0,15% C	125	40-80	80-160	250-300	340-430	-	-
		recocido > 0,15% C	150-250	30-70	60-120	220-250	290-340	-	-
		Templado y revenido > 0,45% C	300	30-50	40-110	180-220	240-290	-	-
	acero de baja aleación	recocido	180	40-48	70-140	250-280	320-360	-	-
		Templado y revenido	250-300	30-50	50-100	170-220	23-280	-	-
R	acero inoxidable	recocido (ferrítico)	200	30-70	40-80	140-220	200-260	-	-
		templado (austenítico)	180	25-70	40-80	110-190	250-280	-	-
F	fundición gris	perlítico-ferrítico	180	-	120-160	150-220	340-480	500-1.500	-
	fundición nodular	ferrítico	160	-	130-170	200-360	360-520	200-700	-
	fundición maleable	ferrítico	130	-	140-200	180-350	330-500	-	-
N	aleaciones aluminio de fundición	no endurecido <12% Si	80	-	400-1.500	-	-	-	300-4.000
		endurecido > 12% Si	130	-	200-800	-	-	-	200-700
	cobre y aleaciones de cobre	latón	-	-	200-600	-	-	-	100-700
		bronce	90	-	150-400	-	-	-	100-1.500
		cobre electrolítico	100	-	150-300	-	-	-	300-3.000
S	aleaciones	titanio puro	400	-	60-1120	80-130	-	-	-
H	acero templado	templado y revenido	2.170	-	-	-	-	-	-
	fundición pura	moldeado	400	-	-	-	-	-	-

Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

Realizado por: Tornero Martínez, 2012

Para las máquinas de movimiento circular, la velocidad de corte viene dada por la fórmula:

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} (m/min) \quad (1)$$

Siendo:

- V_C : velocidad de corte en m/min
- d : diámetro de la pieza o de la herramienta en mm
- n : número de vueltas de la herramienta o de la pieza por minuto

Cuando se trabaja con velocidad de corte constante se obtiene el valor de la tabla anterior y si queremos obtener la velocidad de giro se utiliza la siguiente formula:

$$n = \frac{V_C \cdot 1000}{\pi \cdot d} (rpm) \quad (2)$$

2.15.2 Movimiento de avance:

Por lo general la herramienta es más pequeña que la pieza que se va a mecanizar entonces necesita hacer bastantes pasadas hasta llegar a la forma de la pieza deseada.



Figura 12-2. Avance

Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

Avance: “Se llama avance a la desviación lateral que sufre la cuchilla o la pieza, para cada pasada de la herramienta en los movimientos alternativos” (Tornero Martínez, 2012 p. 77)

$$f = n \cdot a \cdot n_z \quad (3)$$

Este valor también los dan los fabricantes pero a veces tenemos en cualquiera de las dos unidades ya sea en milímetros por minuto (mm/min) (G94) o milímetros por vuelta (mm/v) (G95), si necesitamos transformar las unidades tenemos la siguiente formula:

$$a_m = a_v \cdot n \quad (4)$$

Siendo:

- a_m ; avance en mm/min
- a_v ; avance en mm/v
- n ; Velocidad de giro en rpm

2.15.3 Movimiento de penetración

“Se llama así al movimiento que se da a la herramienta, en dirección perpendicular a la superficie trabajada y que se caracteriza por el espesor de material arrancado.” (Tornero Martínez, 2012 p. 77)

Profundidad de corte o de pasada: tiene como unidad milímetros y es el valor del movimiento de penetración este valor está en función del desgaste y estado de la herramienta y del estado y potencia de la máquina. (Tornero Martínez, 2012 p. 77) .

Tabla 4-2. Valores de profundidad

Valores Recomendados de profundidad	
Desbaste	2 a 4 mm
Acabado	0,5 a 2 mm

Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

Realizado por: Ramos Jhon, 2019

2.16 Optimización de los programas de mecanizado de CNC

La base de realizar cualquier proceso en producción es que sea más eficiente utilizando menos recursos, para lo cual tenemos los siguientes parámetros de un lote de piezas (N_b) para llegar a la optimización. (Sánchez Fulgueira, 2012 p. 53)

2.16.1 Tiempo de producción

Es lograr un tiempo mínimo en la fabricación de un lote de piezas sin tener el coste de producción. (Sánchez Fulgueira, 2012 p. 53).

- tiempo de arranque de viruta: está en función de la velocidad de corte.

$$\text{tiempo de arranque de viruta} = N_b * T_M \quad (5)$$

- Tiempo de carga/descarga de piezas, reposicionamientos de herramientas entre pasadas:

$$T_{CR} = N_b * T_I \quad (6)$$

- Tiempo invertido en los cambios de herramienta:

$$T_{CH} = N_t * T_{CT} \quad (7)$$

- Quedando el tiempo promedio por pieza:

$$T_{PR} = T_M * T_I + \left(\frac{N_t}{N_b}\right) * T_{CT} \quad (8)$$

- Se realizará un cambio de herramienta cada

$$T_{CH} = \left(\frac{N_t}{N_b}\right) \quad (9)$$

2.16.2 Coste de producción

“En este caso, se pretende minimizar el coste de producción del lote de piezas sin tener en cuenta el tiempo que se emplea para ello.” (Sánchez Fulgueira, 2012 p. 54)

$$C_{PR} = M * T_{PR} + \left(\frac{N_t}{N_b}\right) * C_T + Q \quad (10)$$

- M : valor de la hora de máquina, se incluye también gastos como el de un operario el mantenimiento de la propia máquina y gastos en general.
- C_T : coste promedio por filo de la herramienta.
- Q : son gastos permanentes por pieza. (Sánchez Fulgueira, 2012 p. 54)

2.16.3 Eficiencia Económica

La finalidad es buscar la mayor rentabilidad por la producción de cada pieza en una unidad de tiempo. (Sánchez Fulgueira, 2012 p. 54)

$$EE = \frac{(S - C_{pr})}{T_{pr}} \quad (11)$$

2.16.4 Máxima Productividad

Consiste el realizar el mayor media de piezas en el tiempo más minino esto genera que el proceso tenga un alto valor debido a la mayor utilización d herramientas y más recursos, aunque suelen aplicarlo cuando se vence el plazo de entrega. (Sánchez Fulgueira, 2012 p. 54)

2.16.5 Mínimo Coste

“es el régimen para el cual la pieza cuesta el mínimo tiempo y, por consiguiente, se obtiene el mayor beneficio.” (Sánchez Fulgueira, 2012 p. 55). Cuando va a haber tiempos muertos en las máquinas se aplica este método.

2.16.6 Máxima rentabilidad

Este consiste en llevar la eficiencia hasta el valor máximo, llegando así a minimizar las pérdidas por unidad de tiempo o generar el más alto beneficio. (Sánchez Fulgueira, 2012 p. 55).

2.17 Herramientas de la fresadora

El tipo de herramientas que se utilizan en una fresadora CNC poseen filos múltiples con dos cualidades importantes como que no se emboten rápidamente y su temperatura no se eleve muy mucho debido a que cada filo está cortando en una fracción por revolución entonces la otra parte del filo debe enfriarse rápidamente. (Tornero Martínez, 2012 p. 187).



Figura 13-2. Tipos de fresas y su utilización

Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

“No obstante, las fresadoras de CNC suelen trabajar, fundamentalmente, en modo de fresado vertical (con fresas frontales), por lo que las fresas generalmente van sujetas en pinzas, con mango porta pinzas” (Tornero Martínez, 2012 p. 187).

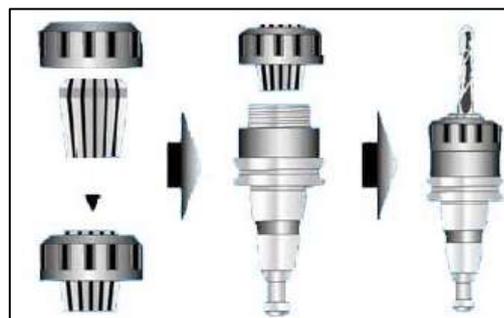


Figura 14-2. Mango porta pinzas con pinza

Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

2.17.1 Montaje de herramientas

“Como los centros de mecanizado y fresadoras de control numérico trabajan, por lo general con cabezal giratorio, para la sujeción de fresas se utilizan preferentemente los sistemas de porta pinzas o de conos” (Tornero Martínez, 2012 p. 187).

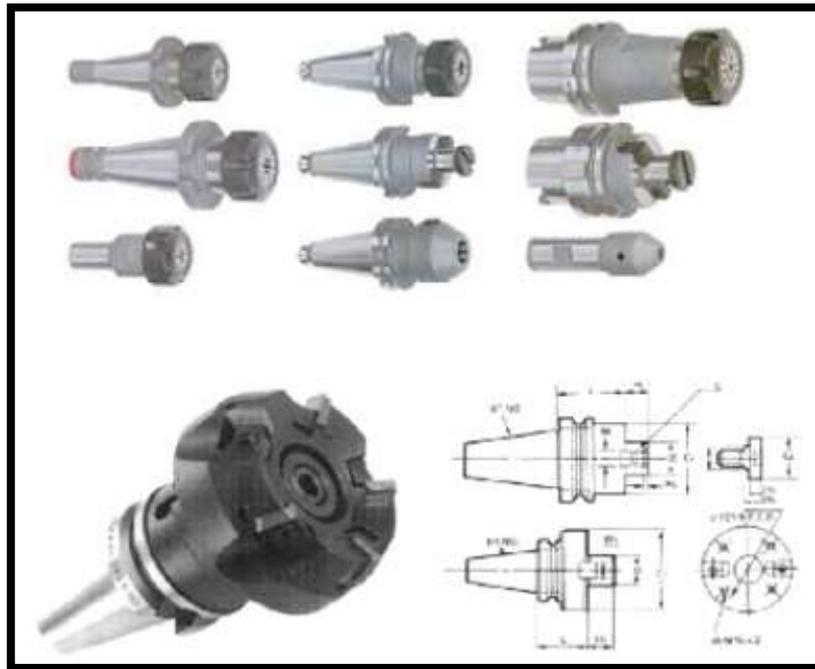


Figura 15-2. Tipos de pinzas y plato de plaquitas con cono ISO
Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

2.17.2 Procedimiento de montaje de las herramientas

- En una fresadora universal las herramientas se colocan en el eje horizontal sobre el eje de fresado.
- En fresadoras de vástago se las herramientas se colocan en pinzas.
- En fresadoras frontales, cabezales porta cuchillas, plaquitas intercambiables se utilizaran conos

2.17.3 Datos para el corte en fresadoras

Estos datos los fabricantes nos proporcionan en tablas, estos valores están en función del material a mecanizar y de las fresas. Algunos fabricantes también nos indican el valor del avance de las fresa a base de cada filo. (Tornero Martínez, 2012 p. 188)

Tabla 5-2. Tabla de avances

Material a mecanizar			Avance por diente (Fz)								Condiciones	
Denominación	Resistencia a la tracción		Diámetro de la fresa								V (m/min)	Refrig. E: emulsión O: aceite D: seco
	desde	hasta	Ø4	Ø6	Ø8	Ø10	Ø12	Ø16	Ø20			
Acero de fácil mecanizado	370	600	0,02	0,03	0,035	0,05	0,1	0,1	0,1	30/40	E	
Acero de construcción en general	550	1.000	0,02	0,03	0,035	0,05	0,06	0,1	0,1	30/35	E	
Acero inoxidable	450	950	0,012	0,025	0,03	0,045	0,045	0,045	0,065	15/20	O	
Hierro fundido con grafito laminar	100	240	0,02	0,03	0,035	0,05	0,06	0,1	0,1	20/30	E/O	
Fundición maleable	100	270	0,02	0,03	0,035	0,05	0,06	0,1	0,1	15/20	E/O	
Aleaciones maleables de aluminio (Si < 10%)	10	180	0,025	0,042	0,062	0,067	0,08	0,11	0,13	168/200	E	
Aleaciones fundidas de aluminio (Si > 10%)	150	250	0,02	0,03	0,035	0,05	0,06	0,1	0,1	50/80	E	
Cobre	200	400	0,02	0,03	0,035	0,05	0,06	0,1	0,1	60/100	E	
Latón con viruta corta	200	550	0,02	0,03	0,035	0,05	0,06	0,1	0,1	50/90	E	
Bronce con viruta corta	250	850	0,02	0,03	0,035	0,05	0,06	0,1	0,1	50/90	E	
Aleaciones con titanio	100	700	0,025	0,042	0,062	0,067	0,08	0,11	0,13	10/20		

Fuente: (Martínez, 2012)

Realizado por: Martínez, 2012

Al momento de establecer los avances en la máquina debemos conocer lo siguientes puntos:

- $z = n^\circ$ de filos de la fresa.
- $a_z =$ avance por diente, en mm/z
- $n =$ rpm de la fresa

Fijándonos en la tabla podemos observar que el avance por vuelta viene dado por la siguiente relación:

$$a_v = a_z * z \quad (mm/v) \quad (12)$$

El avance por minuto en función de la velocidad de giro de la fresa,

$$a_m = a_v * n \quad (mm/min) \quad (13)$$

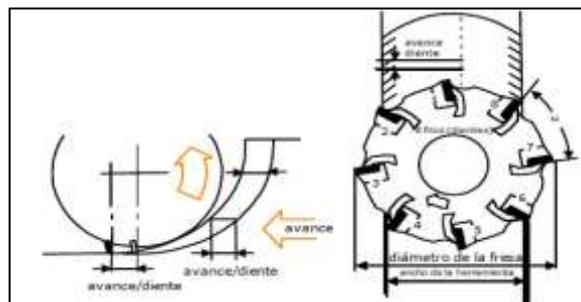
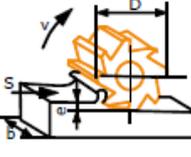
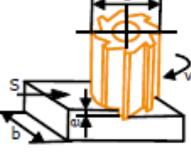
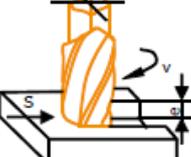
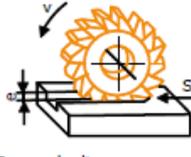


Figura 16-2. Relaciones entre avances

Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

Tabla 2-2. Avances para cada operación

Operación de fresado	Material	Debastado		Acabado		Observaciones
		Velocidad v m/min	Desplazamiento 5 mm/min	Velocidad v m/min	Desplazamiento 5 mm/min	
		Profundidad de pasada \approx 5 mm		Profundidad de pasada \approx 1 mm		
 b = ancho de la fresa	Acero no aleado hasta 80 kg/mm ²	16...18	90...150	18...22	60...90	Toda clase de fresado hasta 100 mm de ancho en fresado normal
	Acero ligeramente aleado hasta 110 kg/mm ²	10...13	50...70	13...16	35...45	
	Fundición gris	12...14	10...170	14...18	70...100	
	Latón, bronce	30...40	160...220	40...60	100...160	
	Aluminio aleado	180...300	200...350	220...320	100...200	
 b = 0,8 · D	Acero no aleado	20...25	80...120	25...30	45...70	Ancho del fresado = 0,8 · D, siendo D el diámetro de la fresa
	Acero ligeramente aleado	12...15 32...40	50...70 80...90	16...30 40...45	45...70 56...70	
	Fundición gris	16...20 50...63	110...160 140...200	20...25 63...70	50...80 125...180	
	Latón, bronce	46...60	220...280	50...70	90...140	
	Aluminio aleado	240...320 400...500	240...360 350...400	260...380 500...630	90...170 250...350	
 Fresas de manguito	Acero no aleado	16...18	35...55	20...24	75...100	Las fresas de alto rendimiento deben estar sólidamente fijadas
	Acero ligeramente aleado	12...14	15...25	16...28	40...50	
	Fundición gris	14...16	40...75	18...20	80...110	
	Latón, bronce	30...40	60...100	50...60	100...140	
	Aluminio aleado	160...200	60...100	180...240	80...120	
 Fresas de disco	Acero no aleado	12...16	26...34	18...24	20...30	Valores contraavance para perfil simple y fresado normal
	Acero ligeramente aleado	10...14	18...24	14...18	15...20	
	Fundición gris	14...16	36...45	16...22	25...35	
	Latón, bronce	26...32	50...65	30...40	35...35	

Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

Realizado por: Tornero Martínez, 2012

El avance también está en función del acabado superficial

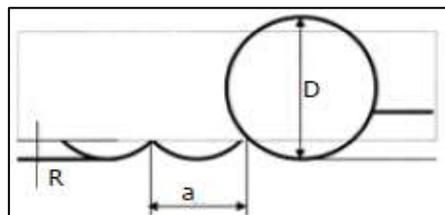


Figura 17-2. Rugosidad en el fresado
Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

La relación es la siguiente:

$$R = \frac{a^2 * 1000}{4 * D} \quad (14)$$

Siendo:

- R = rugosidad en m
- a = avance en mm/v
- D = diámetro de la fresa en mm.

Despejando de la formula el avance tenemos:

$$a = \sqrt{\frac{R * 4 * D}{1000}} \quad (15)$$

2.18 Ejes de referencia

“Los sistemas de ejes empleados por las fresadoras y centros de mecanizado están normalizados según las normas UNE 71-018 e ISO 841.” (Tornero Martínez, 2012 p. 190).

Se utilizan los ejes del plano cartesiano que son los X, Y y Z respectivamente siendo la pieza a mecanizar debe estar ubicado conjuntamente en paralelo con dichos planos. En el eje Z en el que el usillo tiene el movimiento de subir y bajar mientras mecaniza la pieza, en el eje X es paralelo a la sujeción de la pieza. (Tornero Martínez, 2012 p. 190).

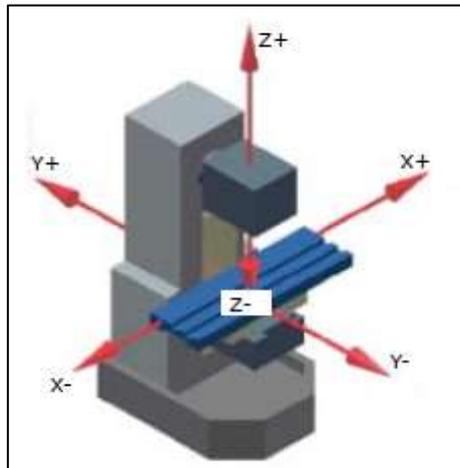


Figura 18-2. Ejes en la fresadora.

Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

2.19 Puntos de referencia

Estos puntos son convencionales al sistema de coordenadas y nos sirve para reglajes de máquina que ya son establecidos por el fabricante y también varios que hace el programador. “Los puntos

de referencia fundamentales se pueden encontrar en la máquina, en la pieza y en la herramienta.”
(Tornero Martínez, 2012 p. 191).

2.20 Puntos de referencia en la máquina.

“Los puntos de referencia de la máquina son puntos establecidos por los fabricantes y que no pueden ser modificados. Generalmente se utilizan para reglajes internos de la propia máquina.”
(Tornero Martínez, 2012 p. 191).

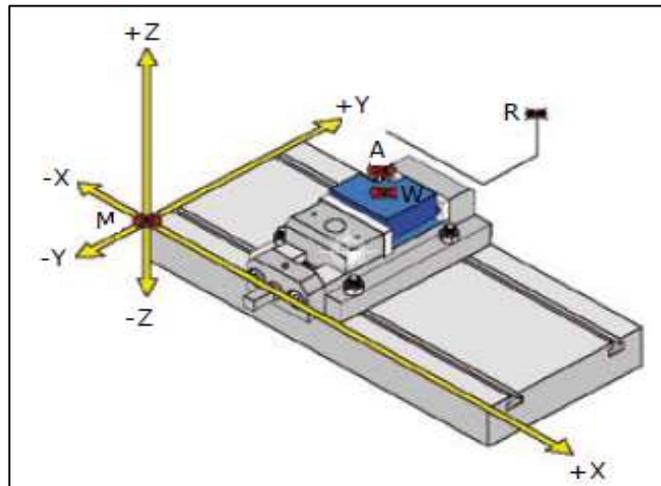


Figura 19-2. Puntos de referencia de la máquina.
Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

2.20.1 Cero máquina (M)

“Es un punto de referencia fijado por el fabricante de la máquina y que no puede ser modificado por el programador. Junto con el de referencia (R) se utiliza para establecer los valores de fábrica.”
(Tornero Martínez, 2012 p. 191).

2.20.2 Punto de referencia de la máquina (R)

“Punto igualmente fijado por el fabricante y que no se puede modificar. Desde él se comunica al control la posición de la mesa. Es necesario establecerlo después de cada corte de corriente.”
(Tornero Martínez, 2012 p. 191).

2.20.3 Puntos de referencia en la pieza

“Son puntos establecidos por el programador en función de la geometría de la pieza y su fijación a la máquina” (Tornero Martínez, 2012 p. 191).

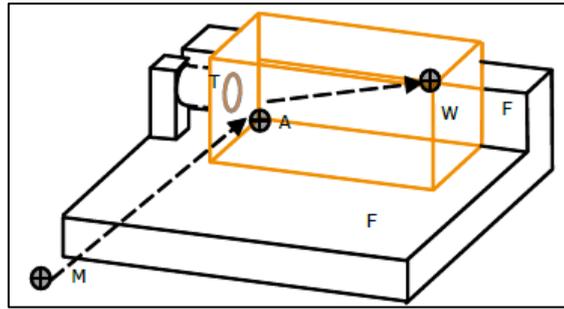


Figura 20-2. Puntos de referencia en la pieza
Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

2.20.4 Punto de tope (A)

Al momento de colocar la pieza tenemos un punto de contacto en la mordaza indicado mediante topes este es el punto fijo entre ambos. Este punto indica el programador debido al estado de la mordaza y sus topes. (Tornero Martínez, 2012 p. 192).

2.20.5 Cero pieza (W)

Usualmente este punto está ubicado sobre la pieza como se muestra en la figura 23-2, este punto lo indica el programador y es la referencia de toda la programación. (Tornero Martínez, 2012 p. 192).

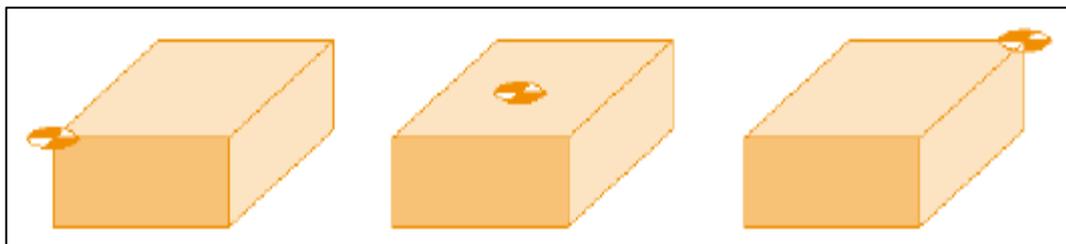


Figura 21-2. Puntos de referencia de la pieza. Cero pieza (W)
Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

2.21 Puntos de referencia de la herramienta

“Son los puntos necesarios para los reglajes de las herramientas y para programar desplazamientos de la misma en programación incremental.” (Tornero Martínez, 2012 p. 192)

2.21.1 Punto de referencia de la herramienta (N)

Este punto N ya está fijado por el fabricante, se halla en el eje de la guía de la fresa y sobre la base del usillo principal. Se usa como referencia para fijar las dimensiones y ajustes de herramientas (Tornero Martínez, 2012 p. 192).

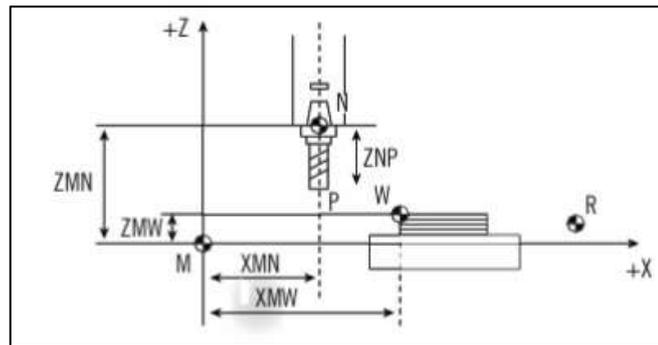


Figura 22-2. Puntos de referencia en la fresadora
Fuente: (Sánchez Fulgueira, 2012)

Según la imagen nos indican lo siguiente:

- M: origen de máquina
- P: punto extremo de la herramienta.
- N: punto de referencia del husillo (situado sobre su eje).
- W: origen de pieza
- R: punto de referencia de orígenes
- XMN, ZMN: coordenadas de N respecto a M.
- ZNP: corrector de longitud de la herramienta.
- XMW, ZMW: decalaje del origen de la pieza respecto a M. (Sánchez Fulgueira, 2012 pp. 90,91)

2.21.2 Punto guía de la fresa (P)

“Punto donde se cortan el eje de la fresa y el plano de corte de la misma. Depende de la longitud de la herramienta y será el utilizado para efectuar los desplazamientos incrementales.”(Tornero Martínez 2012, p. 195)

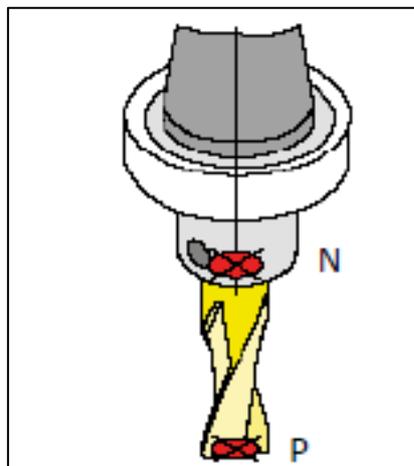


Figura 23-2. Puntos de referencia de la herramienta.

Fuente: (Tornero Martínez, 2012)

CAPÍTULO III

3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

En este capítulo tomaremos se basa en detallar los pasos que seguimos para diseñar y construir el block del motor de una podadora Poulan Pro PR650RWD, para esto primero conseguimos el motor aplicando el método de ingeniería inversa realizamos el modelado en el software CAD luego lo importamos en software CAM para proceder a realizar la simulación del mecanizado, a partir de esta simulación utilizamos estrategias CAM y optimización de procesos para reducir el tiempo de mecanizado para reducir el costo de construcción y manteniendo la calidad de acabado superficial. Para la construcción se procedió a la selección de herramientas y portaherramientas para la mecanización del block para ello utilizaremos la fresa CNC de tres ejes con controlador FANUC series O-M

3.1 Diagrama de procesos para el diseño y construcción del prototipo.

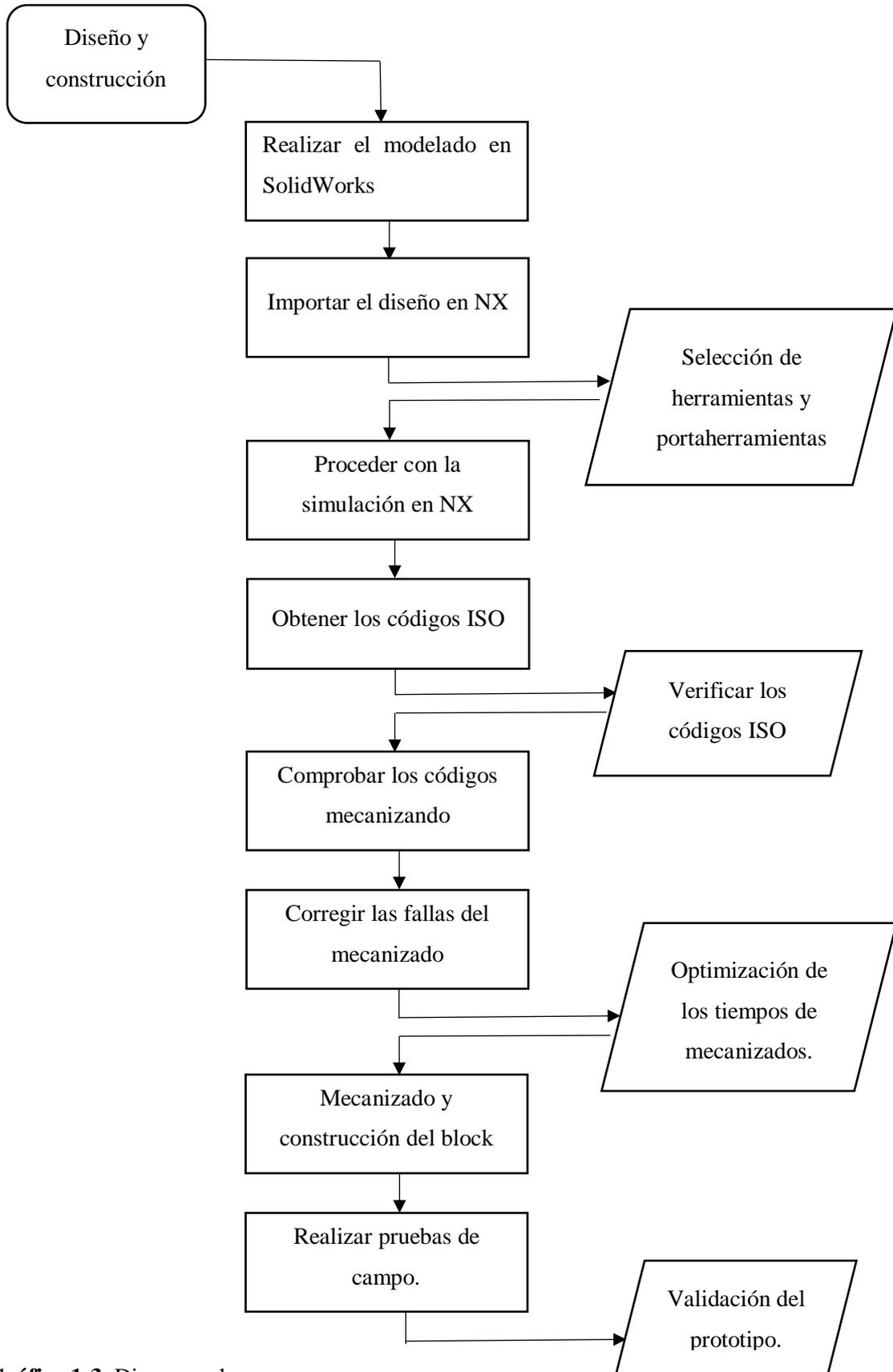


Gráfico 1-3. Diagrama de procesos
Realizado por: Ramos Jhon, 2019

3.2 Modelado

Para realizar el modelado de nuestro prototipo utilizamos el software CAD denominado SOLIDWORKS debido a que es muy dinámico y fácil de utilizar, para realizar el modelado partimos del concepto de ingeniería inversa la que más adelante esta detallada y adquirimos un motor de segunda mano que corresponde a la podadora Poulan Pro PR650RWD.

3.2.1 *Solidworks:*

Es un software CAD que tiene como función el modelado de piezas mecanizadas en 2D y 3D y también permite extraer los planos técnicos del modelado e información necesaria para su producción, el modelado consiste en la utilización de las herramientas CAD para plasmar la idea mental en el diseño de una pieza virtual.

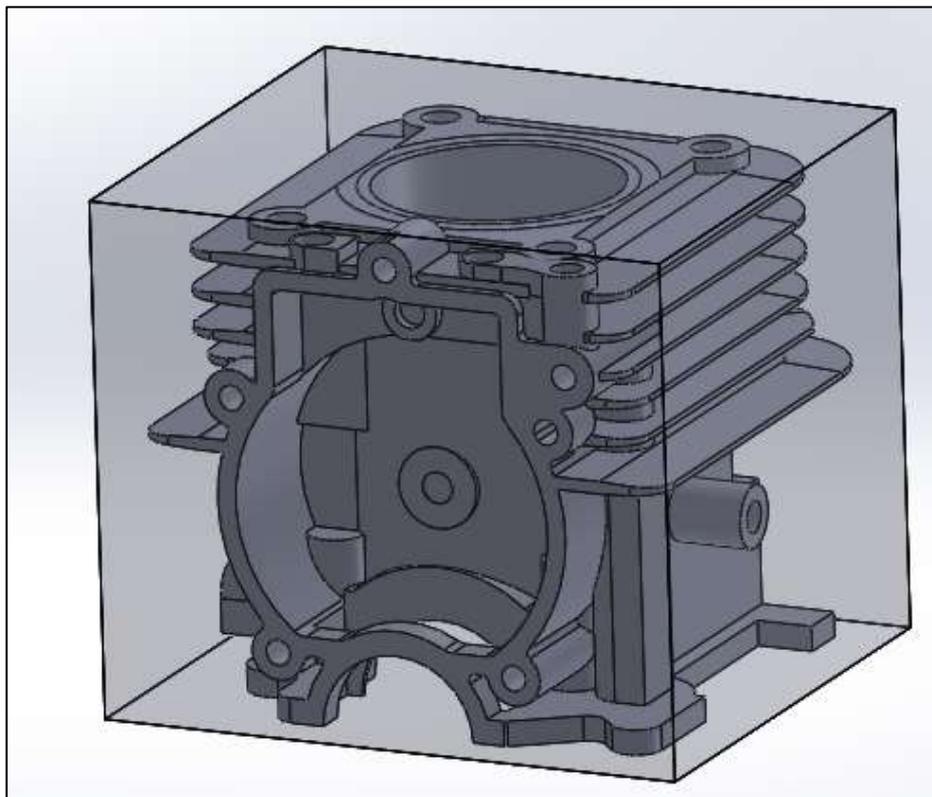


Figura 1-3. Modelado del prototipo del block realizado en SOLIDWORKS

Fuente: Autor

3.2.2 *Ingeniería inversa*

Su principal característica es que es opuesta a la ingeniería convencional ya que parte de un producto terminado y su objetivo es tener la mayor información posible como el análisis de su diseño, construcción y funcionamiento. (Lisintuñía Toapanta y Molina Molina 2017, p. 30)



Figura 2-3. Medición del modelo.
Fuente: Autor

3.2.3 Máquina podadora Poulan Pro PR650RWD

Una cortadora de césped es una máquina motorizada usada para cortar césped de los jardines o campos deportivos, en este modelo contamos con las especificaciones de cilindrada de 150 c.c.



Figura 3-1. Block del motor de podadora de césped
Fuente: Autor

3.3 Selección de herramientas

Para realizar el proceso de mecanizado se seleccionó las siguientes herramientas del catálogo de la marca SANDVICK COROMANT se escogió en base a la geometría de las caras y de los procesos, también se decidió por estas herramientas debido al material a mecanizar es de una aleación de aluminio-cobre definido en la figura 29-3.

Tabla 1-3. Fresas utilizadas para la construcción del prototipo

Diámetro (mm)	Longitud (mm)	N de herramienta	Longitud de ranura (mm)	Dureza (HRC)	Foto
10	75	1	28	48	
6	62	2	16	48	
4	42	3	11	48	
3	38	4	13	48	
2	51	5	8	48	

Fuente: Autor

Realizado por: Ramos Jhon, 2019

3.4 Cálculo de velocidades de husillo para las herramientas

En este apartado se introducirá el cálculo de velocidades las cuales fueron señaladas en el apartado anterior y demostradas en la ecuación dos, se realizara de todas las herramientas indicadas en la tabla 1-3, se tomó en cuenta para nuestros cálculos la velocidad de corte de 60 mm/min por lo que el material es una aleación de aluminio - cobre en su mayor porcentaje como se lo explicara posteriormente.

3.4.1 Velocidad para la herramienta 1

Datos:

$$d = 10 \text{ mm}$$

$$V_C = 60 \text{ mm/min}$$

$$n = \frac{V_C \cdot 1000}{\pi \cdot d} (\text{rpm})$$

$$n = \frac{60 \cdot 1000}{\pi \cdot 10} (\text{rpm})$$

$$n = 1909.85 (\text{rpm})$$

3.4.2 Velocidad para la herramienta 2

Datos:

$$d = 6 \text{ mm}$$

$$V_C = 60 \text{ mm / min}$$

$$n = \frac{V_C \cdot 1000}{\pi \cdot d} (\text{rpm})$$

$$n = \frac{60 \cdot 1000}{\pi \cdot 6} (\text{rpm})$$

$$n = 3183.09 (\text{rpm})$$

3.4.3 Velocidad para la herramienta 3

Datos:

$$d = 4 \text{ mm}$$

$$V_c = 60 \text{ mm / min}$$

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} (\text{rpm})$$

$$n = \frac{60 \cdot 1000}{\pi \cdot 4} (\text{rpm})$$

$$n = 4774.64 (\text{rpm})$$

3.4.4 Velocidad para la herramienta 4

Datos:

$$d = 3 \text{ mm}$$

$$V_c = 60 \text{ mm / min}$$

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} (\text{rpm})$$

$$n = \frac{60 \cdot 1000}{\pi \cdot 3} (\text{rpm})$$

$$n = 6366.19 (\text{rpm})$$

3.4.5 Velocidad para la herramienta 5

Datos:

$$d = 2 \text{ mm}$$

$$V_c = 60 \text{ mm / min}$$

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} (\text{rpm})$$

$$n = \frac{60 \cdot 1000}{\pi \cdot 2} (\text{rpm})$$

$$n = 9549.29 (\text{rpm})$$

3.5 Cálculo de avances para las herramientas

Como se conoce que el avance es el movimiento sucesivo de la cuchilla por pasada durante la mecanización de una pieza, para ello vamos a utilizar la ecuación tres detallada anteriormente, esta nos sirve para ver el rango en el que se puede utilizar para evitar un desgaste excesivo de la herramienta en el mecanizado.

3.5.1 Avance de la herramienta 1

$$f = n \cdot a \cdot n_z$$

$$f = 1909,85 \cdot 4 \cdot 0,03$$

$$f = 229,182 \left(\frac{mm}{min} \right)$$

3.5.2 Avance de la herramienta 2

$$f = n \cdot a \cdot n_z$$

$$f = 3183 \cdot 4 \cdot 0,016$$

$$f = 203,71 \left(\frac{mm}{min} \right)$$

3.5.3 Avance de la herramienta 3.

$$f = n \cdot a \cdot n_z$$

$$f = 4774 \cdot 4 \cdot 0,011$$

$$f = 210,05 \left(\frac{mm}{min} \right)$$

3.5.4 Avance de la herramienta 4.

$$f = n \cdot a \cdot n_z$$

$$f = 6366 \cdot 4 \cdot 0,008$$

$$f = 203.71 \left(\frac{mm}{min} \right)$$

3.5.5 Avance de la herramienta 5.

$$f = n \cdot a \cdot n_z$$

$$f = 9549.4.0,005$$

$$f = 190.98 \left(\frac{mm}{min} \right)$$

3.6 Tiempos de mecanizado

Para los tiempos de mecanizado el bloque del motor se dividió en seis caras para su fabricación debido a que utilizaremos una fresadora CNC de tres ejes con controlador Fanuc Series O-M. En la siguiente tabla se detalla los tiempos totales de cada cara, estos valores son los que nos demuestra el software, cabe recalcar que estos valores son ideales.

Tabla 2-3. Tiempos de mecanizado para el bloque

Block		
Caras	Tiempo en minutos	Tiempo en horas
Cara 1	133	2.216
Cara 2	100	1.666
Cara 3	87.42	1.457
Cara 4	51.49	0.85
Cara 5	30.43	0.5
Cara 6	54	0.9
Total	456.34	

Fuente: Autor

Realizado por: Ramos Jhon, 2019



Gráfico 2-3. Tiempos de mecanizado en minutos.

Fuente: Autor

3.7 Selección de portaherramientas

Para el proceso de mecanizado utilizamos el portaherramientas que se encuentra en el taller de fabricación de la marca Flexifer con numeración 40.076.319.63 esta numeración nos sirve para buscar en el catálogo que se encuentra en el anexo 1 y así encontrar sus dimensiones geométricas las cuales nos ayudan para colocar en el software y poder simular y evitar los choques de herramienta y tener un correcto mecanizado.

3.8 Optimizado de mecanizado

Al momento de generar el código ISO mediante el software siemens NX 11 dividimos cada cuerpo en caras para lo cual se simulo el mecanizado que se va a realizar en la fresadora CNC de tres ejes, para llegar a ello se decidió optar por estrategias CAM más eficientes según la necesidad que requiera basándose en el diseño.

3.8.1 Estrategias CAM

El software ofrece una amplia gama de estrategias, el optimizado del mecanizado se logra gracias a estas funciones inteligentes para llegar a reducir el tiempo de mecanizado.

A continuación vamos a observar un ejemplo sobre la estrategia que utilizamos al realizar el mecanizado, lo vamos a ocupar en las aletas del block debido a que esta estrategia se utiliza en superficies cilíndricas.

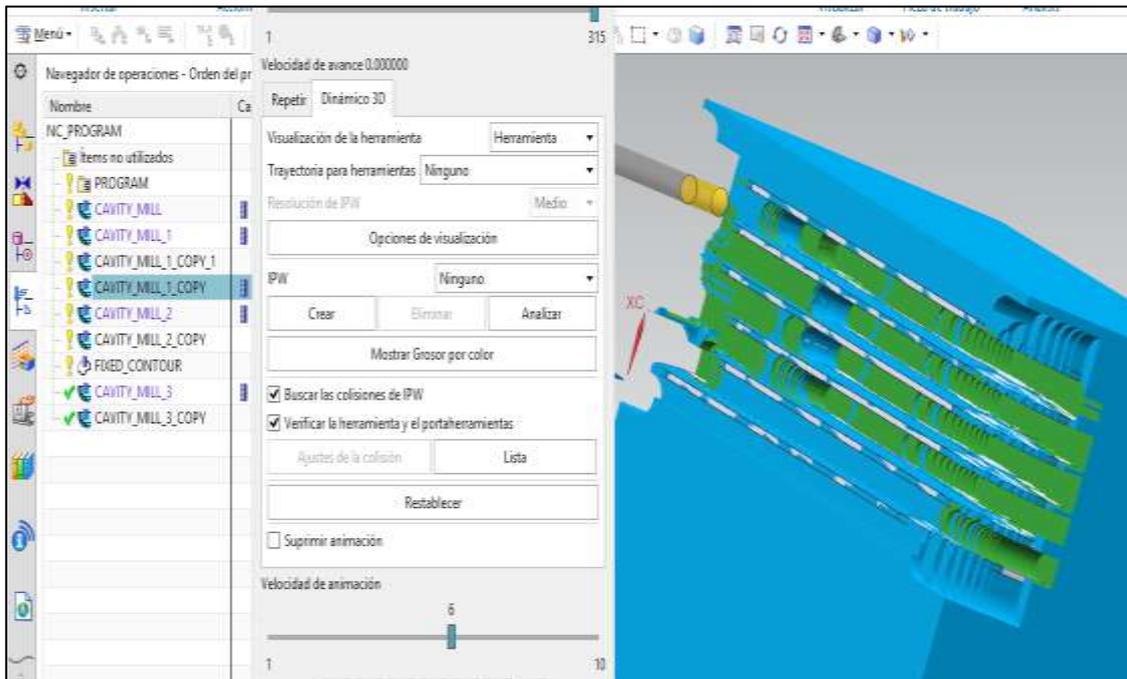


Figura 4-3. Mecanizado de aletas del block con la opción CAVITY_MILL
Fuente: Autor

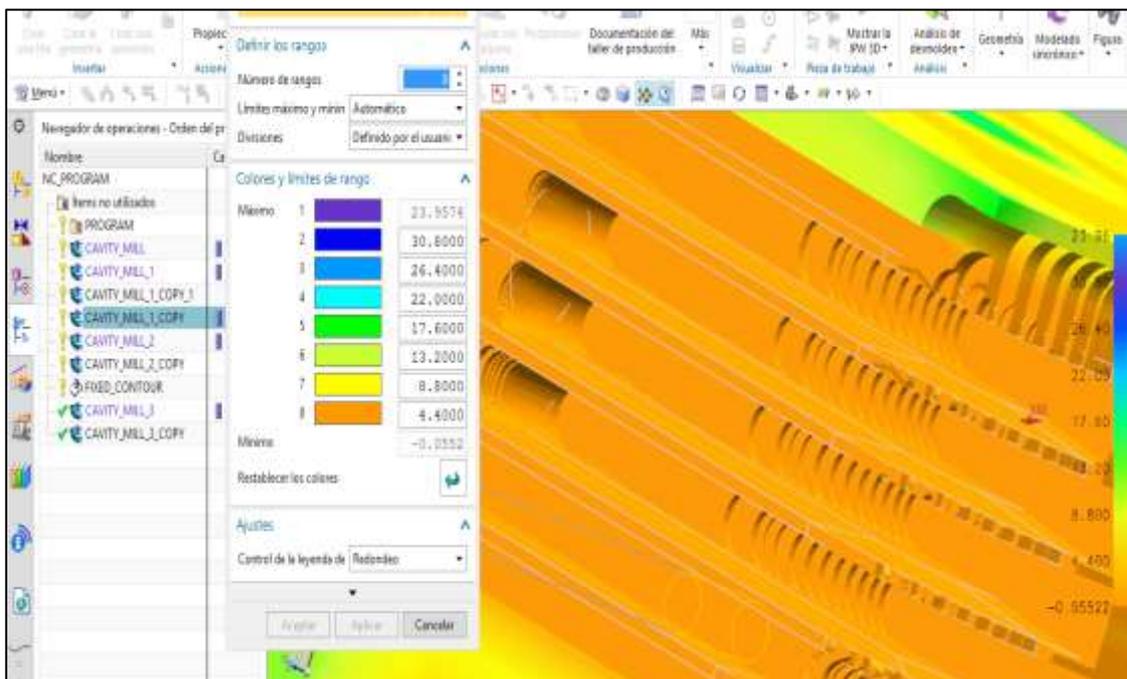


Figura 5-3. Material sobrante del mecanizado con la opción CAVITY_MILL.
Fuente: Autor

Part name: 2_cara5_slidasm		Drawing name: --					
Unit: MM		Part number: --					
Pictures :		Description :					
							
Index	Operation Name	Type	Program	Machine Mode	Tool Name	Tool Path Time in Minutes	Path Image
1	CAVITY_MILL_1_COPY	Cavity Milling	NC_PROGRAM	MILL	MILL_3	24.91	

Figura 6-3. Tiempo de mecanizado.

Fuente: Autor

Como se observa en la primera figura en esta primera estrategia se utiliza la primera opción denominada CAVITI_MILL el cual no deja un buen acabado superficial dejando exceso de sobre material como lo demuestra en la tabla de la figura 4-3 y este proceso de mecanizado tiene un tiempo de 24.91 minutos.

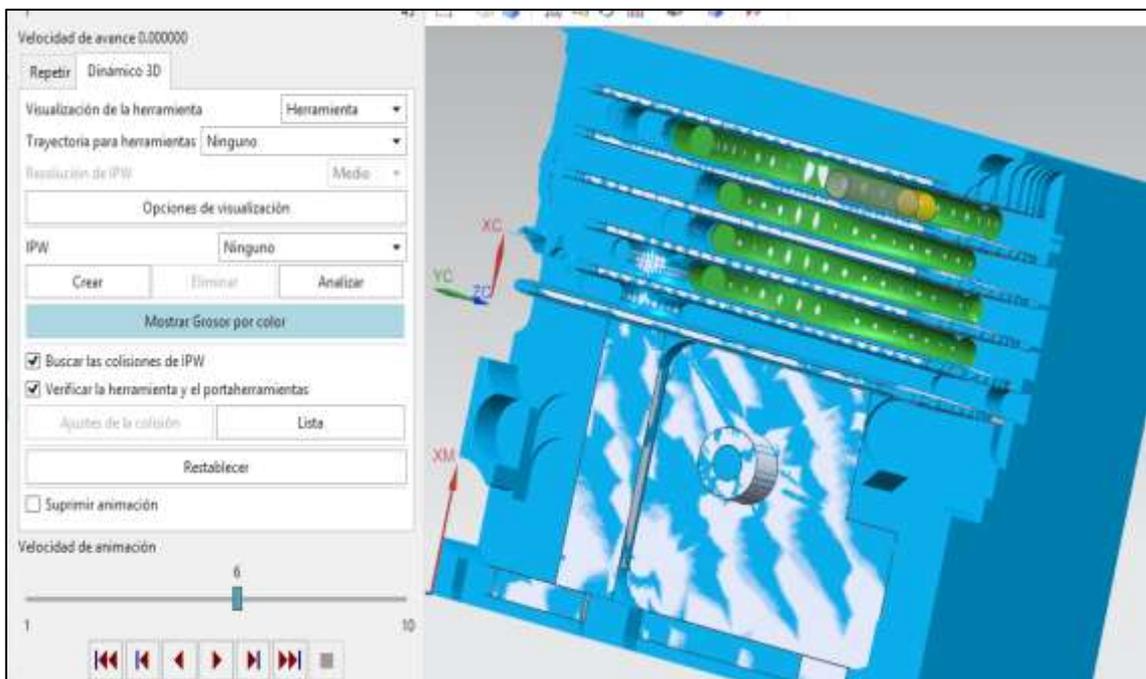


Figura 7-3. Mecanizado de las aletas con la opción de FIXED_CONTOUR.

Fuente: Autor

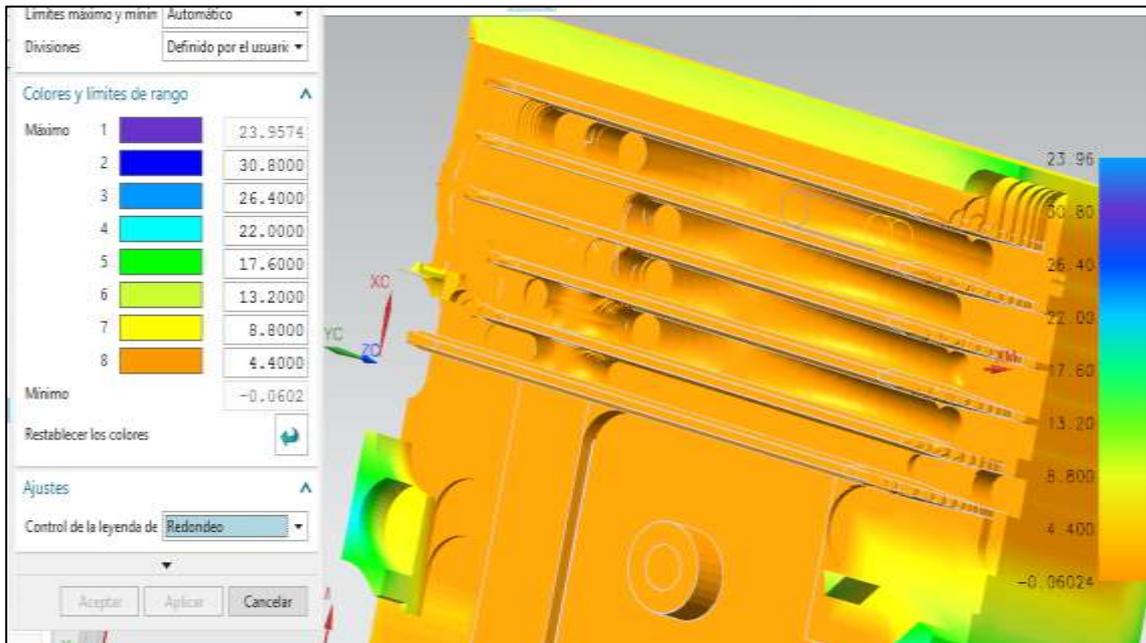


Figura 8-3. Material sobrante del mecanizado con la opción FIXED_CONTOUR.
Fuente: Autor

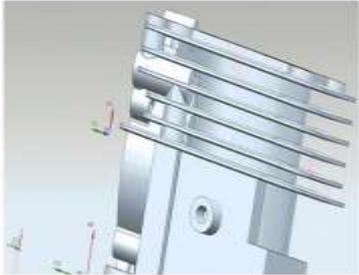
Part name: estrategias		Drawing name: --					
Unit: MM		Part number: --					
Pictures :		Description :					
							
Index	Operation Name	Type	Program	Machine Mode	Tool Name	Tool Path Time in Minutes	Path Image
1	FIXED_CONTOUR_1	Fixed-axis Surface Contouring	NC_PROGRAM	MILL	MILL_3	10.79	

Figura 9-3. Tiempo de mecanizado optimizado.
Fuente: Autor

Para el mismo proceso se utilizó la opción de FIXED_CONTOUR, la cual deja un mejor terminado superficial sin material sobrante tal como se muestra en la figura 9-3 otra ventaja de esta es que reduce el tiempo de mecanizado a 10.79 minutos reduciendo el tiempo alrededor de un 58%.

3.8.2 Optimización de los procesos

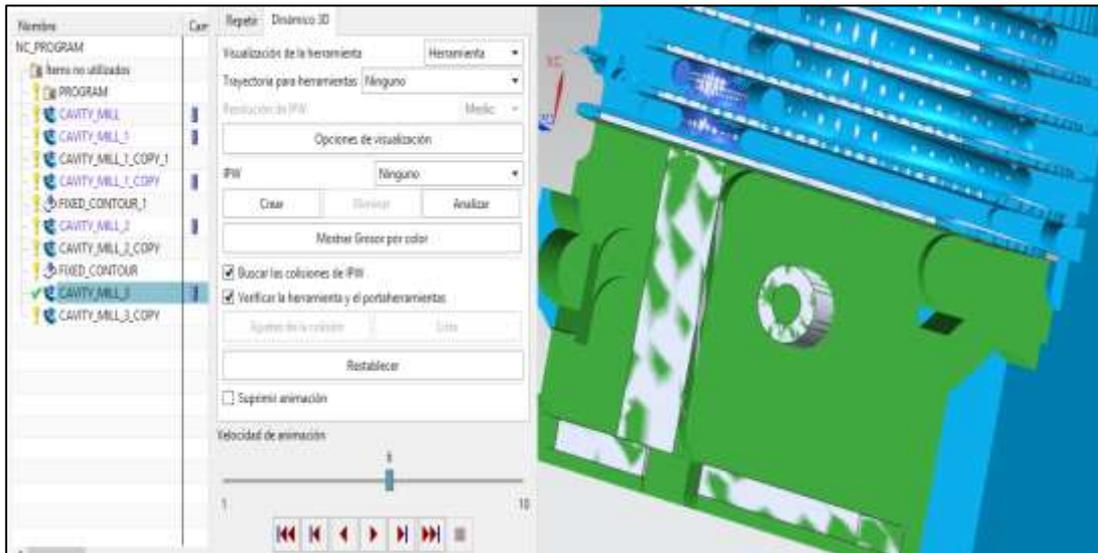


Figura 10-3. Mecanización con la opción CAVITY_MILL.

Fuente: Autor

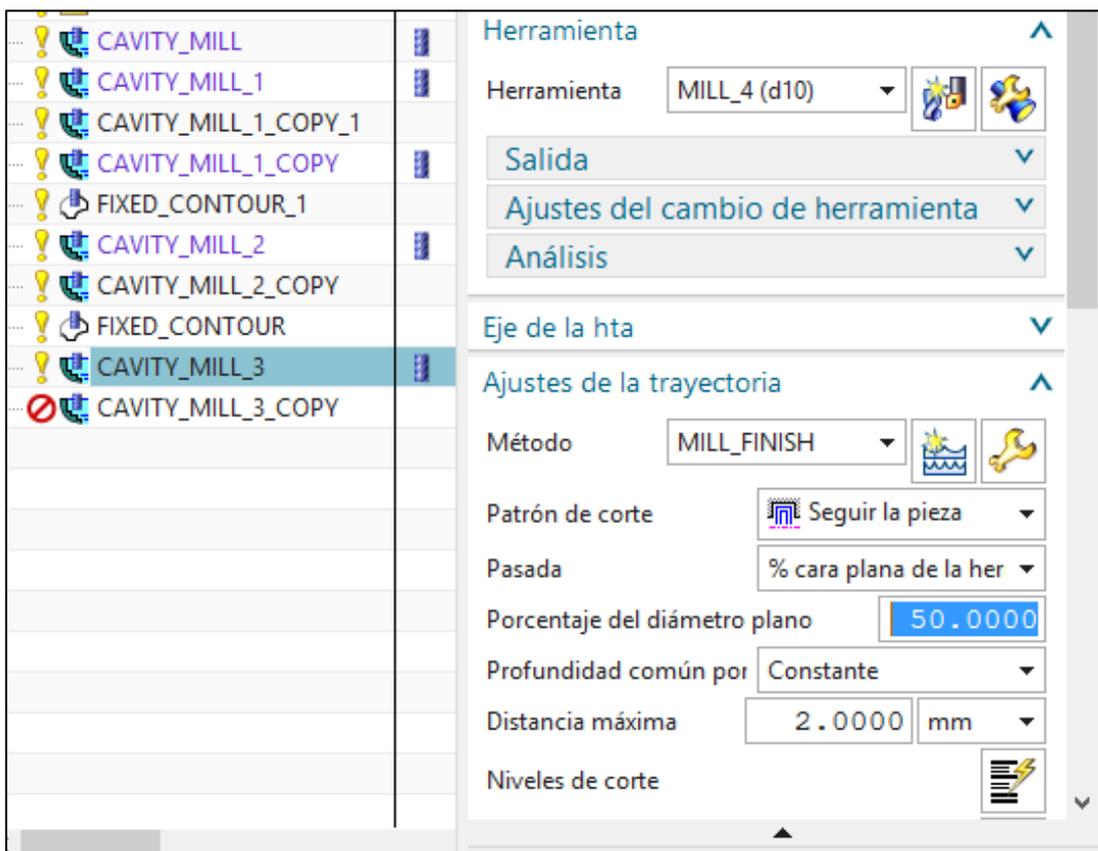


Figura 11-3. Trayectoria de la herramienta utilizando opción seguir pieza.

Fuente: Autor

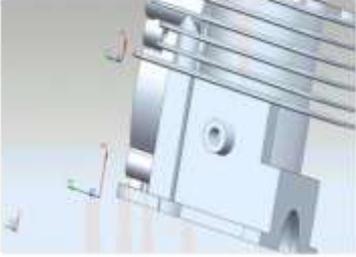
Part name: estrategias	Drawing name: --						
Unit: MM	Part number: --						
Pictures	Description						
							
Index	Operation Name	Type	Program	Machine Mode	Tool Name	Tool Path Time in Minutes	Path Image
1	CAVITY_MILL_3	Cavity Milling	NC_PROGRAM	MILL	MILL_4	32.43	

Figura 12-3. Tiempo de mecanización.

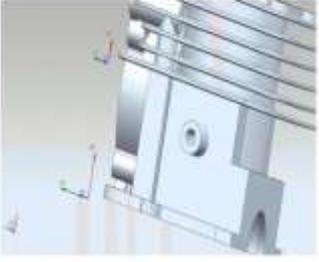
Fuente: Autor

Al realizar la mecanización debemos tratar de optimizar los post procesos para minimizar el tiempo de mecanizado para lo cual la trayectoria de herramientas es muy importante para ello, según mecanizamos tenemos que ver cuál es el más adecuado en función del tiempo como se muestra anterior en la figura 10-3 la cual se utilizó la opción del patrón de corte SEGUIR LA PIEZA el cual nos indicó un tiempo de 32.43 minutos.

<ul style="list-style-type: none"> ! CAVITY_MILL ! CAVITY_MILL_1 ! CAVITY_MILL_1_COPY_1 ! CAVITY_MILL_1_COPY ! FIXED_CONTOUR_1 ! CAVITY_MILL_2 ! CAVITY_MILL_2_COPY ! FIXED_CONTOUR ✓ CAVITY_MILL_3 ! CAVITY_MILL_3_COPY 	<p>Herramienta</p> <p>Herramienta: MILL_4 (d10)</p> <p>Salida</p> <p>Ajustes del cambio de herramienta</p> <p>Análisis</p> <p>Eje de la hta</p> <p>Ajustes de la trayectoria</p> <p>Método: MILL_FINISH</p> <p>Patrón de corte: Seguir la periferia</p> <p>Pasada: % cara plana de la her</p> <p>Porcentaje del diámetro plano: 50.0000</p> <p>Profundidad común por: Constante</p> <p>Distancia máxima: 2.0000 mm</p> <p>Niveles de corte</p>
--	---

Figura 13-3. Trayectoria de la herramienta utilizando opción seguir la periferia.

Fuente: Autor

Part name: estrategias	Drawing name: --
Unit: MM	Part number: --
Pictures : 	Description :

Index	Operation Name	Type	Program	Machine Mode	Tool Name	Tool Path Time in Minutes	Path Image
1	CAVITY_MILL_3	Cavity Milling	NC_PROGRAM	MILL	MILL_4	24.43	

Figura 14-3 Tiempo de mecanización optimizado.

Fuente: Autor

Para llegar a la optimización y ver todas las opciones en parámetros de corte la más indicada fue SEGUIR LA PERIFERIA reduciendo el tiempo a 24.43 minutos.

Después de aplicar las estrategias tenemos que el tiempo de mecanizado se reduce en un porcentaje debido a la geometría de cada cara por lo que se observa el tiempo de cada una de ellas que se encuentran detallados a continuación:

Tabla 3-1. Tiempo total de mecanizado por caras.

Caras	Tiempos de mecanizado en minutos
Cara 1	149
Cara 2	114
Cara 3	96.4
Cara 4	59.6
Cara 5	39.8
Cara 6	69
Total	527.8

Fuente: Autor

Realizado por: Ramos Jhon, 2019

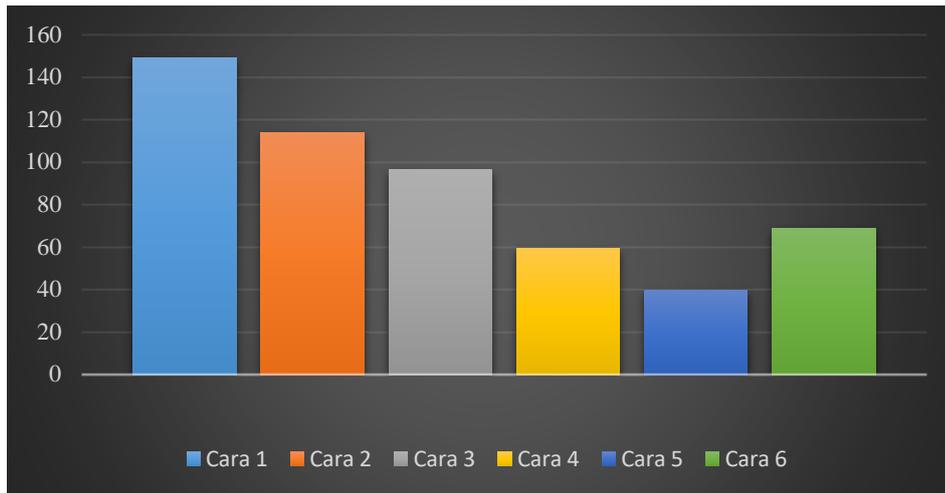


Gráfico 3-1. Tiempos de mecanizados sin optimizar.
Realizado por: Ramos Jhon, 2019

Tabla 4-3. Tiempo de mecanizado por caras optimizadas.

Caras	tiempos de mecanizado en minutos
Cara 1	133
Cara 2	100
Cara 3	87.42
Cara 4	51.49
Cara 5	30.43
Cara 6	54
Total	456.34

Fuente: Autor

Realizado por: Ramos Jhon, 2019

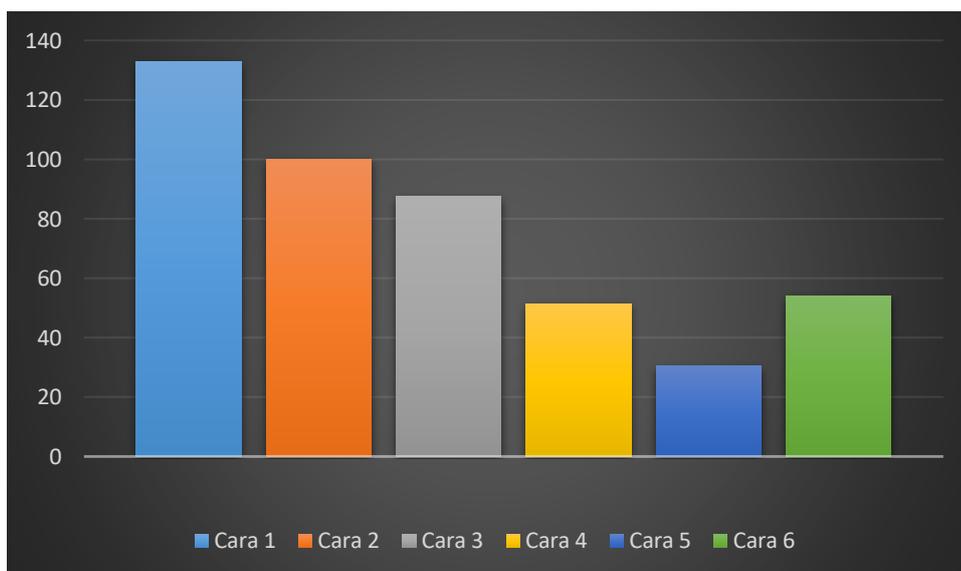


Gráfico 4-3. Tiempos de mecanizados optimizados
Realizado por: Ramos Jhon, 2019

Al aplicar todos los conceptos mencionados anteriormente se realizó la simulación en cada una de las caras a continuación se muestra cada una de ellas y la cantidad del material sobrante como se indica en las figuras:

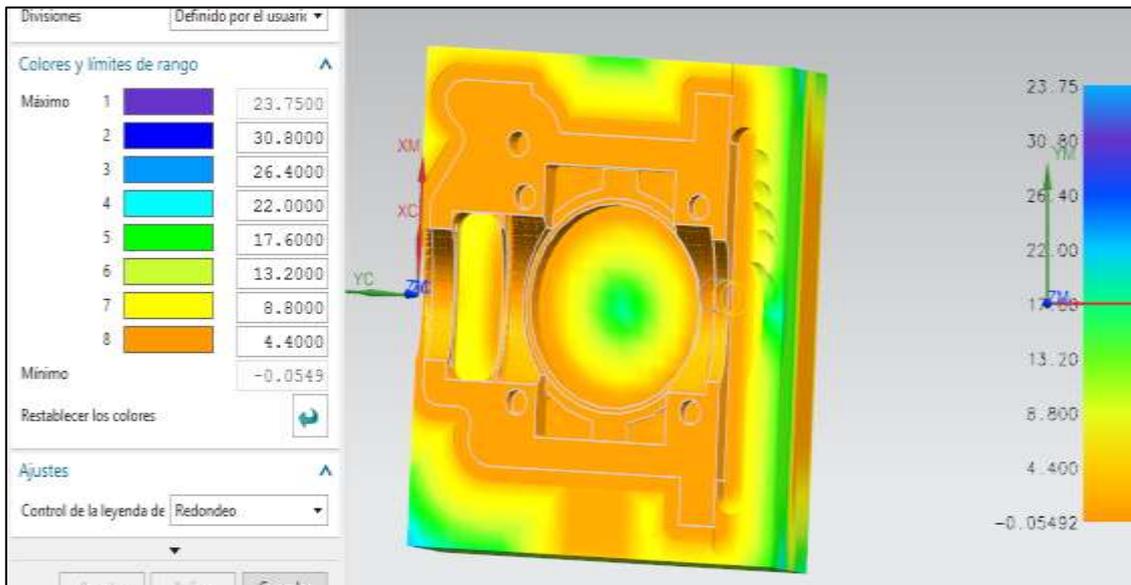


Figura 15-3. Cuerpo 2 Cara 1

Fuente: Autor

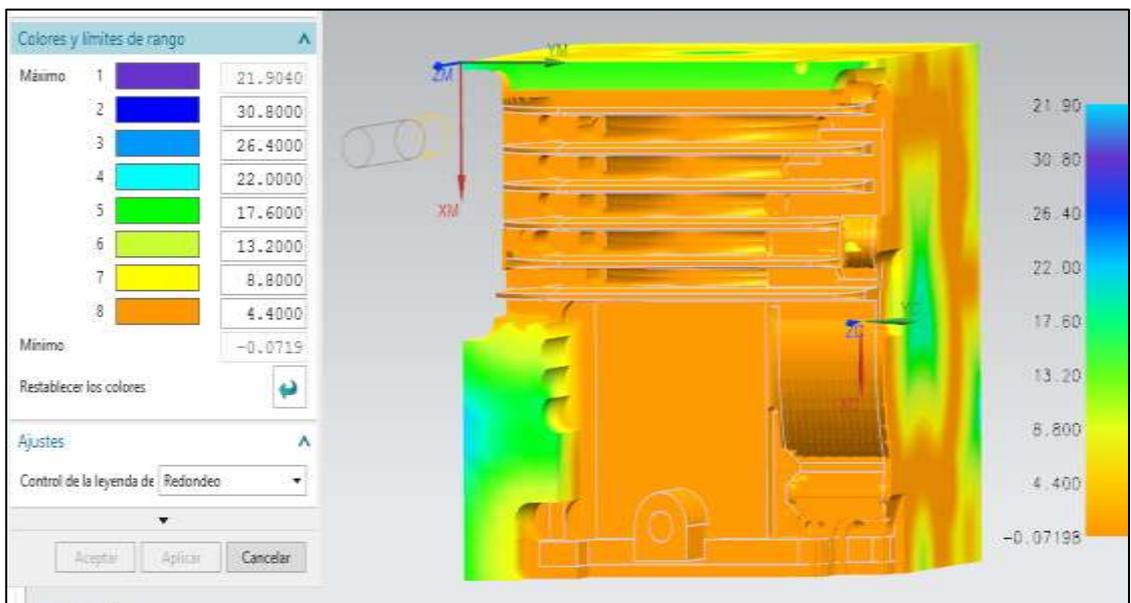


Figura 16-3. Cuerpo 2 Cara 2

Fuente: Autor

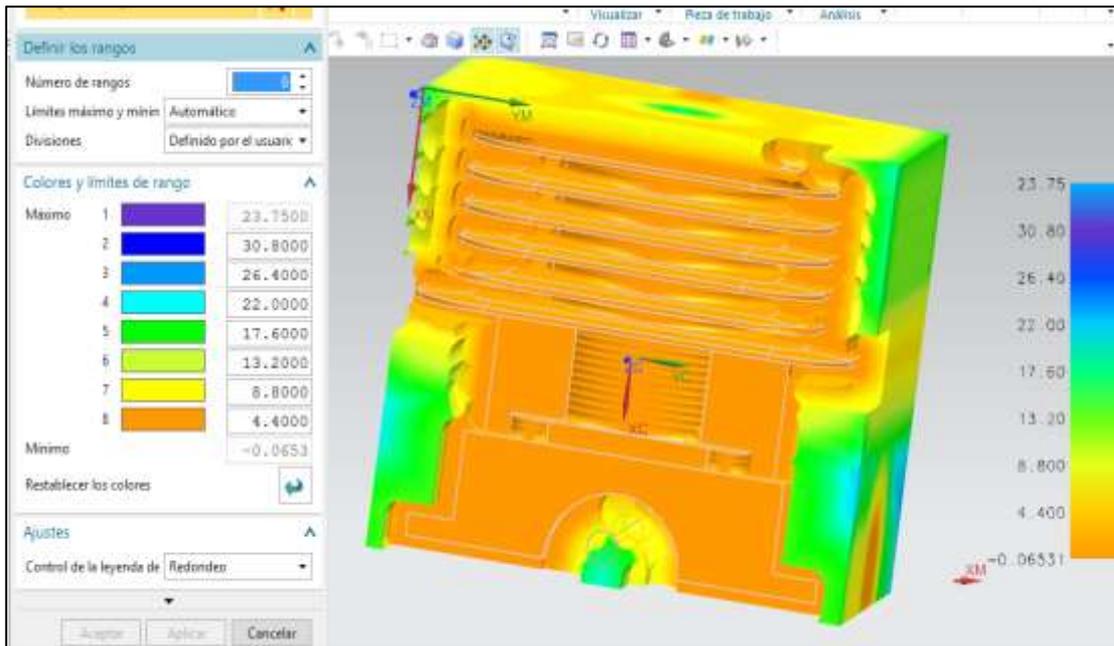


Figura 17-3. Cuerpo 2 Cara 3
Fuente: Autor

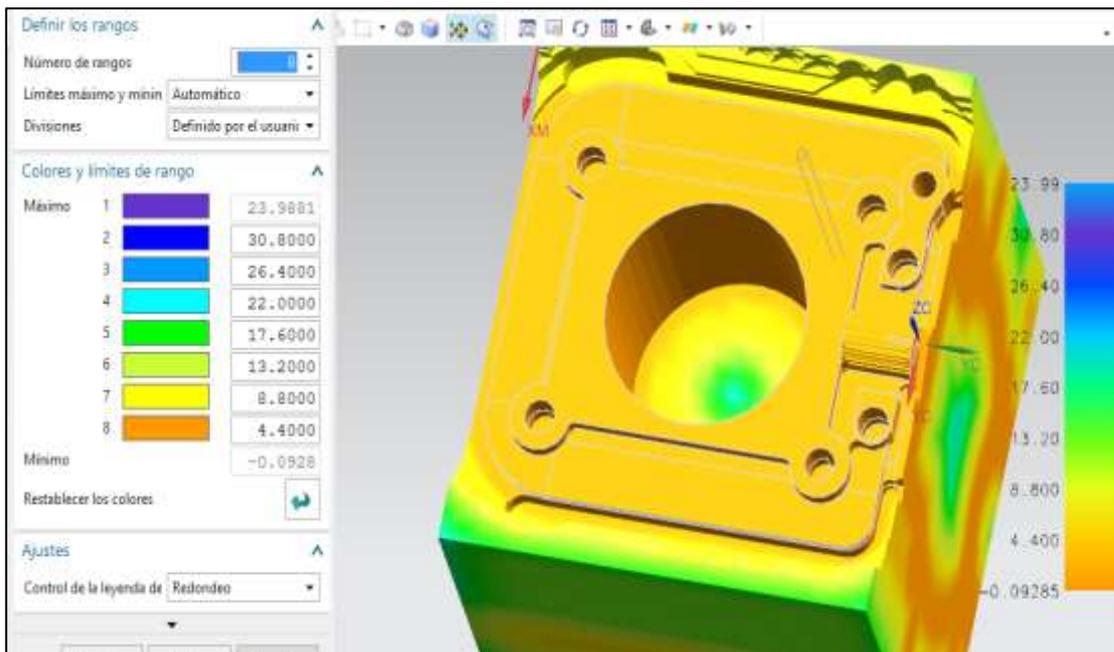


Figura 18-3. Cuerpo 2 Cara 4
Fuente: Autor

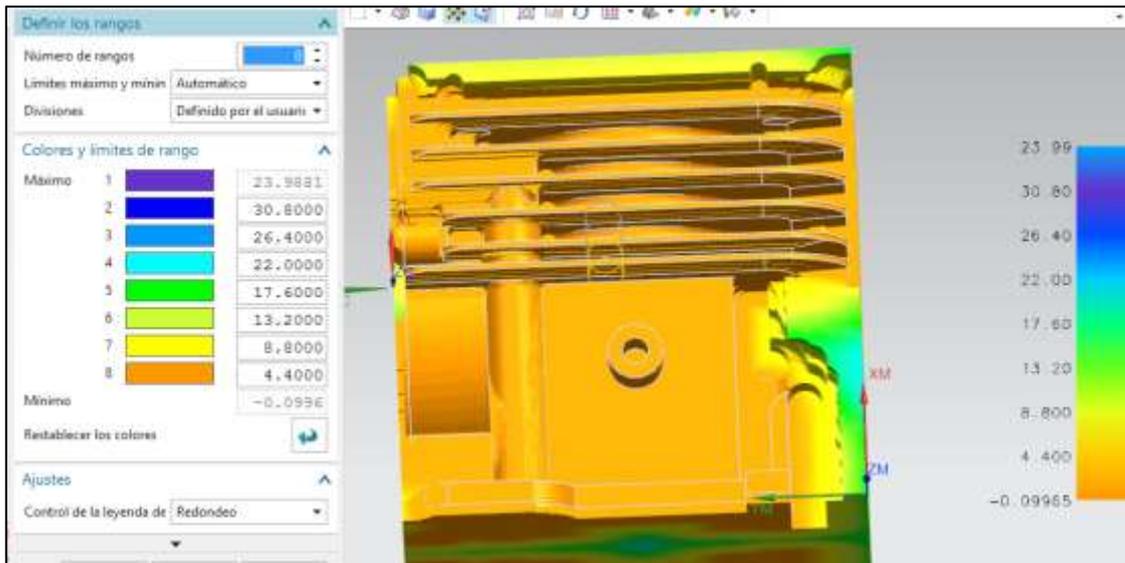


Figura 19-3. Cuerpo 2 Cara 5
Fuente: Autor

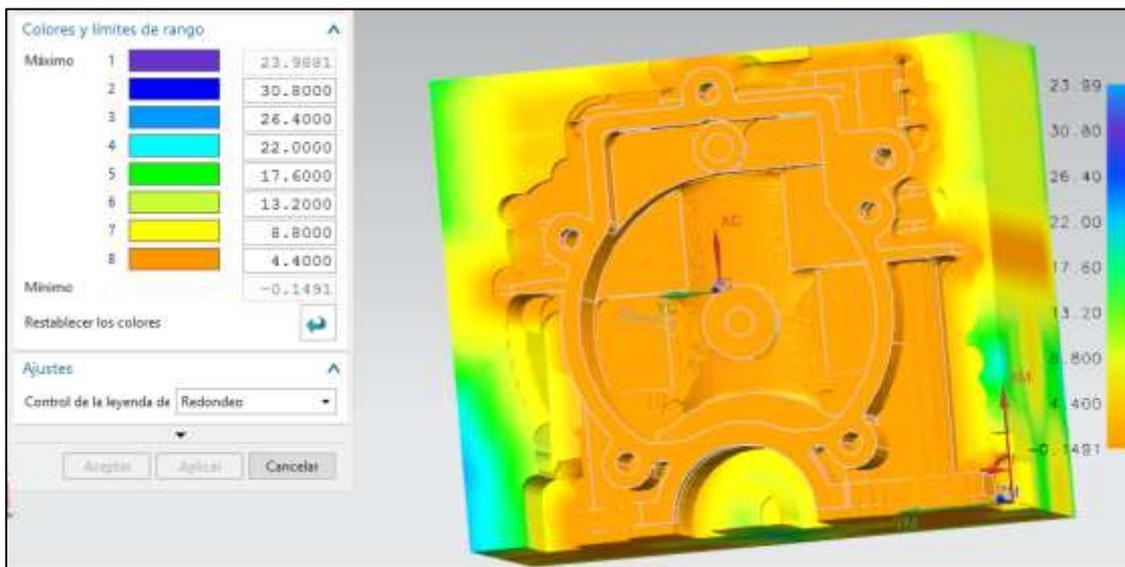


Figura 20-3. Cuerpo 2 Cara 6
Fuente: Autor

3.9 Modificación de código ISO

Para poder mecanizar en el torno CNC necesitamos el código ISO el cual lo obtendremos en el programa siemens NX después de su respectiva simulación, a este código ISO debemos modificarlo con los parámetros del torno CNC necesarios como seleccionar las coordenadas y ejes para realizar la mecanización. Continuación se procederá a detallar el procedimiento que se realizó con cada código de cada proceso de mecanización:

- a) después de generar el código ISO y guardado con extensión tipo block de notas procedemos a cargamos el código ISO al software CIMCO.

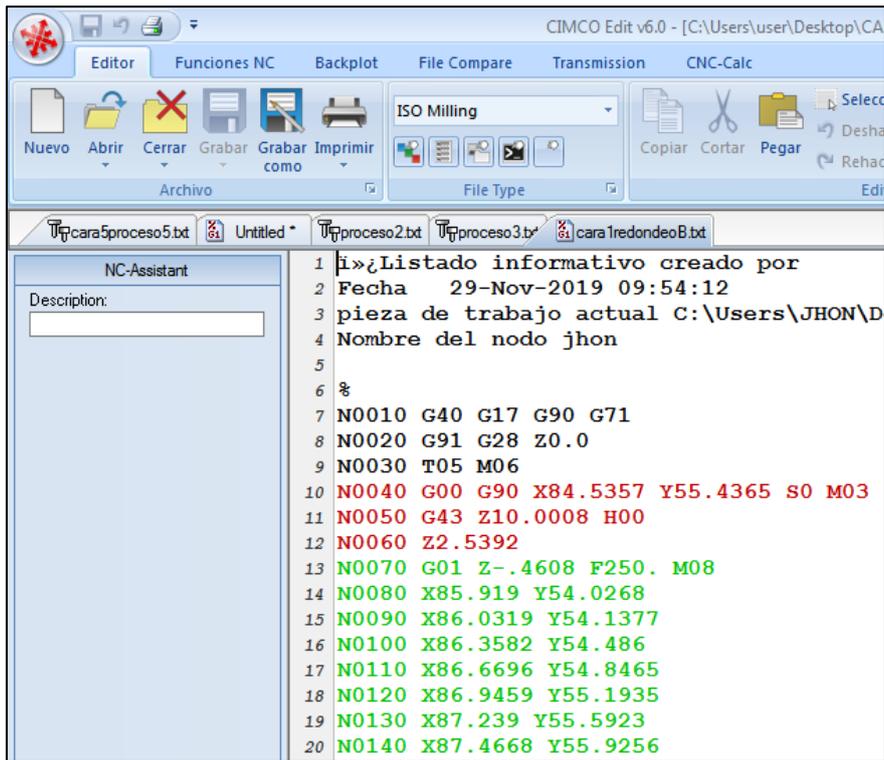


Figura 21-3. Código ISO

Fuente: Autor

b) Utilizamos una opción de REMOVE de CIMCO para quitar los N

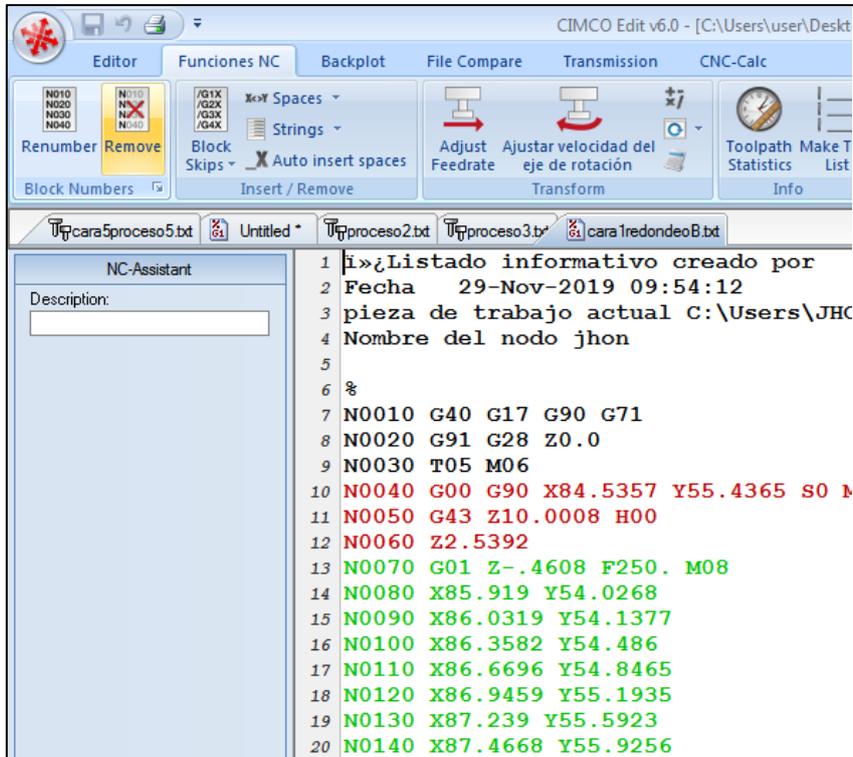


Figura 22-3. Código con las funciones N

Fuente: Autor

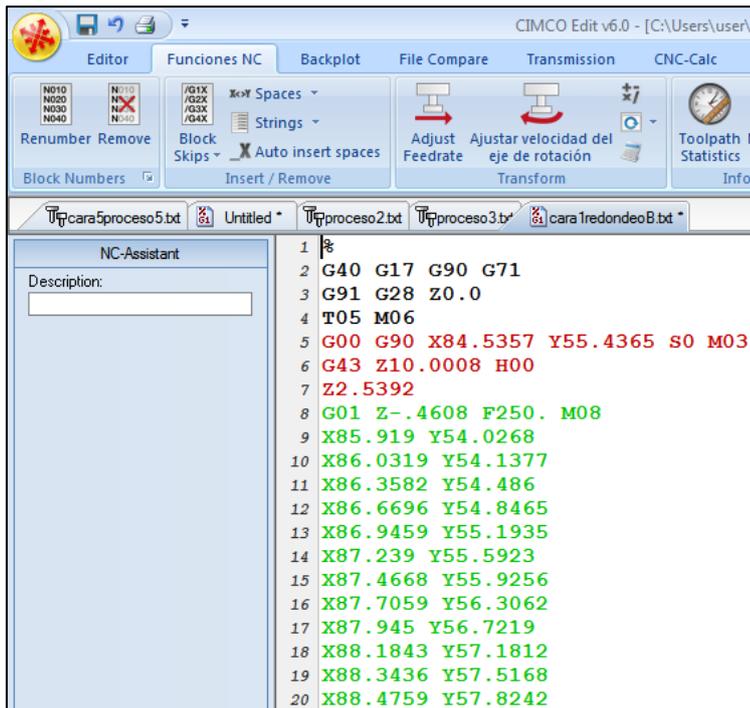


Figura 23-3. Código sin las funciones N

Fuente: Autor

- c) En el siguiente paso vamos a seleccionar los ejes de mecanizado para este caso tenemos el controlador FANUC, en las líneas marcadas del código nos indica que se selecciona los ejes, finalización de ciclo, medidas en mm, encendido del refrigerante, rpm velocidad del husillo.

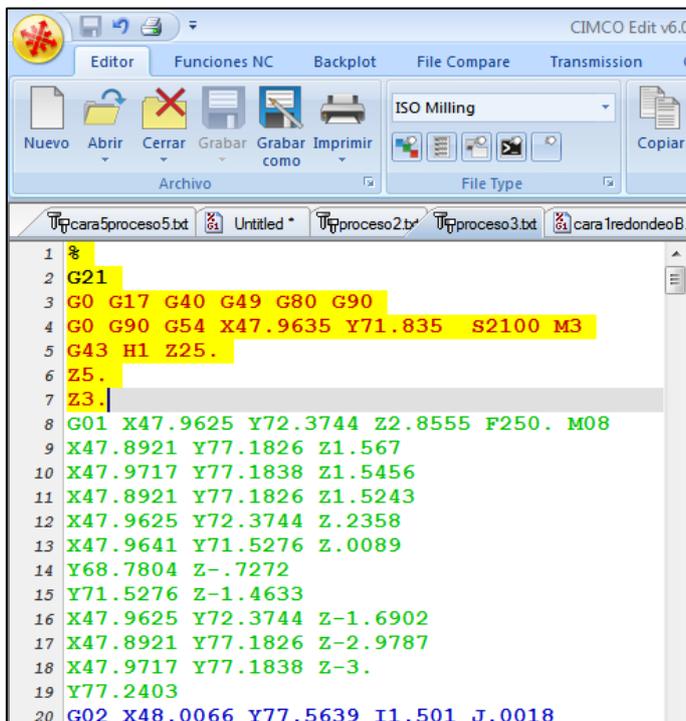


Figura 24-3. Coordenadas de origen.

Fuente: Autor

- d) Copiamos el punto de origen del proceso que vamos a realizar.

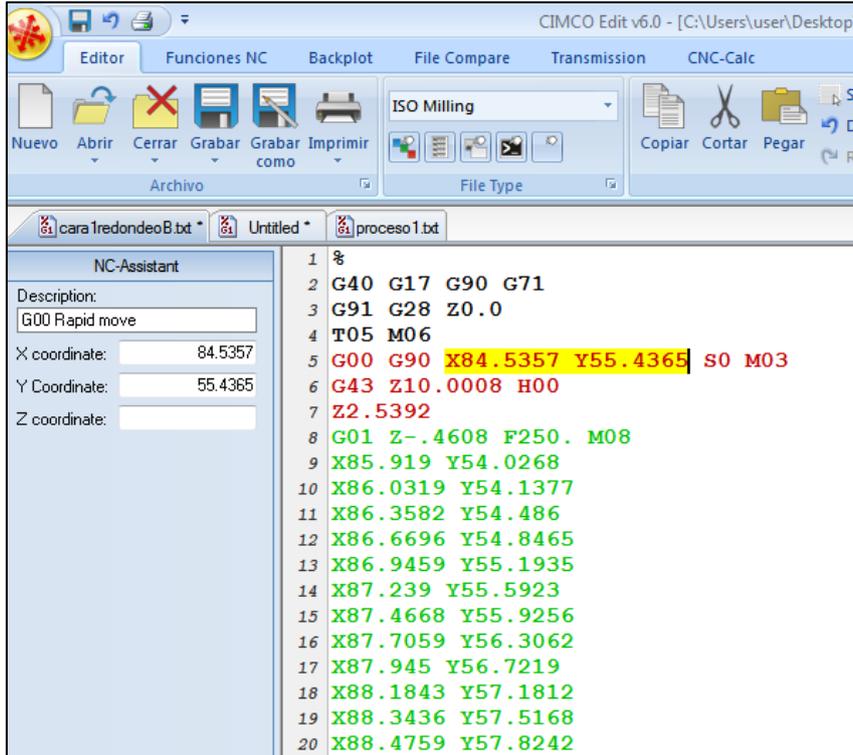


Figura 25-3. Coordenadas de origen del proceso.

Fuente: Autor

- e) Copiamos el encabezado del código que se muestra en la figura 24-3 y reemplazamos en el código ISO, también reemplazamos el punto de origen que se copió en la figura anterior.

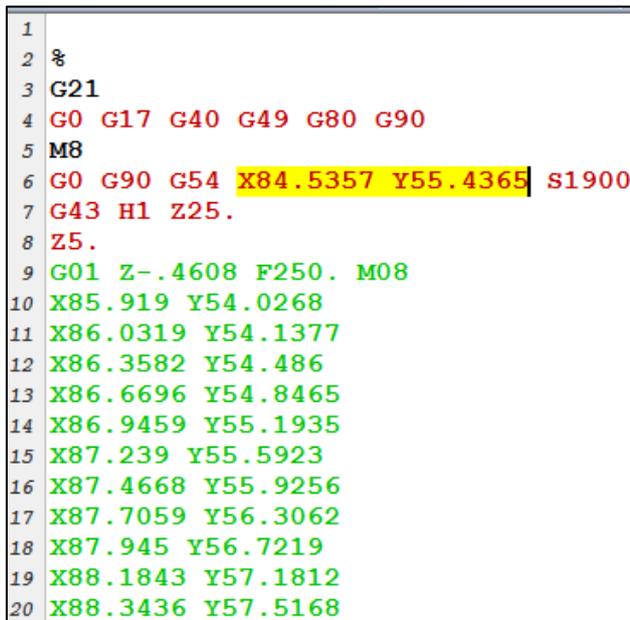


Figura 26-3. Reemplazo del origen de coordenadas.

Fuente: Autor

- f) En este punto se procede a copiar y remplazar las líneas del código que indica el fin de máquina.

```

1 #
2 O0000 (PENT F2)
3 G21
4 G0 G17 G40 G49 G80 G90
5 M8
6 G0 G90 G54 X47.5096 Y3.2779 S1500 M3
7 G43 H1 Z25.
8 Z5.
9
10 G0 Z25.
11 M5
12 G90 Z150
13 M30
14 #
  
```

Figura 27-3. Código de fin de máquina.

Fuente: Autor

```

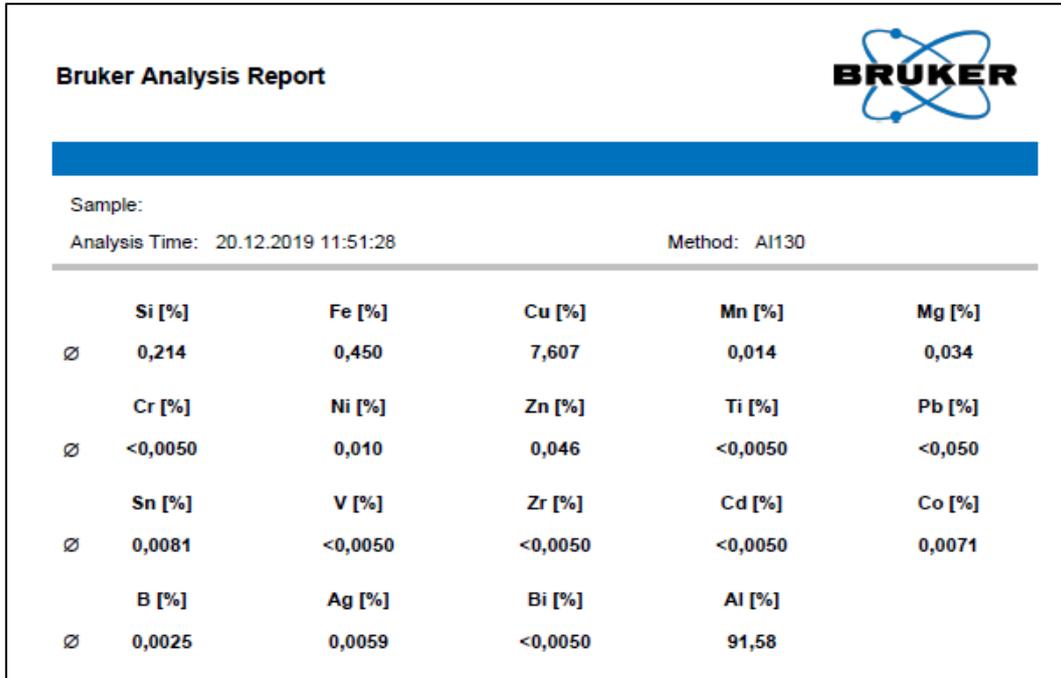
299 G01 X84.4709 Y52.6762 Z-2.1328
299 X82.7617 Y51.6595 Z-2.6657
300 X81.975 Y51.3426 Z-2.893
301 Y51.2605 Z-2.915
302 Y51.3426 Z-2.937
303 X82.7617 Y51.6595 Z-3.1642
304 X84.4709 Y52.6762 Z-3.6971
305 X85.9888 Y53.9612 Z-4.23
306 X87.2738 Y55.4791 Z-4.7629
307 X88.2905 Y57.1883 Z-5.2958
308 X88.6074 Y57.975 Z-5.523
309 X88.6648 Z-5.5384
310 X88.6074
311 G02 X81.975 Y51.3426 I-11.1074 J4.475
312 G01 Y51.2605
323 Y49.2855
324 Z-2.5384
325 G00 Z10.0008
326 X84.6305 Y52.8113
327 Z-2.5384
328 G01 X84.4709 Y52.6762 Z-2.5944
328 X82.7617 Y51.6595 Z-3.1273
329 X81.975 Y51.3426 Z-3.3546
321 Y51.2605 Z-3.3766
322 Y51.3426 Z-3.3986
323 X82.7617 Y51.6595 Z-3.6258
324 X84.4709 Y52.6762 Z-4.1587
325 X85.9888 Y53.9612 Z-4.6916
326 X87.2738 Y55.4791 Z-5.2245
327 X88.2905 Y57.1883 Z-5.7574
328 X88.6074 Y57.975 Z-5.9846
329 X88.6648 Z-6.
330 X88.6074
331 G02 X81.975 Y51.3426 I-11.1074 J4.475
332 G01 Y51.2605
333 Y49.2855
334 Z-3.
335 G0 Z25.
336 M5
337 G90 Z150
338 M30
339 #
340
  
```

Figura 28-3. Código de fin de máquina para mecanizar.

Fuente: Autor

3.10 Ensayo de espectrometría.

El ensayo de espectrometría se realizó con la ayuda del espectrómetro de emisión óptica Bruker. Este método consiste en analizar las trazas de un metal puro, este cubre todo el rango desde el sub-ppm hasta grandes niveles de concentración, el análisis es de manera simultánea de todos los elementos que lo conforman.(Cadena Gallegos y Saca Paqui 2019, p. 110)



The image shows a Bruker Analysis Report. At the top right is the Bruker logo. Below it, the text 'Bruker Analysis Report' is displayed. A blue horizontal bar separates the header from the sample information. The sample information includes 'Sample:', 'Analysis Time: 20.12.2019 11:51:28', and 'Method: Al130'. Below this is a table with 5 columns of elements and their percentages. The elements listed are Si, Fe, Cu, Mn, Mg, Cr, Ni, Zn, Ti, Pb, Sn, V, Zr, Cd, Co, B, Ag, Bi, and Al. The percentage for Al is significantly higher than the others, at 91.58%.

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	0,214	0,450	7,607	0,014	0,034
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	<0,0050	0,010	0,046	<0,0050	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Zr [%]	Cd [%]	Co [%]
∅	0,0081	<0,0050	<0,0050	<0,0050	0,0071
	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Al [%]	
∅	0,0025	0,0059	<0,0050	91,58	

Figura 29-3. Resultados de la prueba de espectrometría

Fuente: Autor

Esta máquina nos ayuda con el análisis de la composición exacta de los materiales que componen el bloque como se observa en la Figura 29-3.

3.10.1 Aluminio:

En su mayor parte del bloque está compuesta de aluminio en un porcentaje de 91,58% como muestra el análisis de la prueba de espectrometría.

3.10.2 Cobre:

El segundo material con mayor porcentaje que conforma el bloque es el cobre con un valor de 7,607%.

El bloque fundido en la escuela de ingeniería automotriz posee una aleación similar al duraluminio que posee las siguientes características: cobre, 2,5-4,5%; silicio, 0,3-0,9%; magnesio, 0,3-1,0%; manganeso, 0,5-0,8 %, y el resto es aluminio. Esta aleación tiene propiedades como facilidad en la mecanización lo que es bueno para nuestro proyecto.

3.11 Construcción del prototipo

Para la construcción se realizó los siguientes pasos:

- a) Después de realizar la fundición del bloque, este bloque está sobredimensionado por lo cual se procederá a cortar con los respectivos valores que necesitamos.



Figura 30-3. Bloque fundido

Fuente: Autor

- b) Procedemos a cuadrar el bloque en el torno para que todos los lados estén nivelados y con las medidas exactas; previas al montaje en el centro de mecanizado.



Figura 31-3. Centrado del bloque

Fuente: Autor

- c) Para proceder a mecanizar se utilizó la fresadora CNC de tres ejes con controlador Fanuc serie O-M.



Figura 32-3. Fresadora CNC con controlador Fanuc

Fuente: Autor

- d) Para mecanizar cargamos los códigos ISO en este caso la fresadora utilizaba el programa CIMCO.

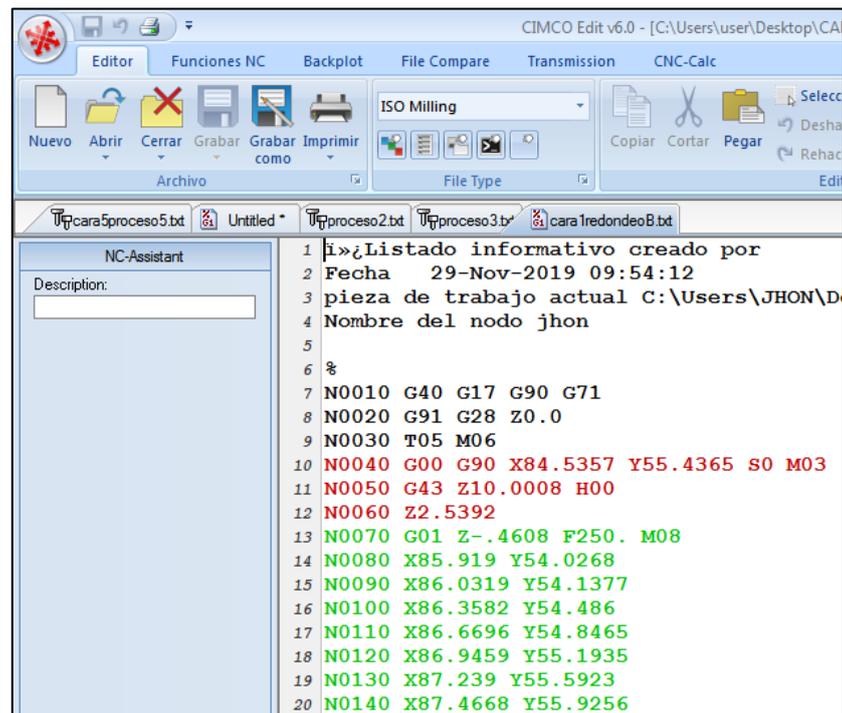


Figura 33-3. Código ISO cargado en el software CIMCO.

Fuente: Autor

- e) Para empezar a mecanizar debemos asignar el cero pieza que será el punto de referencia para la mecanización.



Figura 34-3. Asignación del cero pieza
Fuente: Autor

- f) Después de analizar el orden de fabricación de las caras, este se realizó observando la forma de la pieza debido a que se debe tomar en cuenta el agarre de la pieza en el mecanizado de la cara final así que se comenzó con la siguiente cara.



Figura 35-3. Mecanización de cara 1
Fuente: Autor

g) Mecanización de todas las caras se obtuvo el block



Figura 36-3. Block mecanizado

Fuente: Autor

h) Se procedió a realizar manualmente las respectivas roscas del block.

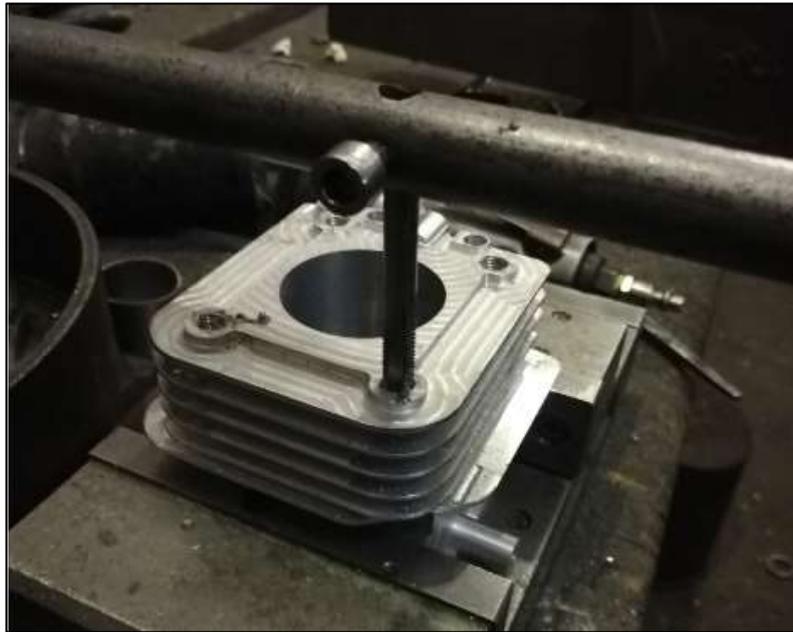


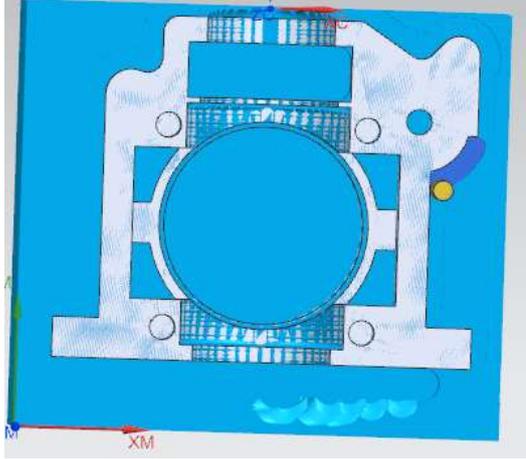
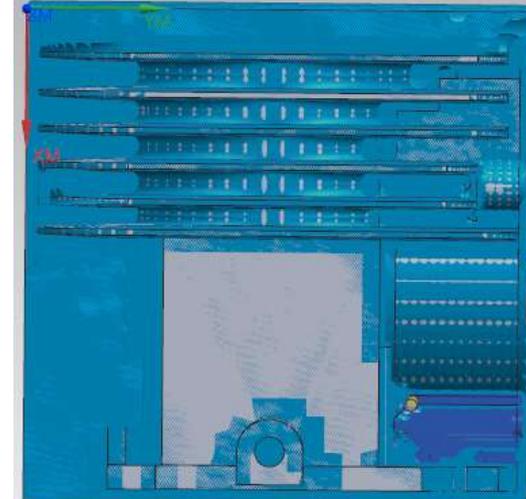
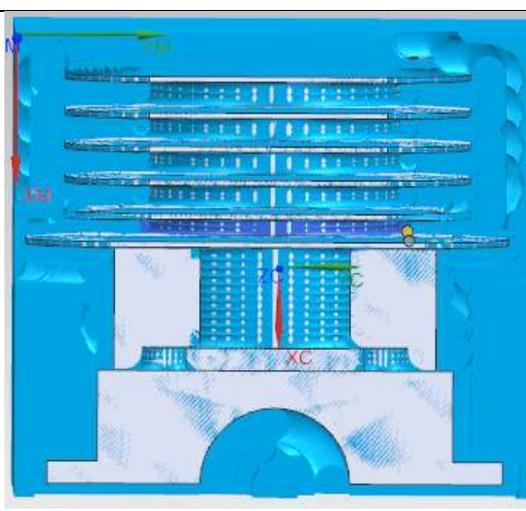
Figura 37-3. Roscado del block

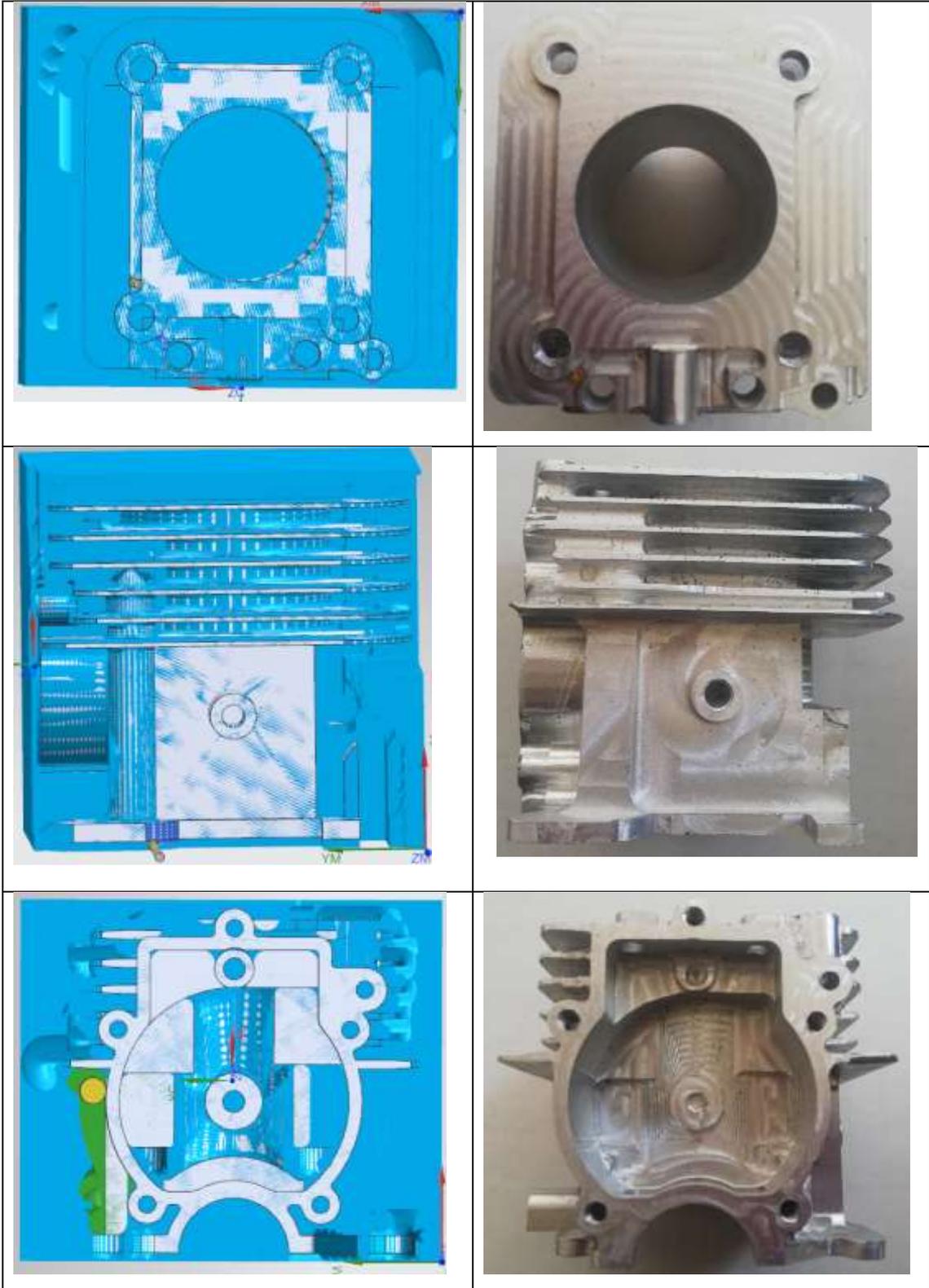
Fuente: Autor

3.12 Resultados del mecanizado

En este punto se va a mostrar las imágenes del resultado de mecanización en el orden que se realizó, en la tabla se observa lo que se simulo en el programa y el mecanizado final del block.

Tabla 5-3. Resultados de mecanización.

Imagen del mecanizado	Imagen de construcción
	
	
	



Fuente: Autor

Realizado por: Ramos Jhon, 2019

3.13 Comparación del prototipo

Dentro de la comparación del prototipo nos encontramos con características en la construcción del prototipo fue mecanizado a partir de un bloque fundido de aleación aluminio-cobre como se muestra en la figura 27-3, otra característica de nuestro prototipo fue el peso del prototipo del block nos dio un resultado similar al block del motor de la máquina podadora Poulan Pro PR650RWD que tomamos como muestra. A continuación se observan las imágenes con los resultados de los pesos medidos en balanzas de precisión de cada uno, podemos observar que el peso en cada uno de los bloques es de 2.8 lb.



Figura 38-3. Peso del prototipo del bloque del motor
Fuente: Autor



Figura 39-3. Peso del bloque del motor de la podadora Poulan Pro PR650RWD.
Fuente: Autor

Nota: Cabe recalcar que el modelo original el bloque del motor de la maquina podadora Poulan Pro PR650RWD del cual se aplicó en concepto de ingeniería inversa tiene partes de que el modelo mecanizado no consta es por ello que los pesos se encuentra igual, por lo que se concluye que nuestro prototipo tiene ligeramente más peso que el modelo.

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS DE COSTO Y PRESUPUESTO

Considerándose el estudio de costos uno de los más importantes para la determinación de la rentabilidad del proyecto puede establecerse cuan rentable puede llegar a ser, una vez determinado los costos directos e indirectos incurridos en la ejecución del mismo.

4.1 Costos directos

Los costos directos son aquellos que interfieren directamente en el proceso de llevarse a cabo la ejecución del proyecto: y se consideran los siguientes:

Tabla 1-4. Costos de materiales y herramientas

Costos directos			
Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo total [USD]
1	Bloque de aluminio	140	140
2	Fresas de 2mm de diámetro	8	16
2	Fresas de 3mm de diámetro	10	20
2	Fresas de 4mm de diámetro	23	46
1	Fresa de 6mm de diámetro	36	36
1	Fresa de 10mm de diámetro	48	48
1	Lima redonda	10	10
TOTAL			316

Fuente: Autor

Realizado por: Ramos Jhon, 2019

Tabla 2-4. Costos de fabricación

COSTOS DIRECTOS			
Cantidad	No. Horas	Costo unitario	Costo total [USD]
Fresadora CNC 3 Ejes	25	20	500
TOTAL			500

Fuente: Autor

Realizado por: Ramos Jhon, 2019

4.2 Costos indirectos

Los costos indirectos se refieren a aquellos gastos empleados en la elaboración del prototipo, los cuales no influyen directamente a los resultados alcanzados.

Tabla 3-4. Costos de indirectos.

COSTOS INDIRECTOS			
Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo total [USD]
1	Transporte	120,00	120,00
1	Impresiones y copias	100,00	100,00
3	Empastado	15,00	45,00
1	Otros gastos	50,00	50,00
TOTAL			315,00

Fuente: Autor

Realizado por: Ramos Jhon, 2019

4.3 Costos totales

Representa la suma de los costos directos e indirectos, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4-1. Costo total.

COSTOS TOTALES	
Costos de materiales y herramientas	316
Costos de fabricación	500
Costo total directo	816
Costo total indirecto	315
Costo total	1131

Fuente: Autor

Realizado por: Ramos Jhon, 2019

CONCLUSIONES.

- Para la realización de la tesis se ha logrado recopilar toda la bibliografía necesaria para realizar el modelado y la fabricación partiendo de estos conceptos generales que permitieron llegar a la fabricación del prototipo.
- El modelado se desarrolló en el software SOLIDWORKS debido a la interfaz que es dinámica y a las herramientas CAD que facilitan el proceso del diseño del prototipo.
- En el software CAM SIEMENS NX se exportó el diseño del prototipo para proceder con la simulación de la fabricación, en este punto al utilizar una fresadora CNC de tres ejes fue necesario realizar la distribución de la simulación por caras del diseño el cual fueron en total seis caras que el tiempo de mecanizado de estas nos dio un total de 456.34 minutos.
- Se obtuvo el código de ISO de las seis caras que constituyen el diseño del prototipo para cargar a la fresadora CNC con controlador Fanuc para su fabricación.
- Para lograr un mejor proceso de terminado final de la pieza se utilizó estrategias CAM tal como FIXED_CONTOUR que nos deja un mejor acabado superficial en las secciones cilíndricas del prototipo.
- Al realizar la simulación de la fabricación se fue probando los diferentes procesos de trayectorias de la herramienta validando el más adecuado para lograr un tiempo mínimo de fabricación del prototipo en la fresadora CNC.
- De acuerdo a la prueba de espectrometría se obtuvo los siguientes datos que es de 4.9% de cobre y 91.58% de aluminio, esta aleación tiene composición química similar a la del dura aluminio la cual tiene como su característica principal que es óptima para el mecanizado la cual fue adecuada para la mecanización del prototipo.
- Se realizó la fabricación del prototipo con el código ISO optimizado en la máquina CNC de tres ejes con controlador fanuc serie O-M, obteniendo el prototipo final.

RECOMENDACIONES.

- Para la etapa de mecanización de las aletas de refrigeración del block debido a su geometría y por falta de herramientas de profundidad pequeñas y de gran calidad para evitar que se rompan durante la mecanización se recomienda reducir el avance.
- Se recomienda que durante la mecanización como se utilizó una fresadora CNC de tres ejes tratar de tener la mayor precisión posible en el cuadro de herramientas y las compensación longitudinal debido a que cuando se mecanizan las caras adyacentes dejando material sobrante o mecaniza más profundo dejando un mal terminado en la pieza.
- Al momento de la fabricación observar el material sobrante que deja en cada cara para tener en cuenta al momento de sujetar la pieza en la entenalla de la fresadora CNC evitando que en la mecanización se libera y produzca un choque de herramienta.
- Para realizar el modelado del prototipo del block se recomendaría dominar conocimientos en software CAD.
- Para reducir el tiempo de mecanizado se recomienda realizar en torno CNC de cinco ejes ya que esta ayuda a mecanizar en menos etapas reduciendo minimizando el tiempo de coste y los tiempos requeridos en la preparación de cada cara.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA GÓMEZ, Giovanni Israel, & TUBÓN CHASIG, Willian Javier. Modelado CAD-CAM y fabricación de un avión de juguete utilizando una máquina CNC de 5 ejes que formará parte del Laboratorio de CAD-CAM de la Escuela de Ingeniería Industrial [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) ESPOCH, Mecánica, Ingeniería Industrial. Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 18-20. [Consulta: 7 enero 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6835>

ACUÑA C., Fausto V. & SÁNCHEZ O., Wilson E. Diseño y construcción de un prototipo de una máquina taladora de control numérico computarizado. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) ESPE, Ingeniería Electromecánica. Latacunga, Ecuador. 2005 [Consulta: 7 enero 2020]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/3518>

CADENA GALLEGOS, Darwin Marcelo & SACA PAQUI, Francisco Javier. Optimización del apero bifuncional del motocultor YTO-DF15L aplicando la norma ISO 25119 que permita el mejoramiento de rendimiento, ergonomía y seguridad para el MAG de Chimborazo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) ESPOCH, Mecánica, Ingeniería Automotriz. Riobamba, Ecuador. 2019. [Consulta: 7 enero 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/11482>

EKOS. *Industria manufacturera: el sector de mayor aporte al PIB.* [En línea]. Quito-Ecuador: 2018 [Consulta: 06 de Febrero de 2018]. Disponible en: <http://www.ekosnegocios.com/negocios/verArticuloContenido.aspx?idArt=10182>

ESCALONA, I. *Diseño y manufactura asistidos por computadora.* [En línea], 2009. [Consulta: 30 agosto 2019]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/espochsp/detail.action?docID=3181296>.

LISINTUÑA TOAPANTA, Jessica Viviana & MOLINA MOLINA, Gabriela Madeleine. Análisis y aplicación de ingeniería inversa en objetos con scanners 3D para el apoyo de conservación del patrimonio cultural del Ecuador. [En línea], (Trabajo de titulación). (Ingeniería) ESPE, Ingeniería Geográfica y del medio ambiente. Sangolqui, Ecuador. 2017. [Consulta: 7 enero 2020]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/13259>

NAVARRO, ERNESTO. *EL CAD.* [En línea], 2005. [Consulta: 15 de Septiembre de 2019].
Disponible en: http://documenta.ftp.catedu.es/tut_Cad_2D/cad.pdf

SÁNCHEZ FULGUEIRA, M. *Elaboración De Programas De Cnc Para La Fabricación De Piezas Por Arranque De Viruta (uf0879)* [en línea]. Málaga, SPAIN: IC Editorial, 2012. [Consulta: 31 julio 2019]. ISBN 978-1-4492-8830-3. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/epochsp/detail.action?docID=3212132>.

SERRANO SÁNCHEZ, David et. al. *Comprobación y optimización del programa CNC para el mecanizado por arranque de viruta (UF0882).* Málaga, SPAIN: IC Editorial, 2012. 978-1-4492-8816-7.

TORNERO MARTÍNEZ, Francisco. *Mecanizado por control numérico.* 2012, S.l.: Cano Pina, S.L. ISBN 978-84-15884-53-8. pp. 4-192