



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“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”.**

**ACOSTA GÓMEZ GIOVANNI ISRAEL
TUBÓN CHASIG WILLIAN JAVIER**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Riobamba–Ecuador

2017

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-04-27

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

ACOSTA GÓMEZ GIOVANNI ISRAEL
TUBÓN CHASIG WILLIAN JAVIER

Titulado:

**“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”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Carlos Oswaldo Álvarez Pacheco
ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ACOSTA GÓMEZ GIOVANNI ISRAEL

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “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”

Fecha de Examinación: 2017-03-16

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Homero Almendariz Puente PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza DIRECTOR			
Ing. Carlos Oswaldo Álvarez Pacheco ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Homero Almendariz Puente

PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: TUBÓN CHASIG WILLIAN JAVIER

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “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”

Fecha de Examinación: 2017-03-16

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Homero Almendariz Puente PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza DIRECTOR			
Ing. Carlos Oswaldo Álvarez Pacheco ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Homero Almendariz Puente
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, ACOSTA GÓMEZ GIOVANNI ISRAEL y TUBÓN CHASIG WILLIAN JAVIER, egresados de la Carrera de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, autores del trabajo de titulación denominado “**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**”, nos responsabilizamos en su totalidad del contenido en su parte intelectual y técnica, y me someto a cualquier disposición legal en caso de no cumplir con este precepto.

Acosta Gómez Giovanni Israel

Cédula de Identidad: 180443306-6

Tubón Chasig Willian Javier

Cédula de Identidad: 180429184-5

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Acosta Gómez Giovanni Israel y Tubón Chasig Willian Javier, declaramos que el presente trabajo de grado es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Acosta Gómez Giovanni Israel

Cédula de Identidad: 180443306-6

Tubón Chasig Willian Javier

Cédula de Identidad: 180429184-5

DEDICATORIA

El presente trabajo representa la materialización de mi sueño de vida y el esfuerzo constante de estos últimos años, por lo que me es grato dedicarlo a mi madre Delia por apoyarme desde el inicio de mi sueño y estar siempre a mi lado, a mi padre Jaime por enseñarme a luchar y afrontar todos los problemas que tuve en esta travesía, a mis abuelitos por el inmenso apoyo, a mi esposa por estar siempre a mi lado y a Dios por las bendiciones derramadas en mí y mi familia.

A mi tios, hermanos y amigos por el apoyo incondicional, y que supieron levantarme en los momentos difíciles.

Acosta Gómez Giovanni Israel

El presente trabajo de titulación se lo dedico primeramente a Dios, de la misma forma a mi madre María que estuvo siempre conmigo y alentarme a lo largo de esta travesía académica, a mi Padre Washington que a pesar de la distancia siempre supo aconsejarme y darme el impulso para continuar, mi familia por enseñarme que con esfuerzo y dedicación todo se alcanza, lograr esta meta añorada es un ejemplo de ello.

A mis tíos, primos y amigos por el apoyo incondicional, y que supieron levantarme en los momentos de flaqueza.

Tubón Chasig Willian Javier

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Escuela de Ingeniería Industrial y a sus docentes, por permitirme formarme y obtener mi título profesional y ser una persona útil para la sociedad.

Al Ing. Ángel Guamán Mendoza, director y al Ing. Carlos Álvarez asesor de tesis; por su contribución a la ejecución y culminación del presente trabajo.

Acosta Gómez Giovanni Israel

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme permitido forjarme en sus aulas, a la Escuela de Ingeniería Industrial a sus autoridades y profesores, por abrir sus puertas y darme la confianza necesaria para triunfar en la vida y transmitir sabiduría para mi formación profesional.

Al Ing. Ángel Guamán Mendoza, director y al Ing. Carlos Álvarez asesor de tesis; por su contribución a la ejecución y culminación del presente trabajo.

Tubón Chasig Willian Javier

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del Problema	2
1.3 Justificación	3
1.3.1 <i>Justificación teórica.</i>	3
1.3.2 <i>Justificación metodológica.</i>	3
1.3.1 <i>Justificación práctica.</i>	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 <i>Objetivo general.</i>	6
1.4.2 <i>Objetivos específicos.</i>	6
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Sistemas cad-cam.....	7
2.1.1 <i>Definición CAD.</i>	7
2.1.2 <i>Definición CAD-CAM.</i>	7
2.1.3 <i>CAD/CAM en el proceso de diseño y fabricación.</i>	7
2.1.4 <i>Áreas de aplicación para el CAD/CAM.</i>	9
2.1.5 <i>Ventajas del Uso de CAD/CAM.</i>	10
2.2 Control numérico computarizado (CNC)	10
2.2.1 <i>Definición CNC.</i>	10
2.2.2 <i>Ventajas y desventajas del Control Numérico Computarizado</i>	11
2.2.3 <i>Aplicaciones del CNC.</i>	12
2.3 Máquinas de control numérico	13
2.3.1 <i>Diferencias entre una máquina convencional y una máquina con CNC.</i>	13
2.3.2 <i>El factor humano y las máquinas CNC.</i>	13
2.3.3 <i>Tipos de máquinas CNC según el número de ejes.</i>	14
2.4 Máquinas CNC de cinco ejes.....	15
2.5 Bloque de programación.	16
2.5.1 <i>Bloques condicionales.</i>	17
2.5.2 <i>Funciones Auxiliares o complementarias.</i>	17
2.6 Softwares de diseño	17
2.6.1 <i>Softwares de diseño CAD.</i>	17
2.7 Softwares de diseño CAM	18
3. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE DISEÑO CAD-CAM	
3.1 Softwares de diseño CAD-CAM	20
3.2 Alternativas de Software de Diseño CAD-CAM.....	20
3.3 Selección del software	21
3.3.1 <i>Criterios de Valorización.</i>	22
3.3.2 <i>Ponderación de los criterios de valoración.</i>	22
3.3.3 <i>Selección de la alternativa más adecuada.</i>	22
3.4 Selección del diseño del prototipo	23
3.5 Modelación del prototipo.....	23
3.6 Selección de la máquina CNC de cinco ejes.....	24

3.6.1	<i>Alternativas de máquinas CNC de 5 ejes.</i>	24
3.6.2	<i>Criterios de valorización.</i>	28
3.6.3	<i>Selección de la alternativa más adecuada.</i>	28
3.7	Parámetros de la HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes	29
3.8	Comunicación del software con la máquina CNC.....	34
3.8.1	<i>Códigos Generales o Preparatorios.</i>	36
3.8.2	<i>Códigos Misceláneos.</i>	39
4.	MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN AVIÓN DE JUGUETE	
4.1	Aplicación del software NX en el proceso de manufactura CAM para la modelación del prototipo de avión.....	41
4.1.1	<i>Geometría de la pieza a mecanizar.</i>	44
4.1.2	<i>Selección de Máquina y Postprocesador.</i>	48
4.1.3	<i>Creación de herramientas en el software.</i>	49
4.1.4	<i>Crear operaciones.</i>	51
4.1.5	<i>Trayectoria de la Herramienta.</i>	54
4.1.6	<i>Simulación.</i>	54
4.2	Parámetros de mecanizado.....	56
4.2.1	<i>Herramienta de Corte.</i>	56
4.2.2	<i>Velocidad de Corte (Vc).</i>	57
4.2.3	<i>Cálculo la Velocidad de corte para una fresa plana HSS de Ø 6 mm</i>	59
4.2.4	<i>Avance.</i>	59
4.2.5	<i>Cálculo del avance para una fresa plana HSS de Ø6 mm.</i>	61
5.	FABRICACIÓN DEL AVIÓN DE JUGUETE	
5.1.1	<i>Selección del material para el avión de juguete.</i>	62
5.1.2	<i>Sujeción del material.</i>	63
5.1.3	<i>Preparación de la máquina para el funcionamiento</i>	64
5.1.4	<i>Ejecución del software Mach3.</i>	65
5.1.5	<i>Configuración de la máquina con el software Mach3.</i>	66
5.1.6	<i>Configuración de puertos y pins de la máquina de cinco ejes.</i>	66
5.1.7	<i>Configuración de los motores de paso.</i>	67
5.1.8	<i>Configuración de los botones de JOG.</i>	68
5.1.9	<i>Configuración de la velocidad de avance.</i>	68
5.1.10	<i>Configuración de la velocidad del Husillo.</i>	69
5.1.11	<i>Configuración de la herramienta.</i>	70
5.1.12	<i>Determinación del cero pieza.</i>	70
5.1.13	<i>Transferencia de programación a la máquina CNC de cinco ejes.</i>	72
5.1.14	<i>Ejecución del programa código G.</i>	74
5.1.15	<i>Mecanizado</i>	75
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones	77
6.2	Recomendaciones	77

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Herramientas CAD para el proceso de diseño.	9
2	Herramientas CAM para el proceso de fabricación.....	9
3	Diferencias entre una máquina convencional y una máquina con CNC.....	13
4	Alternativas de Softwares de diseño CAD	22
5	Ponderación de los criterios de valoración	22
6	Selección de la alternativa más adecuada.	22
7	Alternativas de fresadoras de 5 ejes.....	28
8	Costos de fresadoras de 5 ejes	28
9	Forma de ponderación	29
10	Ponderación de la mejor alternativa.....	29
11	Características técnicas de la máquina CNC de 5 ejes	33
12	Lenguaje de Programación ISO	35
13	Rango de direcciones	36
14	Lista de Códigos de Movimiento.....	37
15	Lista de Códigos de Preparatorias	38
16	Encendido y Reinicio del Estado de los Códigos G	38
17	Códigos M.....	39
18	Velocidades de corte de la máquina fresadora.....	58
19	Avance por diente recomendado (fresas de alta velocidad)	60
20	Avance recomendado por diente (fresas de carburo cementado)	60
21	Materiales utilizados en la mecanización.	62

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
1	Ciclo de producto..... 8
2	Procesos CAD/CAM..... 8
3	Notación de los ejes y dirección de movimiento en máquinas herramientas. . 16
4	Estructura de un programa CNC..... 17
5	Operaciones del mecanizado 19
6	Softwares de diseño CAD..... 20
7	Diseño del avión de juguete..... 23
8	Fresadora Gantry de 5 ejes de alta velocidad - antares..... 25
9	Fresadora CNC 5 ejes / universal DMU 95 monoBLOCK® 26
10	HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes. 27
11	HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes 29
12	Parte interna de la Fresadora Router CNC 5 Ejes..... 30
13	Recubrimiento del cableado de motores 30
14	Sistema de refrigeración por agua 31
15	Control manual 31
16	Mesa..... 31
17	Ejes de rotación A y B 32
18	Controlador de ejes 32
19	Dimensiones máquina CNC de 5 ejes..... 34
20	Espacio de trabajo 43
21	Fabricación..... 43
22	Espacio de trabajo NX 45
23	Geometría de la pieza 46
24	Sobredimensión 47
25	Asignación de material 48
26	Selección de la máquina y post procesador 49
27	Crear herramienta en NX..... 50
28	Selección del material de la herramienta en NX..... 51
29	Crear una operación en NX 52
30	Fresado de cavidades en NX..... 53
31	Avances y velocidades en NX 53
32	Trayectoria de la herramienta 54
33	Simulación en NX..... 55
34	Selección del número de ejes 55
35	Godigos G 56
36	Herramienta de Corte..... 57
37	Fresa plana HSS de Ø6 mm..... 59
38	Fresa Plana HSS de Ø6 mm y número de dientes 4 61
39	Cubo de madera 63
40	Sujeción del material 63
41	Pernos de sujeción 64
42	Bomba para el sistema de refrigeración..... 64
43	Sistema de refrigeración de la máquina 64

44	Encendido de la máquina	65
45	Panel de control del husillo.....	65
46	Panel de control del software Mach3.....	65
47	Computador esclavo para el control de la máquina CNC.....	66
48	Configuración de puertos y pines de la máquina	66
49	Habilitación de Enableds para los ejes de la máquina	67
50	Configuración de los motores de paso	67
51	Configuración de los botones de JOG	68
52	Configuración del avance	69
53	Configuración de la velocidad del husillo	69
54	Configuración de la herramienta.....	70
55	Determinación del cero pieza	71
56	Zero X.....	71
57	Zero Y.....	71
58	Zero Z	72
59	Cero piezas.....	72
60	Transferencia de códigos G	73
61	Archivos de programación .NC	73
62	<i>Sección de control del programa</i>	74
63	Estado inicial de la pieza	75
64	Fresado del contorno.....	75
65	Fresado cabeza del avión	76
66	Fresado cuerpo del avión	76
67	Fresado de las alas del avión.....	76
68	Fresado final del avión.....	76

LISTA DE ANEXOS

- A** Planos del diseño
- B** Codigos G

LISTA DE ABREVIACIONES

CAD	Computer Aided Desing-Diseño Asistido Por Computadora
CAM	Computer Aided Manufacturing- Manufactura Asistida Por Computadora
NC	Numeral Control- Control Numerico
CNC	Computer Numeral Control- Control Numérico Computalizado
DNC	Direct Numeral Control- Control Numérico Directo
RPM	Revoluciones por minuto
ISO	International Organization for Standardization

RESUMEN

Con el desarrollo de este proyecto de titulación se fabricó un avión a escala utilizando tecnología CNC, debido a su geometría es indispensable utilizar una máquina de 5 ejes, además esta máquina servirá para equipar tecnológicamente al laboratorio de CAD-CAM. Se seleccionó el software adecuado en base a un cuadro de ponderación donde se asignaron varios factores en base a criterios de diseño y flexibilidad, siendo seleccionado el software NX. El avión es modelado a una escala prudencial según datos y dimensiones reales con ayuda de una plantilla del diseño seleccionado. Con el modelo establecido se obtienen los respectivos códigos G desde el software NX, para esto es necesario introducir la geometría básica, pieza en bruto, dimensiones y seleccionar el tipo de herramienta, por último, se realiza una simulación para verificar que los parámetros seleccionados sean los adecuados. El avión a escala es mecanizado en madera en la maquina CNC HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes, la línea de códigos G por tener un número considerable se introdujo en 5 grupos, previamente se realizaron cálculos de velocidad y avance de corte de la herramienta. Al final del mecanizado se obtuvo un modelo con dimensiones y geometrías exactas al diseño, el proceso de fabricación duro un tiempo de 1h 55 minutos y 23 s, este resultado fue gracias a la construcción del modelo en una máquina de 5 ejes porque debido a su geometría compleja construirlo en otra máquina hubiera sido imposible. Para obtener una pieza con buen acabado superficial es recomendable calcular la velocidad de corte adecuada según el diámetro de la herramienta, las simulaciones en el software son fundamentales para verificar posibles fallas en el mecanizado.

PALABRAS CLAVE: <DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)>, <MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAM)>, < CONTROL NUMÉRICO COMPUTALIZADO (CNC)>, < REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM) >, < CONTROL NUMÉRICO (NC)>, <CONTROL NUMÉRICO DIRECTO (DNC) > < ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE ESTANDARIZACIÓN (ISO) >, < INGENIERIA ASISTIDA POR ORDENADOR (CAE) >

ABSTRACT

With the development of this titration project a scale aircraft was manufactured using CNC technology, due to its geometry, it is essential to use the 5-axis machine. In addition to the machine will technically equip the CAD-CAM laboratory. Software was selected based on a weighting chart where multiple elements were assigned on the basis of design and flexibility criteria, and NX software selected. The aircraft is a model on a prudential scale of data and real dimensions with the help of a template of the selected design. With the established model the G codes have been obtained from the NX software. So, it is necessary to insert the basic geometry, the blank, dimensions and selection of the kind of tool. Finally, a simulation is carried out to verify that the parameters are appropriate. The aircraft a scale is machined in the wood and CNC machine HY-3040 China Mini CNC router Machinery CNC 5 Axis, the line of G codes with a considerable number that are introduced into 5 groups. Previous speed and advance calculations, cutting tool had been conducted. At the end of the mechanized, a model with exact dimensions and geometries to the design was obtained. The manufacturing process lasted a time of 1 hour 55 minutes and 23s. This result was thanks to the construction of the model in a machine of 5 axes because of its complex geometry in another machine may be impossible. In order to obtain a piece with a good surface finish it is advisable to calculate the appropriate cutting speed according to the diameter of the tool, the simulations in the software are fundamental for the control of possible failures in the mechanized.

KEYWORDS: <COMPUTER ASSISTED DESIGN (CAD)>, <COMPUTER ASSISTED MANUFACTURING (CAM)>, <COMPUTERIZED NUMERIC CONTROL>, <REVERSALS PER MINUTE (RPM)>, <(NUMERIC CONTROL) NC>, <DIRECT NUMERIC CONTROL (DNC)>, <INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION (ISO)>, <COMPUTER ASSISTED ENGINEERING (CAE)>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La Escuela de Ingeniería Industrial fue fundada el 22 de junio de 1999 con el propósito de formar profesionales líderes capaces de contribuir con el desarrollo tecnológico y socioeconómico del país. Dada la formación del ingeniero industrial este puede desempeñarse en diferentes áreas del sector productivo entre ellas la automatización de procesos. La automatización de procesos ha evolucionado considerablemente en los últimos años y de hecho se ha convertido en una fuerza impulsadora en el sector industrial con la optimización de tiempos y reducción de costos de producción, un ejemplo claro de esto lo encontramos en la automatización de máquinas herramientas de control numérico computarizado (CNC). La utilización del control numérico computarizado (CNC) tuvo sus inicios en la industria de la aviación durante la Segunda Guerra Mundial con el fin de obtener piezas con mayor precisión y exactitud.

En el año de 1942 surgió lo que se podría llamar el primer control numérico verdadero debido a una necesidad impuesta por la industria aeronáutica para la realización de hélices de helicópteros de diferentes configuraciones; para el año de 1956 la fuerza aérea americana inicio el proyecto de generar un lenguaje de programación basado en control numérico, el cual se basaba en equipos constituidos por controladores de válvula de vacío, el cual tenían un alto consumo energético al igual de las altas temperaturas que emitía.

La evolución de la tecnología CNC es evidente, muestra de ello es que sus posibilidades técnicas han aumentado considerablemente, entre ellas tenemos: interfaces de usuario para una programación más rápida, diseño flexible y descentralizado, máquinas de cinco ejes, etc.

En la actualidad los equipos CNC con la ayuda de los sistemas CAD/CAM permiten a las empresas producir con mayor rapidez y calidad. Dichos sistemas consisten en el diseño y establecimiento de los parámetros necesarios para la construcción automática de piezas mediante el uso de la tecnología CNC.

En definitiva los sistemas CAD-CAM para máquinas CNC ofrecen una solución automatizada para el diseño y mecanizado industrial y son una alternativa para introducir a cualquier tipo de industria en un mercado donde la calidad y el mejoramiento continuo es uno de los objetivos principales.

1.2 Planteamiento del problema

La carrera de Ingeniería Industrial de la ESPOCH, es una escuela dedicada a la formación de profesionales competentes e instruidos en las diversas áreas del conocimiento. Para ello cuenta con laboratorios de automatización, computación, CAD-CAM, entre otros, ya que la aplicación teórico-práctica es muy importante para la formación de sus profesionales.

Durante el proceso académico se obtuvo un alto conocimiento teórico de máquinas CNC que continuamente se desarrollan y permiten el crecimiento potencial de las empresas a nivel mundial, este conocimiento adquirido en la prestigiosa facultad de mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, al no ser complementado con la práctica y experiencia, los conocimientos teóricos quedan obsoletos a través del tiempo por la difícil proyección, ejecución de lo establecido en las aulas.

Se conoce que la falta de práctica y experiencia se debe a que el laboratorio de CAD-CAM no dispone de una máquina CNC para la realización de prácticas. Por lo que la adquisición de máquinas de este tipo se convierte en una necesidad importante con el fin de impulsar el desarrollo competitivo y profesional de cada uno de los estudiantes. Por otra parte la falta de conocimiento se produce por el avance tecnológico que crece a pasos agigantados y por la falta en recursos didácticos; que limitan el desarrollo académico e investigativo correspondiente a esta tecnología. Por lo que es conveniente desarrollar un documento que brinde a los estudiantes criterios básicos sobre el funcionamiento y adicional acortar las fronteras tecnológicas a nivel internacional de este tipo de máquinas como parte de sistemas CAD-CAM.

La presencia de este problema no permitirá que los futuros profesionales tengan un nivel laboral competitivo, lo que repercute en la merma de las posibilidades de vincularse con éxito al campo laboral correspondiente a temas de CAD-CAM.

Por lo tanto, con el desarrollo de este proyecto de titulación se va a incorporar una máquina CNC de cinco ejes en el laboratorio de CAD-CAM, además se va a realizar un documento con el modelado de un objeto que servirá para dar a conocer los criterios básicos a tener en cuenta en la utilización de la máquina CNC de cinco ejes, el cual debe contener: consideraciones para el diseño de elementos y objetos, la programación referente a los códigos para la secuencia de operación y la activación de la máquina y sistema de control para ejecutar la construcción de lo deseado.

He aquí el planteamiento del problema sobre el cual se va a desarrollar el proyecto de investigación denominado: “MODELADO CAD-CAM Y FABRICACIÓN DE UN AVIÓN DE JUGUETE UTILIZANDO UNA MÁQUINA CNC DE CINCO EJES, QUE FORMARÁ PARTE DEL LABORATORIO DE CAD-CAM DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA ESPOCH”

1.3 Justificación

1.3.1 *Justificación teórica.* El presente trabajo de titulación aportará a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Industrial los lineamientos básicos de funcionamiento y diseño de sistemas CAD-CAM, los cuales son de vital importancia para la generación de códigos G que permitan un correcto mecanizado en máquinas CNC cabe mencionar que los diferentes fabricantes difieren en ciertos parámetros correspondientes a lenguaje de programación, por lo cual el presente proyecto profundizará estos lenguajes de programación en el diseño y simulación así como en la transferencia de los códigos hacia la máquina. Para las funciones de la máquina debe existir un profundo conocimiento en la ejecución y depuración de los códigos G adaptables a la máquina CNC de 5 ejes que será implementada en la Escuela de Ingeniería Industrial en el laboratorio de CAD-CAM como un componente ejemplar para el desarrollo técnico de cada uno de los estudiantes que vean la tecnología CNC como una herramienta indispensable para el desarrollo industrial a nivel nacional e internacional.

1.3.2 *Justificación metodológica.* Para la ejecución del modelado CAD-CAM y la fabricación de un avión de juguete utilizando una máquina CNC de cinco ejes, para lo cual es preciso descomponer las variables de interés, lo cual podemos mencionar en este caso son modelado CAD-CAM y fabricación de un avión de juguete, con ello se pueden

establecer los aspectos relacionados que se debe abordar para la elaboración del presente proyecto técnico.

A partir de lo establecido en el párrafo anterior se va a dividir el desarrollo del proyecto en categorías principales, como se detalla a continuación:

- Adquisición, instalación y reconocimiento del alcance de las operaciones que se pueden ejecutar con la máquina CNC de cinco ejes.
- Diseño del avión de juguete en un software, basado en la formulación de alternativas y selección de la más apropiada.
- Programación de las instrucciones codificadas para el mecanizado en el software MACH3.
- Fabricación del avión de juguete en conformidad con los parámetros de modelado.
- Diseño del avión de juguete seleccionando el software más apropiado.
- Programación de las instrucciones para el mecanizado del avión de juguete en el software MACH3.
- Fabricación del avión de juguete utilizando la máquina CNC de cinco ejes.

Una vez definidos los ítems principales, que se integrarán para dar forma al proyecto técnico, se establecerán el enfoque, la modalidad y los niveles del estudio correspondiente.

El proyecto técnico considerará el enfoque cuantitativo por cuanto se trabajarán con datos numéricos referentes a indicadores como las dimensiones, tolerancias, velocidad de avance, longitudes desplazadas.

Aunque además se considerará un enfoque cualitativo, puesto que se establecerán criterios de valoración como el grado de calidad del acabado del avión, se dará seguimiento al lenguaje de programación para la codificación de las instrucciones de trabajo.

Por otro lado, en cuanto a la modalidad del estudio, se recopilará información de fuentes digitales y bibliográficas, para sustentar el desarrollo del proyecto.

Pero la ejecución propiamente dicha del trabajo se hará mediante un estudio de campo, ya que se emplearán programas de diseño CAD y de manufactura CAM, sumado a la necesidad de realizar pruebas para verificar el funcionamiento de la máquina y para obtener un objeto de buena calidad.

El proyecto demanda de un estudio de carácter exploratorio, porque se parte de un conocimiento teórico que no ha tenido la oportunidad de ser llevado a la práctica por la falta de máquinas CNC especializadas para el propósito establecido.

Además se ubica como de carácter descriptivo porque se estudiarán los parámetros de interés teniendo en cuenta que se tiene que escoger un diseño entre algunas alternativas y finalmente todo el trabajo debe llegar a su punto culminante gracias a la creación del avión de juguete, que debe estar en estricta correspondencia con el modelado CAD-CAM preestablecido.

1.3.1 *Justificación práctica.* El proyecto técnico que se plantea está orientado a servir de guía para las futuras creaciones de objetos utilizando la máquina Sunwin 5 axis CNC 3040, ya que a partir del avión fabricado se podrán elaborar otros objetos, así como piezas o elementos; los cuales serán desarrollados como prácticas de laboratorio por parte de los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Industrial de la ESPOCH.

Es decir que básicamente los beneficiarios serán los docentes de CAD-CAM de la Escuela de Ingeniería Industrial y los estudiantes de la carrera, que son aproximadamente en número de entre 20 y 30 personas por semestre, conociendo que la asignatura de CAD-CAM es dictada en el séptimo semestre de la mencionada carrera.

El alcance del presente proyecto técnico es la fabricación de un avión de juguete didáctico, que será creado a partir del modelado conforme los sistemas CAD-CAM y empleando una máquina CNC de 5 ejes que estrechará aún más los límites tecnológicos con potencias mundiales en un enfoque y desarrollo tecnológico.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general.* Realizar el modelado CAD-CAM y la fabricación de un avión de juguete utilizando una máquina CNC de cinco ejes, que formará parte del laboratorio de CAD-CAM de la Escuela de Ingeniería Industrial de la ESPOCH.

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Seleccionar el software más adecuado para la modelación y simulación del avión de juguete.

- Seleccionar la máquina CNC de 5 ejes para la implantación

- Adquirir una máquina CNC de cinco ejes para el laboratorio de CAD-CAM de la Escuela de Ingeniería Industrial de la ESPOCH

- Modelar el avión de juguete en el software de mayores prestaciones.

- Simulación del avión de juguete.

- Fabricar el avión de juguete utilizando la máquina CNC de cinco ejes.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistemas CAD-CAM

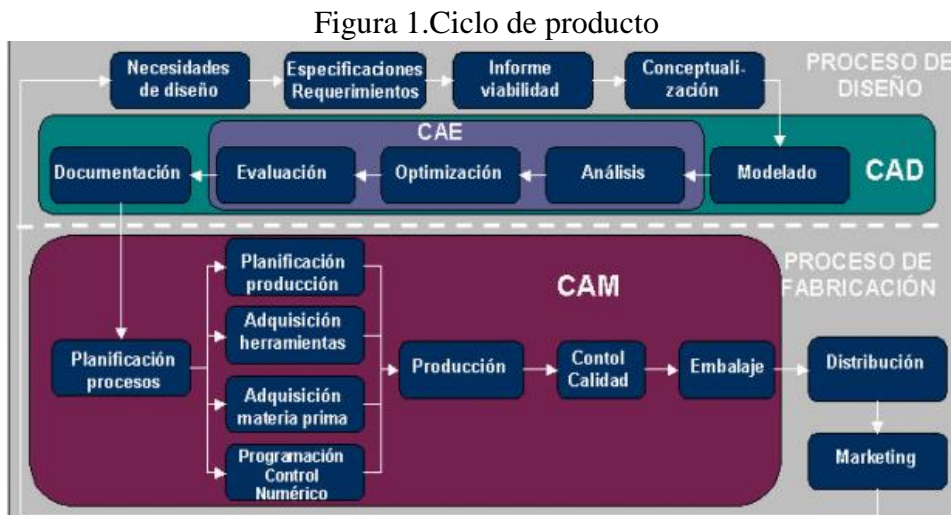
2.1.1 *Definición CAD.* El diseño asistido por computadora o dibujo asistido por computadora es un sistema que permite el diseño de objetos por computadora, presentando múltiples ventajas como la interactividad y facilidad de crear nuevos diseños, la posibilidad de simular el comportamiento del modelo antes de la construcción del prototipo, modificando, si es necesario, sus parámetros; la generación de planos con todo tipo de vistas, detalles y secciones, y la posibilidad de conexión con un sistema de fabricación asistida por computadora para la mecanización automática de un prototipo. (Producción Automatizada Sistemas CAD/CAE/CAM, 1999). En resumen el término CAD se puede definir como el uso de sistemas informáticos en la creación, modificación, análisis u optimización de un producto.

2.1.2 *Definición CAD-CAM.* El Diseño y la fabricación asistidos por ordenador (CAD/CAM) es una disciplina que estudia el uso de sistemas informáticos como herramienta de soporte en todos los procesos involucrados en el diseño y la fabricación de cualquier tipo de producto. (lenguajedeingenieria, 2013)

Los Sistemas CAD-CAM permiten la automatización de máquinas en la fabricación de partes, ensambles, y circuitos; utilizando como punto de partida la información de la geometría creada por el CAD mediante la generación automática de códigos CNC. Históricamente, los sistemas CAD comenzaron como una ingeniería tecnológica computarizada, mientras los CAM eran una tecnología semiautomática para el control de máquinas de forma numérica. Pero estas dos disciplinas, que nacieron separadamente, se han ido mezclando gradualmente hasta conseguir una tecnología suma de las dos; denominada sistemas CAD-CAM. (García Higuera, y otros, 2007)

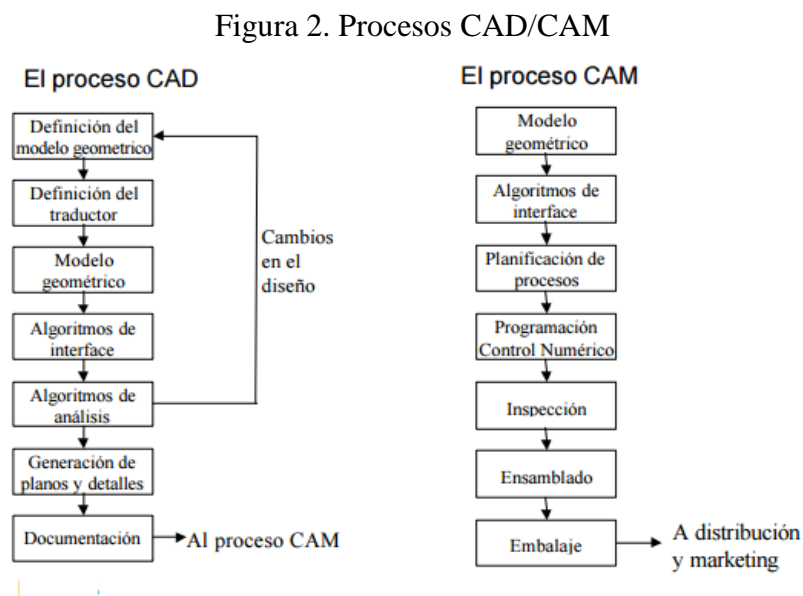
2.1.3 *CAD/CAM en el proceso de diseño y fabricación.* Para convertir un concepto o idea en un producto, se pasa por dos procesos principales, el de diseño y el de fabricación. El proceso de diseño se puede dividir en una etapa de síntesis, en la que se

crea el producto y una etapa de análisis en la que se verifica, optimiza y evalúa el producto creado. En la etapa de fabricación se planifican los procesos a realizar y los recursos necesarios. Como último paso se realiza un control de calidad del producto resultante antes de pasar a la fase de distribución y marketing. El proceso descrito anteriormente se lo denomina ciclo de producto y se representa a continuación en la figura.



Fuente: <https://goo.gl/WveHcz>

Dentro del ciclo de producto descrito anteriormente se ha incluido un conjunto de tareas agrupadas en proceso CAD y otras en proceso CAM, que, a su vez, son subconjuntos del proceso de diseño y proceso de fabricación respectivamente. La figura 2 muestra ambos procesos con más detalle.



Fuente: <https://goo.gl/WveHcz>

Las herramientas requeridas para cada proceso aparecen en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Herramientas CAD para el proceso de diseño.

Fase de diseño	Herramientas cad requeridas
Conceptualización del diseño.	Herramientas del modelado geométrico.
Modelado del diseño y simulación.	Las anteriores más herramientas de animación, ensamblaje y aplicaciones del modelado específicas.
Análisis del diseño.	Aplicaciones de análisis generales (FEM), aplicaciones a medida.
Optimización del diseño.	Aplicaciones a medida, optimización estructural.
Evaluación del diseño.	Herramientas de acotación, tolerancias, listas de materiales.
Informes y documentación.	Herramientas de dibujo de planos y detalles, imágenes color.

Fuente: <https://goo.gl/WveHcz>

Tabla 2. Herramientas CAM para el proceso de fabricación

Fase de fabricación	Herramientas CAM requeridas
Planificación de procesos.	Herramientas CAPP, análisis de costes, especificaciones de materiales y herramientas.
Mecanizado de piezas.	Programación de control numérico.
Inspección.	Aplicaciones de inspección.
Ensamblaje.	Simulación y programación de robots.

Fuente: <https://goo.gl/WveHcz>

2.1.4 *Áreas de aplicación para el CAD/CAM.* En un mercado donde la demanda exige productos baratos, de mayor calidad y cuyo ciclo de vida se reduce cada vez más, se hace necesaria la intervención de sistemas CAD/CAM para abaratar costes, aumentar la calidad y reducir el tiempo de diseño y producción.

Es aplicable en todos los sectores industriales.

- Ingeniería Mecánica.
- Ingeniería Automotriz.
- Ingeniería Industrial.
- Artística
- Medicina
- Ingeniería Eléctrica y Electrónica
- Ingeniería Aeroespacial.
- Diseño Artístico.

- Ingeniería Naval
- Arquitectura.

2.1.5 *Ventajas del Uso de CAD/CAM.* Las ventajas que ofrecen los sistemas CAD-CAM son significativas con relación a los métodos tradicionales de control y se las detalla a continuación:

- Producción de dibujos de forma más rápida.
- Mayor precisión y calidad en los dibujos.
- Mayor limpieza en los planos de fabricación
- Facilidad en la corrección de diseños
- Análisis y cálculos de diseños más rápido
- Especificaciones del cliente
- Optimización de diseños
- Menores requisitos de desarrollo
- Mayor rango de diseño.
- Animaciones y simulaciones que permiten visualizar mejor los resultados.
- Integración de diseño con otras disciplinas.
- La facilidad de realizar visualizaciones del producto.
- La transferencia de base de datos de forma directa del sistema CAD al CAM.
- Acotamiento en tiempo y desarrollo, planificación y fabricación de los productos.
- Reducción de tiempos muertos.
- Reducción de costos en proceso de producción.
- Fabricación de prototipos rápidos.
- Generación y simulación de códigos de control numérico.
- Traducción de formatos neutros.

2.2 Control numérico computarizado (CNC)

2.2.1 *Definición CNC.* El término CNC se refiere al control numérico de máquinas, generalmente máquinas herramientas. Normalmente este tipo de control se ejerce a través de una computadora y la máquina está diseñada a fin de obedecer las instrucciones de un programa dado. (Felipe, 2008)

El CNC es una forma de automatización programable, obedece a una serie de instrucciones mediante líneas de código, que establecen todos los pasos a seguir, de acuerdo a la secuencia de operaciones del mecanizado, es apropiado para volúmenes de producción bajos o medios y piezas de forma no muy compleja ya que según forma de la pieza es la dificultad de la elaboración del programa, a veces el desarrollo de un programa podría llevar años.

2.2.2 *Ventajas y desventajas del Control Numérico Computarizado*

Podemos citar las siguientes ventajas:

- Mayor precisión y mejor calidad de productos.
- Mayor uniformidad en los productos producidos.
- Un operario puede operar varias máquinas a la vez.
- Fácil procesamiento de productos de apariencia complicada.
- Flexibilidad para el cambio en el diseño y en modelos en un corto tiempo.
- Fácil control de calidad.
- Reducción en costos de inventario, traslado y de fabricación en los modelos y abrazaderas.
- Es posible satisfacer pedidos urgentes.
- No se requieren operadores con experiencia.
- Se reduce la fatiga del operador.
- Mayor seguridad en las labores.
- Aumento del tiempo de trabajo en corte por maquinaria.

- Fácil control de acuerdo con el programa de producción lo cual facilita la competencia en el mercado.
- Fácil administración de la producción e inventario lo cual permite la determinación de objetivos o políticas de la empresa.
- Permite simular el proceso de corte a fin de verificar que este sea correcto.

Sin embargo no todo son ventajas y entre las desventajas se pueden citar las siguientes:

- Alto costo de la maquinaria.
- Falta de opciones o alternativas en caso de fallas.
- Es necesario programar en forma correcta la selección de las herramientas de corte y la secuencia de operación para un eficiente funcionamiento.
- Los costos de mantenimiento aumentan, ya que el sistema de control es más complicado y surge la necesidad de entrenar al personal de servicio y operación.
- Es necesario mantener un gran volumen de producción a fin de lograr una mayor eficiencia de la capacidad instalada.

2.2.3 *Aplicaciones del CNC.* Existe una gran variedad de máquinas en las se utiliza el control numérico entre las que podemos mencionar:

- Tornos.
- Fresadoras.
- Rectificadoras.
- Máquinas de dibujar (Plotters).
- Dobladoras.
- Prensas.

2.3 Máquinas de control numérico

A principios de los años 90's llegan a su madurez las máquinas de Control Numérico Computarizado (CNC), el problema que se presentaba con esta aplicación era que el usuario requería de mucho tiempo para programar las mismas a pie de máquina y una vez realizado esto tenía que ejecutar el programa a baja velocidad y corregir todos los errores que se producían, es decir, depurar el programa, este proceso se realizaba cada vez que se mandaba al área de maquinados una nueva pieza.

En los primeros años que apareció la tecnología CNC se buscaba que los técnicos e ingenieros fueran capaces de programar dichas máquinas y que las mantuvieran en funcionamiento, esto implicaba un conocimiento especializado que fuera posible de transmitir a nivel de planta logrando así cumplir con un aumento de productividad real.

El sector automotriz fue el que impulsó el desarrollo de esta tecnología, por su necesidad de disminuir sus tiempos de maquinado lo que representa una ventaja competitiva. En la actualidad estas nuevas máquinas son capaces de dar precisiones desde 0.001 mm hasta 0.000,001 mm, precisión no igualada de manera comercial por el de máquinas convencionales, las cuales son capaces de dar una precisión de 0.01 mm, nivel muy por debajo del alcanzado por las de CNC.

2.3.1 Diferencias entre una máquina convencional y una máquina con CNC

Tabla 3. Diferencias entre una máquina convencional y una máquina con CNC

Máquina convencional	Máquina con CNC
Solo una persona opera la máquina.	Un operador puede utilizar muchas máquinas.
La experiencia es muy importante.	No es necesario la experiencia.
El operados tiene el mando de profundidad, avance, etc.	El programa tiene el control de los parámetros de corte.
Existen trabajos imposibles de realizar.	Se realiza cualquier tipo de trabajo.

Fuente: Autores

2.3.2 El factor humano y las máquinas CNC. El operador de CNC deberá tener conocimientos de geometría, álgebra y trigonometría, también deberá conocer sobre la selección y diseño de herramientas de corte y dominar las técnicas de sujeción.

La interfaz entre el programador y la máquina CNC se realiza a través de dispositivos, el cual puede ser: una cinta perforada y codificada, cintas magnéticas con la información del programa, o una computadora a través de la cual se proporciona la información necesaria.

2.3.3 Tipos de máquinas CNC según el número de ejes. El número de ejes en una máquina CNC es lo que determina las posibilidades de movimiento de la máquina herramienta. Así, a mayor número de ejes, mayores posibilidades de movimiento o mayores grados de libertad. Es importante entender que, cuando se habla de ejes, se hace referencia a los ejes de un sistema cartesiano, (X, Y, Z).

En este sentido, pueden clasificarse de la siguiente forma:

- **De tres ejes.-** Se trata de máquinas CNC con posibilidad de movimiento horizontal, vertical y oblicuo, este último, como resultado de la combinación de movimientos entre mesa, ménsula y husillo. Permiten un control sobre el movimiento relativo existente entre la máquina herramienta y la pieza, en cada uno de los tres ejes del sistema cartesiano.
- **De cuatro ejes.-** Las máquinas CNC tipo cuatro ejes, cumplen todas las funciones descritas en el tipo anterior: movimiento relativo entre pieza y herramienta, en los tres ejes.

Añade la posibilidad de control de giro de la pieza, sobre uno de los ejes, gracias a un plato giratorio o mecanismo divisor. De esta forma, este tipo de máquinas CNC está especialmente indicado a la hora de generar superficies labrando sobre patrones cilíndricos. Tal es el caso del labrado de ejes estriados o engranajes, por ejemplo.

- **De cinco ejes.-** Además de cumplir con todas las posibilidades de las descritas anteriormente; las máquinas CNC de cinco ejes cuentan con dos particularidades.

De una parte, permitir el control de giro de la pieza sobre dos de sus ejes. Uno de ellos perpendicular al husillo y el otro, paralelo (como en el caso de las de cuatro ejes, que se consigue por medio de un plato giratorio o mecanismo divisor).

De otra, permitir el giro de la pieza sobre un eje horizontal y que la herramienta pueda inclinarse alrededor de un eje, perpendicular al anterior. Las máquinas CNC de este tipo son las utilizadas para trabajos que requieren, como resultado, formas de elevada complejidad.

2.4 Máquinas CNC de cinco ejes

Es una máquina herramienta automatizada y controlada por computador, capaz de realizar múltiples operaciones en una misma pieza, utilizando herramientas rotativas de múltiples filos de corte y con la mínima intervención del hombre durante el proceso de mecanizado, incrementando la producción, flexibilidad y precisión. (Vinicio, 2011)

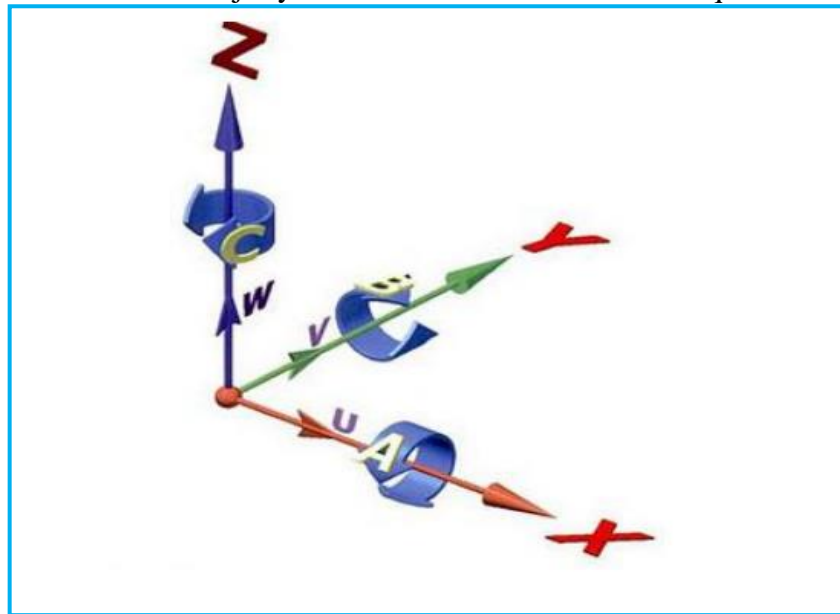
El mecanizado de cinco ejes proporciona infinitas posibilidades en cuanto a los tamaños y formas de las piezas que usted puede procesar de manera eficaz. El término "cinco ejes" se refiere al número de direcciones en las que se puede mover la herramienta de corte. En un centro de mecanizado de cinco ejes, la herramienta de corte se mueve a través de los ejes lineales X, Y y Z, y gira sobre los ejes de rotación A y B para acceder a la pieza de trabajo desde cualquier dirección. En otras palabras, usted puede procesar las cinco caras de una pieza en un solo montaje. En una máquina CNC de cinco ejes, además del movimiento relativo entre pieza y herramienta en tres ejes, se puede controlar o bien el giro de la pieza sobre dos ejes, uno perpendicular al eje de la herramienta y otro paralelo a ella; o bien el giro de la pieza sobre un eje horizontal y la inclinación de la herramienta alrededor de un eje perpendicular al anterior.

Los ejes lineales pueden desplazarse simultáneamente con los ejes rotacionales o a su vez en forma posicional, gracias a ello se obtiene resultados de mecanizados de piezas complejas, permitiendo así realizar elementos de precisión con la facilidad que representa cambiar de un modelo de pieza a otro mediante la inserción del programa correspondiente.

El equipo de control numérico se controla mediante un programa que utiliza números, letras y otros símbolos, por ejemplo, los llamados códigos G (movimientos y ciclos fijos) y M (funciones auxiliares), están codificados en un formato apropiado para definir un programa de instrucciones para el desarrollo de una tarea concreta.

Cuando la tarea en cuestión varia se cambia el programa de instrucciones. La máquina opera a velocidades de corte y avance muy superiores a las máquinas convencionales por lo que se utilizan herramientas de metal duro para disminuir la fatiga de materiales. El recorrido de los nueve ejes, movimientos principales y rotativos están sujetos a un estándar industrial, la notación utilizada para los ejes y su dirección en máquinas herramientas es como se muestra en la figura

Figura 3. Notación de los ejes y dirección de movimiento en máquinas herramientas.



Fuente: <https://goo.gl/WveHcz>

En donde: X e Y: Movimientos principales de avance en el plano de trabajo principal.

En donde: Z: Eje paralelo al eje principal de la máquina, perpendicular al plano principal X, Y.

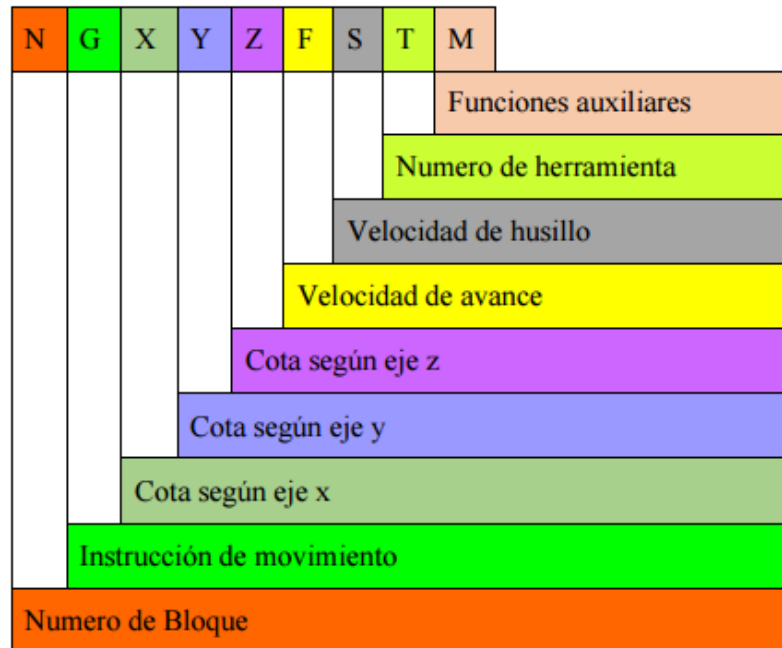
U, V, W: Ejes auxiliares paralelos a X, Y, Z respectivamente.

“A”, “B”, “C”: Ejes rotativos sobre cada uno de los ejes “X”, “Y”, “Z”

2.5 Bloque de programación.

Todos los programa deben tener un nombre o un número que los pueda identificar, en ciertos casos hay programas solo aceptan números. Los programas CNC están compuestos por bloques sucesivos y cada uno identifica una instrucción para el control.

Figura 4. Estructura de un programa CNC



Fuente: <https://goo.gl/WveHcz>

2.5.1 *Bloques condicionales.* Son ejecutados o no en función de la presencia de una señal externa al programa. Sirven por ejemplo para programar paradas para inspecciones del trabajo, cambios de herramienta, etc. Se determina la condicionalidad de un bloque agregando un punto luego del número del bloque. La señal externa normalmente es un switch en el control. Si este switch está activado, la ejecución del programa se detendrá al encontrar un bloque condicional. Si no lo está, el programa seguirá ejecutándose normalmente. (Pillajo Colcha, y otros, 2016)

2.5.2 *Funciones auxiliares o complementarias.* Las funciones auxiliares M producen distintas acciones en la máquina. Ejemplo: arrancar o detener el husillo, arrancar o detener el suministro de líquido refrigerante. Hay otras que están relacionadas con la ejecución del programa CNC: finalizarlo, resetear valores, que no pueden ser programadas junto con otras funciones porque las acciones son inmediatas encender el husillo y detenerlo al mismo tiempo, deben ir en bloques exclusivos. (Pillajo Colcha, y otros, 2016)

2.6 Softwares de diseño

2.6.1 *Softwares de diseño CAD.* Este tipo de softwares permiten el diseño de elementos a través de un ordenador de manera interactiva y muy dinámica.

Además permite ensamblar diferentes componentes para así ver las posibles interacciones entre ella, un programa de estas características nos permite realizar los planos del conjunto de la pieza de manera individual y llevarlos a producción.

Este tipo de software se usa en mecánica para el diseño de maquinaria, en el campo de electricidad se usa para el esquema de conexiones y en el campo civil se usa para el diseño de estructuras, hay otros campos en los que se usa pero estos son los más representativos. Entre los softwares de mayor uso tenemos: SolidWorks, AutoCAD, NX, entre otros.

2.7 Softwares de diseño CAM

El proceso de manufactura CAM comúnmente se refiere al uso de aplicaciones de software computacional de control numérico (NC) para crear instrucciones detalladas (G-code) que conducen las máquinas de herramientas para manufactura de partes controladas numéricamente por computadora (CNC).

Es importante tener en cuenta que el CAM solamente genera las trayectorias desde un punto de vista geométrico. Por lo que se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

Los sistemas de CAM no calculan los parámetros de mecanizado ni garantizan el correcto mecanizado de una pieza. La selección de parámetros de mecanizado se hace en base a datos de fabricantes herramientas, experiencia, bases de datos, etc.

El mecanizado de una pieza suele constar de varias operaciones. Éstas se dividen en operaciones de desbaste, semiacabado y acabado según su objetivo.

- **Desbaste.-** Se intenta maximizar la cantidad de material mecanizado y no se controlan las tolerancias ni la rugosidad.
- **Semiabado.-** Se intenta dejar la superficie lo más uniforme posible, se deja una demasía de 0.2 a 0.5 mm y no se ejecuta siempre.
- **Acabado.-** El objetivo es dejar la pieza en tolerancias y con la rugosidad superficial exigida.

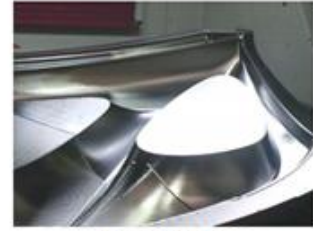
Figura 5. Operaciones del mecanizado



Desbaste



Semiacabado



Acabado

Fuente: <https://goo.gl/4DDHfa>

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE DISEÑO CAD-CAM

3.1 Softwares de diseño CAD-CAM

Los programas CAD/CAM tratan del diseño y fabricación asistida mediante un ordenador y sirven para crear, modificar, imprimir y simular la mecanización de diferentes elementos, objetos o piezas mecánicas que se caracterizan por tener propiedades individuales. En la actualidad existe una gran variedad de softwares de diseño CAD/CAM, entre los cuales se pueden mencionar: BOBCAD-CAM, Mastercam, NX, etc. Éstos son sólo algunos ejemplos pero en el mercado podemos encontrar otros muchos.

Figura 6. Softwares de diseño CAD



Fuente: Autores

A la hora de valorar cuál es el software más adecuado es conveniente estimar diferentes características tales como: la versatilidad, productividad, relación calidad-precio, etc. La versatilidad se refiere a la capacidad del software a ser paramétrico, variacional y asociativo. Mientras que en la productividad se considera el tiempo necesario invertido para realizar el diseño. Ambos criterios deben valorarse en relación al precio del producto.

3.2 Alternativas de software de Diseño CAD-CAM

La selección del software más adecuado se fundamenta en la formulación de alternativas y criterios en base a los cuales las alternativas deberán ser evaluadas.

Los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Espoch están familiarizados especialmente con tres tipos de softwares CAD-CAM que son: Mastercam, Bobcad, NX, solidwork.

Es por ello que para el análisis y selección del mejor software se considerará esos tres programas.

- **Mastercam**

Mastercam, el principal producto de CNC Software, se inició como un sistema de CAM 2D con herramientas de CAD que permiten a los maquinistas diseñar piezas virtuales en una pantalla de computadora y también guiar las máquinas-herramientas numéricas controladas por computadora (CNC) en la fabricación de piezas.

Desde entonces, Mastercam se ha convertido en el paquete CAD / CAM más utilizado en el mundo.

- **BobCAD-CAM**

BobCAD-CAM es un desarrollador de software CAD / CAM para la industria metalmecánica y de fabricación de CNC. Con base en Clearwater, FL, BobCAD-CAM tiene un personal de aproximadamente 85 empleados.

Desde su apertura en 1985, han desarrollado una reputación en la industria como tener uno de los más potentes y asequibles CAD-CAM software disponible

- **NX**

Es un conjunto integrado de aplicaciones CAD, CAM y CAE. Incluye herramientas que abarcan todos los procesos de diseño, fabricación y simulación, permitiendo integrarlo todo bajo un mismo sistema de desarrollo sólido y compatible.

Es usado sobre todo por ingenieros en la industria automotriz y en la fabricación de maquinaria para cadenas de montaje, aunque abarca otros muchos sectores.

3.3 Selección del software

Para la selección del software que mejor se adapte a nuestras necesidades se consideran las opciones con mayores prestaciones en las que tenemos

Tabla 4. Alternativas de Softwares de diseño CAD

Software	Alternativas
Mastercam	A
Bobcad cam	B
NX	C

Fuente: Autores

3.3.1 Criterios de valorización.

3.3.1.1 Funcionalidad del software. Es el conjunto de características técnicas que posee el programa y la capacidad del mismo a la hora de reducir tiempo en el diseño CAD/CAM.

3.3.1.2 Herramientas. La capacidad del software para ofrecer al usuario diferentes herramientas con el fin de facilitar la realización de una tarea específica al momento de desarrollar el diseño de un elemento.

- **Post procesadores.** Los post procesadores son programas que interpretan datos nativos/brutos de CAM y los transforman en un lenguaje que puedan leer las máquinas CNC.

3.3.2 Ponderación de los criterios de valoración. La evaluación de los criterios de valoración para cada alternativa se realiza por medio de la siguiente tabla de ponderación.

Tabla 5. Ponderación de los criterios de valoración

Estado	Deficiente	Malo	Aceptable	Bueno	Excelente
Ponderación	1	2	3	4	5

Fuente: Autores

3.3.3 Selección de la alternativa más adecuada

Tabla 6. Selección de la alternativa más adecuada.

Criterios Alternativas	Funcionalidad del Software	Herramientas	Post procesadores	PONDERACIÓN
A	4	4	4	12
B	4	4	5	13
C	5	5	5	15

Fuente: Autores

Para realizar el diseño del avión de juguete se ha seleccionado la alternativa C porque al evaluar los criterios de valoración obtuvo un peso de 15 siendo el valor más alto de la ponderación. Por lo tanto se ha determinado que el software más adecuado para el diseño CAD/CAM del avión de juguete es el NX.

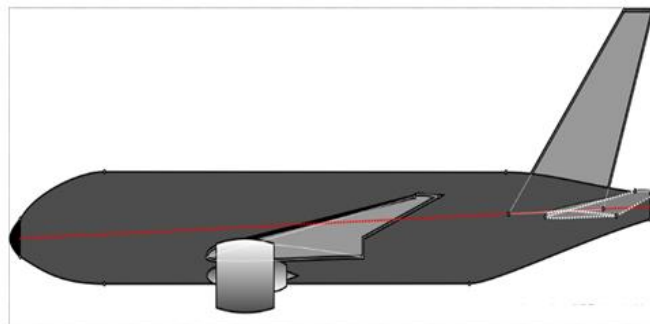
3.4 Selección del diseño del prototipo

Para poner en práctica el uso de la máquina CNC de cinco ejes se consideró un diseño que permita el uso de los cinco ejes simultáneos en el proceso de mecanizado, es decir, los ejes lineales X, Y, Z y los ejes de rotación A y B. El término "cinco ejes" se refiere al número de direcciones en las que se puede mover la herramienta de corte.

Otras características a considerar en la selección del diseño son: el mecanizado de curvas complejas, curvas internas y el acabado superficial. Estos aspectos a considerar nos permiten aprovechar al máximo el rendimiento de la máquina CNC de cinco ejes.

Por lo descrito anteriormente se va a diseñar un avión de juguete. Planos se encuentran en el anexo A

Figura 7. Diseño del avión de juguete



Fuente: Autores

En la figura se observa un prototipo del avión a escala que se diseñará y mecanizará con la ayuda de la máquina CNC de cinco ejes.

3.5 Modelación del prototipo

La base de un buen diseño es el croquis. Un croquis de SolidWorks puede encontrarse en tres estados. Cada estado viene indicado por un color distinto:

- En un croquis completamente definido, las posiciones de todas las entidades están completamente descritas utilizando cotas y/o relaciones. En un croquis completamente definido, todas las entidades son negras.
- En un croquis insuficientemente definido, es necesario determinar más cotas o relaciones para especificar la geometría por completo. En este estado, usted puede arrastrar entidades de croquis insuficientemente definidas para modificar el croquis. Una entidad de croquis insuficientemente definida es azul.
- En un croquis definido en exceso, los objetos tienen cotas y/o relaciones de carácter conflictivo. Una entidad de croquis definida en exceso es roja.

Un croquis bien definido facilitará la elaboración del sólido en 3D. La construcción del sólido es sumamente importante en el proceso de manufactura ya que de esto depende que las piezas a elaborar cuenten con un alto grado de calidad.

3.6 Selección de la máquina CNC de cinco ejes.

El mecanizado multi-eje es un proceso de mecanizado donde herramientas controladas por un ordenador de control numérico se mueven con 4 o más grados de libertad para producir piezas de metal u otros materiales por medio de fresado, corte con chorro de agua o corte con láser.

3.6.1 *Alternativas de máquinas CNC de 5 ejes.* Para la selección de la máquina solo se ha considerado tres alternativas, aunque en el mercado existe una amplia gama de máquinas CNC de cinco ejes, las alternativas que se ha seleccionado son las siguientes:

3.6.1.1 *Fresadora Gantry de 5 ejes de alta velocidad - antares*

- **Ventajas:**
 - Mecanizado de piezas tridimensionales con alta precisión geométrica.
 - Aspiración de polvo en continuo durante el proceso de mecanizado con 5 ejes en continuo.

- Sistema capaz de buscar la trayectoria directamente en el modelo, generar el programa y simularlo gráficamente para verificar el programa antes de realizar el mecanizado.
- Sistema de palpado que hace que sea posible verificar donde se encuentra la pieza exactamente en el útil de mecanizado y sus posibles desalineaciones o deformaciones para automáticamente adaptar las trayectorias de mecanizado de la pieza a la posición exacta de la pieza.
- Alta seguridad.
- **Desventajas:**
 - Alto costo de adquisición.
 - Alto costo de mantenimiento.
 - Falta de proveedores para repuestos.
 - Genera ruido y vibraciones altas.

Figura 8. Fresadora Gantry de 5 ejes de alta velocidad - antares



Fuente: www.scmgroup.com

3.6.1.2 Fresadora CNC 5 ejes / universal DMU 95 monoBLOCK®

- **Ventajas:**
 - Sistemas de medición directa (versión estándar).

- Un 50% más de dinámica, gracias a un carro con peso optimizado en X/Y y un portaherramientas en Z de GGG60.
- Elevada rigidez.
- La máxima estabilidad.
- Óptimo flujo de virutas y extracción de las virutas hacia una caja colectora.
- Alta calidad.
- Almacén de cadena para 60 herramientas.
- **Desventajas:**
 - La interfaz del usuario es demasiado compleja.
 - Alto costo de adquisición.
 - Alto costo de mantenimiento.
 - Falta de opciones o alternativas en caso de fallas
 - Genera ruido y vibraciones altas.

Figura 9. Fresadora CNC 5 ejes / universal DMU 95 monoBLOCK®



Fuente: <https://goo.gl/IUJ5uI>

3.6.1.3 *HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes.*

- **Ventajas:**
 - Bajo costo de adquisición.
 - La máquina puede ser de control manual o CNC, el control manual es principalmente para fines de ajuste de movimiento del eje de mecanizado.
 - Cuenta con una pequeña pantalla en la máquina para el control manual
 - La interfáz del usuario es sencilla. Utiliza el software Mach3.
 - Adecuado para madera, plástico, aluminio, latón y otros metales blandos.
- **Desventajas**
 - Es una máquina didáctica.
 - No posee un óptimo flujo de virutas.
 - La extracción de virutas no es hacia una caja colectora.
 - Genera alto ruido.

Figura 10. HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes.



Fuente: www.spanish.alibaba.com

Tabla 7. Alternativas de fresadoras de 5 ejes

Máquinas	ALTERNATIVAS
Fresadora Gantry de 5 ejes de alta velocidad – Antares	A
Fresadora CNC 5 ejes / universal DMU 95 monoBLOCK®	B
HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes.	C

Fuente: Autores

3.6.2 *Criterios de valorización.* Para seleccionar la máquina se va a considerar dos características principales que son: capacidad de la máquina y el costo de adquisición.

- **Capacidad de la máquina**

La capacidad de una máquina o proceso, se puede interpretar como su aptitud para producir artículos de acuerdo con las especificaciones

- **Costo de adquisición**

Es el precio total que un individuo paga por una propiedad, incluyendo todos los honorarios. Obviamente para evaluar la alternativa se dará mayor valor en la ponderación a la alternativa que tenga el menor costo.

Tabla 8. Costos de fresadoras de 5 ejes

Máquinas	COSTOS
Fresadora Gantry de 5 ejes de alta velocidad – Antares	10 000,00
Fresadora CNC 5 ejes / universal DMU 95 monoBLOCK®	7 900,00
HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes.	4 425,00

Fuente: www.spanish.alibaba.com

- **Funcionalidad**

La funcionalidad es una característica esencial. Una máquina debe estar diseñada para cumplir un propósito o una función principal y/o funciones secundarias.

3.6.3 *Selección de la alternativa más adecuada*

3.6.3.1 *Ponderación de los criterios de valoración.* La evaluación de los criterios de valoración para cada alternativa se realiza por medio de la siguiente tabla de ponderación.

Tabla 9. Forma de ponderación

Estado	Deficiente	Malo	Aceptable	Bueno	Excelente
Ponderación	1	2	3	4	5

Fuente: Autores

3.6.3.2 Ponderación de la mejor alternativa

Tabla 10. Ponderación de la mejor alternativa

Criterios Alternativas	Capacidad	Costo	Funcionalidad	Ponderación
A	5	1	5	11
B	4	3	5	12
C	3	5	5	13

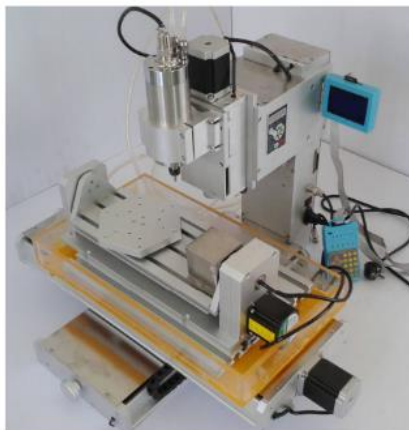
Fuente: Autores

La alternativa C tiene el mayor valor en la ponderación de las alternativas por lo tanto la máquina CNC de cinco ejes que formará parte del laboratorio CAD-CAM de la Escuela de Ingeniería Industrial es la HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes.

3.7 Parámetros de la HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes

Es una máquina muy potente y útil impulsada por motores paso a paso, puede ser utilizada como un grabador, torno, o fresadora en diferentes materiales como la madera, piedras, metales, etc.

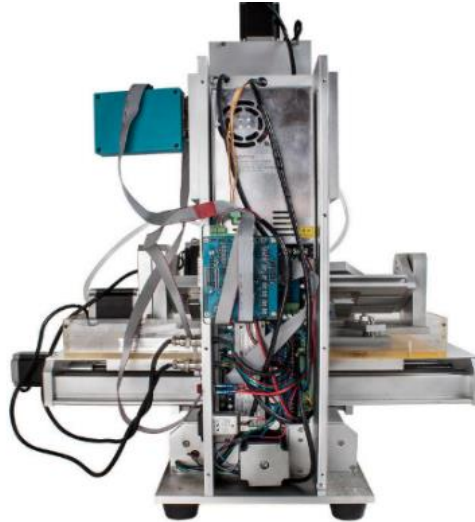
Figura 11. HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes



Fuente: www.spanish.alibaba.com

El mecanizado de cinco ejes proporciona infinitas posibilidades en cuanto a los tamaños y formas de las piezas a procesar. El término "cinco ejes" se refiere al número de direcciones en las que se puede mover la herramienta de corte.

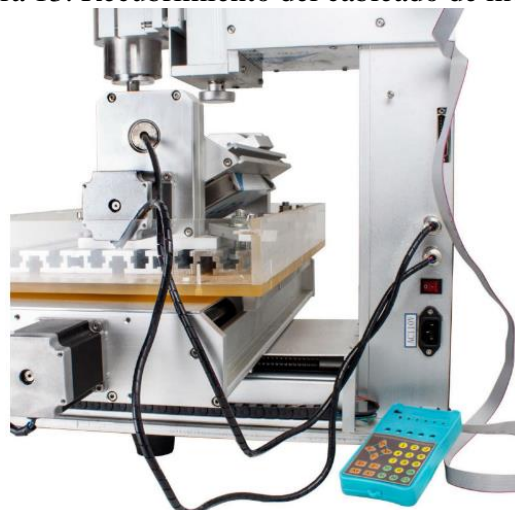
Figura 12. Parte interna de la Fresadora Router CNC 5 Ejes



Fuente: www.spanish.alibaba.com

En los sistemas eléctricos de la máquina se pone mucha atención al tendido de los cables, distanciando aquellos de potencia de los cables de control, sobre todo aquellos analógicos muy sensibles a las perturbaciones.

Figura 13. Recubrimiento del cableado de motores



Fuente: www.spanish.alibaba.com

El sistema de refrigeración por agua nos ayuda a evacuar el calor que se genera en la herramienta hasta dejarla en un valor adecuado o constante.

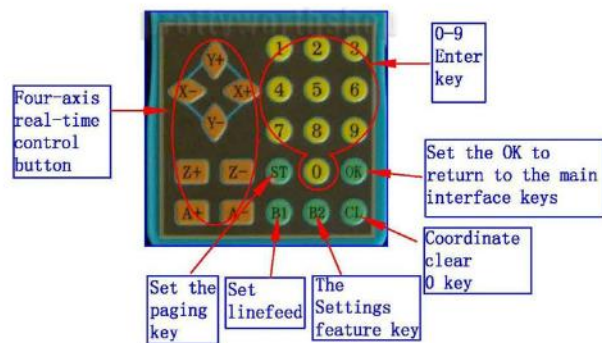
Figura 14. Sistema de refrigeración por agua



Fuente: www.spanish.alibaba.com

La máquina puede ser de control manual o control de PC hay un controlador de mano y una pequeña pantalla en la máquina para el control manual.

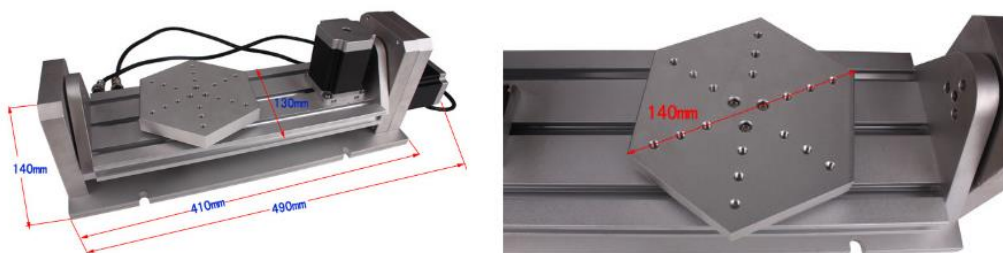
Figura 15. Control manual



Fuente: www.spanish.alibaba.com

Como se observa en la figura las dimensiones de la mesa de trabajo son mínimas, por lo que en la máquina solo se pueden mecanizar piezas pequeñas.

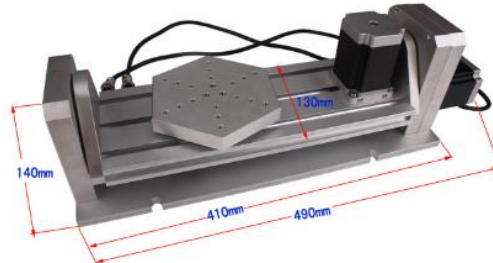
Figura 16. Mesa



Fuente: www.spanish.alibaba.com

Los ejes de rotación A y B permiten mecanizar la pieza de trabajo desde cualquier dirección.

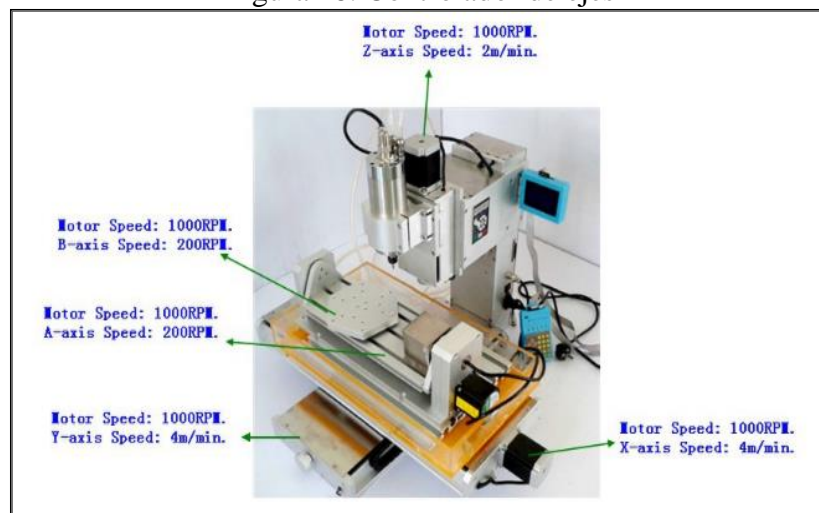
Figura 17. Ejes de rotación A y B



Fuente: www.spanish.alibaba.com

El manual de controlador es principalmente para fines de ajuste de movimiento del eje de mecanizado.

Figura 18. Controlador de ejes



Fuente: www.spanish.alibaba.com

La máquina es impulsada por motores paso a paso, los cuales son dispositivos electromecánicos que convierten una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos.

Las características principales de la máquina son:

- Chip de control inteligente del microordenador de alta velocidad integrado, puede estar equipado con un monitor LCD externo con las manos, puede seguir

simultáneamente la grabación digital de datos de la computadora y manejar el control de datos móviles.

- Puede completar automáticamente el eje XYZ o eje Z del cuchillo, sin complicados de control de operación de programas informáticos.
- Max 5A actual motor paso a paso, de ocho velocidades ajustables.
- Hasta 16 segmentos, mayor exactitud, funcionan mejor.
- Función de sobrecarga, control semiautomático de caudal, protege completamente su equipo y los periféricos.
- Constante del motor impulsor del interruptor de corriente bipolar de baja velocidad.
- Aislamiento óptico cerrado, procesamiento de señales de dos etapas, y protege plenamente sus ordenadores y dispositivos.

Las características técnicas principales de la máquina son:

Tabla 11. Características técnicas de la máquina CNC de 5 ejes

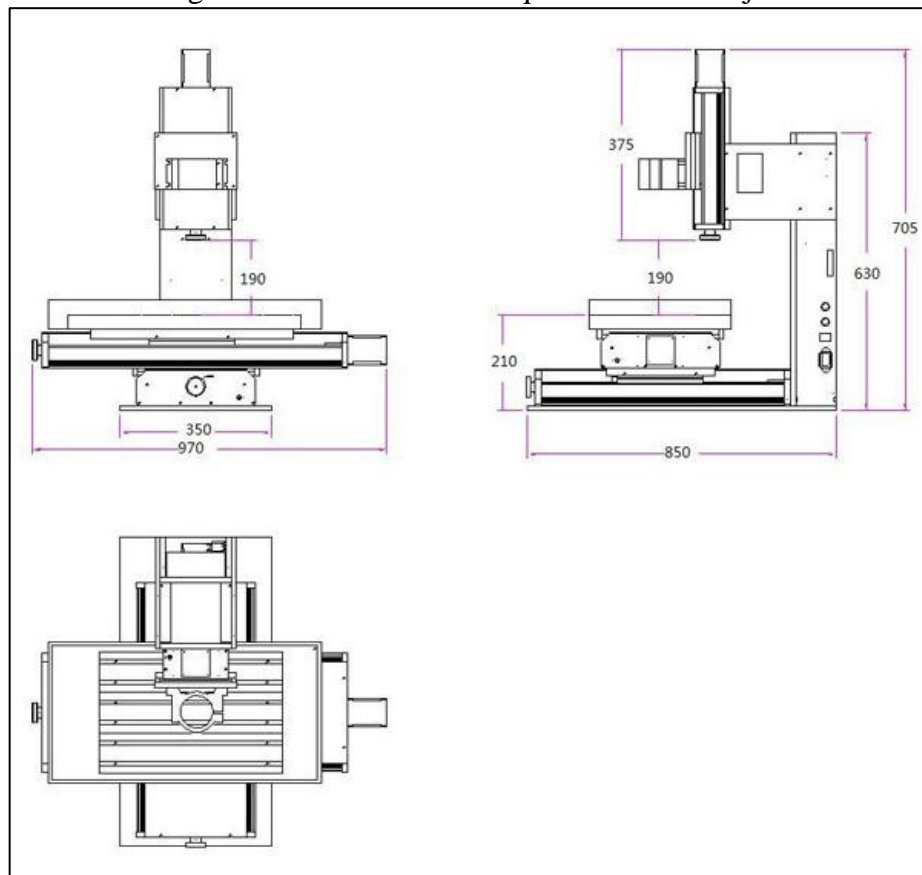
HY-6040 DIY 5 Router del CNC del eje para la venta	
Dimensión del producto	715(H)*700(L)*610(W) mm
Área de trabajo efectiva	600*400*150mm
Tornillo de bolas de precisión	1605
Material de riel XYZ	Eje de cromo duro
Diámetro del carril XY	20mm
Diámetro del carril Z	16mm
Par de torsión del eje XYZ	57*78 250 OZ/IN (2.2N/CM)
4° y 5°	57*56
4ª y 5ª relación de transmisión	1:6
Repetir la precisión de posicionamiento	0.01mm
Precisión de trabajo	0.02mm
Velocidad de procesamiento	0-4000 mm/min
Velocidad de rotación del eje B del eje A	0-180 rpm/min
Carga máxima de la tabla XY	50kg
XY + A + B tabla de ejes máxima carga	15kg
Material de puerta trasera	Acero inoxidable
Fuente de alimentación conmutada	Integrado 24V 350W
Potencia del husillo	1500W / 2200W husillo de frecuencia refrigerado por agua
Potencia de entrada	Fuente de alimentación 220V / 110V
Corriente de salida	Accionamiento 4,5A (pico 5A)
Tamaño del collar	3 / 3.175 / 6mm si la necesidad otros cambian primero en ER11
Bomba de agua de alta eficiencia	55W, 46.6L /Min
Motor principal	57 * 78 motores paso a paso (bifásico de 4 hilos)

Tabla 11. (Continua)Características técnicas de la máquina CNC de 5 ejes

Material de grabado	Metal, latón, acrílico, madera, aluminio, acero inoxidable (Dureza menor que 45 grados)
Sistema informático de apoyo	Windows XP
Cómo conectarse con la computadora	Puerto paralelo de 25 pines
Software	MACH3 3.04
Peso neto	70kg
Embalaje	Wooden box
Embalaje exterior	88*96*92 (cm)
Peso	149kg

Fuente: www.spanish.alibaba.com

Figura 19. Dimensiones máquina CNC de 5 ejes



Fuente: Autores

3.8 Comunicación del software con la máquina CNC

Para la programación de los controles la ISO ha estandarizado el lenguaje de programación para maquinaria CNC, porque el fabricante diseña un lenguaje para los controles que se denomina lenguaje conversacional y la programación como todo idioma se compone de palabras, toda palabra significa una orden que el programador da al control.

La programación de las máquinas de Control Numérico Computarizado se genera mediante un lenguaje de bajo nivel llamado G y M. Se trata de un lenguaje de programación vectorial donde se detallan operaciones simples y entidades geométricas sencillas junto con sus parámetros de maquinado.

Tabla 12. Lenguaje de Programación ISO

Función	Dirección	Formato	Significado
Número de programa	:	5	Número de programa
Número de subrutina	#	2	Número de subrutina
Número de etiqueta	L	1	Número de etiqueta
Número de secuencia	N	8	Número de secuencia
Función preparatoria	G	3	Modo del sistema (lineal, arco, etc.)
Coordinar palabra	X,Y,Z	+ 3.4	Comando de movimiento del eje X,Y,Z
	I,J,K	+ 3.4	Coordinar centro del arco.
	U,V,W	+ 3.4	Movimiento incremental en X,Y,Z
	A	+ 3.3	Movimiento angular polar
	B	+ 3.3	Movimiento incremental angular polar
	D	+ 3.4	Diámetro de la herramienta
	E	+ 3.3	Ángulo Co-latitud
	Q	3.2	Tiempo de permanencia
	R	3.4	Radio del arco
Función de avance	F	3.1	Velocidad de avance
Función de la velocidad del husillo	S	4	Velocidad del husillo
Función de la herramienta	T	2	Número de la herramienta
Parámetros	P	+ 3.4	Parámetros de ciclos fijos

Fuente: <https://tecnoedu.com/Denford/GM.php>

Por ejemplo un bloque podría estar compuesto de la siguiente manera:

N100G80X1.Y1.F10.T1M6

N__ Número de secuencia

G__ Función preparatoria

X__ Y__ Coordenadas

F__ Velocidad de avance

T__ Función de la herramienta

M__ Función auxiliar

- *Los formatos mostrados en la tabla indica:*

+ Valores con signo positivo o negativo.

3.X tres dígitos a la izquierda del decimal.

X.3 tres dígitos a la derecha del decimal.

5 cinco dígitos no decimales.

- *La descripción del formato es:* +3.4 para las direcciones, excepto A, B y E cuyo formato están 3.3. Todos los formatos mostrados tienen las entradas en pulgadas y para las entradas en milímetros todos los formatos mostrados cambian de +3.4 a +4.3.
- *Dimensiones máximas programables.* En la tabla 12 se enumera las dimensiones programables máximas de cada dirección del centro de mecanizado Bridgeport VMC 800/22.

Tabla 13. Rango de direcciones

Función	Dirección	Rango en pulgadas	Métrico
Número de programa	:	1 – 65 536	
Número de subrutina	L	1 – 9	
Número de etiqueta	N	1 – 16 000 000	
Número de secuencia	#	1 – 40	
Función preparatoria	G	1 – 199	
Coordinar palabra	X,Y,Z,I,J,K	+ 8388,607	+ 8388,607
	U,V,W,R,P,D		
	A,B,C,E	+ 8388,607	
Función de avance	F	0,1 – 250 ipm	2,0 – 6350 mmpm
Función de la velocidad del husillo	S	1 – 4200	
Función de la herramienta	T	1 – 24	
Función auxiliar	M	0 – 99	
Tiempo de permanencia	Q	0,01 – 327,68	

Fuente: <https://tecnoedu.com/Denford/GM.php>

3.8.1 *Códigos Generales o Preparatorios.* Son más conocidos como códigos G o lenguaje de programación G creados en principio para describir la geometría de la pieza de trabajo, si la pieza posee líneas rectas, arcos, etc. (CNC).

Tabla 14. Lista de Códigos de Movimiento

Código G	Función
0	Marcha rápida
1	Interpolación lineal
2	Interpolación circular en sentido horario
3	Interpolación circular en sentido anti-horario
4	Permanencia
8	Anular desaceleración modal desactivado
9	Anular desaceleración modal activado
12	Interpolación helicoidal CW
13	Interpolación helicoidal CCW
17	Selección del plano XY
18	Selección del plano XZ
19	Selección del plano YZ
22	Interpolación circular, entrada de redondeo CW
23	Interpolación circular, entrada de redondeo CCW
30	Imagen de espejo desactivado
31	Imagen de espejo en X activado
32	Imagen de espejo en Y activado
40	Compensación diámetro de la fresa desactivado
41	Compensación a izquierda de la fresa
42	Compensación a derecha de la fresa
44	Compensación de la fresa, velocidad de alimentación normal
45	Compensación de la fresa, velocidad de alimentación modificado
48	Redondeo en la esquinas en compensación de la fresa desactivado
49	Redondeo en la esquinas en compensación de la fresa activado
54	Compensación de la altura de la pieza
70	Entrada en pulgadas
71	Entrada en milímetros
72	Transformación desactivado
73	Transformación/rotación, escala
74	Entrada de círculo multi-cuadrante desactivado
75	Entrada de círculo multi-cuadrante activado
77	Ciclo de la fresa en zigzag
78	Ciclo de la fresa en pocket
79	Ciclo de la fresa en perforado
80	Ciclo de taladrado desactivado
81	Ciclo Z, taladrado (alimentar, salida rápida)
82	Ciclo Z, punto de cara (alimentar, salida rápida)
83	Ciclo Z, agujero profundo (salida rápida)
84	Ciclo Z, golpear (alimentar, alimentar a cabo)
85	Ciclo Z, agujero (alimentar, alimentar a cabo)
86	Ciclo Z, agujero (alimentar, parada-espera, alimentar a cabo)

Fuente: <https://tecnoedu.com/Denford/GM.php>

Tabla 15. Lista de Códigos de Preparatorias

Código G	Función
87	Ciclo Z, ruptura de la viruta (salida rápida)
89	Ciclo Z, agujero (alimentar, taladrar, alimentar a cabo)
90	Programación en coordenadas absolutas
91	Programación en coordenadas incrementales
92	Control de la programación del punto cero
94	Modo velocidad de avance por minuto
95	Modo velocidad por vueltas del husillo
96	Restaurar la base del programa del sistema de coordenada
97	Trabajo en conjunto del sistema de coordenadas
99	Anulación de desaceleración
170	Fresar marco exterior
171	Fresar marco interior
172	Fresar marco de bolsillo
173	Fresar cara exterior
174	Fresar cara interior
175	Fresar círculo exterior
176	Fresar círculo interior
177	Fresar círculo de bolsillo
179	Fresar ranura
180-189	Ciclo Z (similar a G81-G89) multi agujeros
191-199	Ciclo Z (similar a G81-G89) marco de agujeros

Fuente: <https://tecnoedu.com/Denford/GM.php>

Tabla 16. Encendido y Reinicio del Estado de los Códigos G

Código G	Función
0	Marcha rápida
8	Anular desaceleración modal desactivado
17	Selección del plano XY
30	Imagen de espejo desactivado
40	Compensación diámetro de la fresa desactivado
45	Compensación de la fresa, velocidad de alimentación modificado
49	Redondeo en la esquinas en compensación de la fresa activado
70/71	Entrada en pulgadas o en milímetros
72	Transformación desactivado
75	Entrada de círculo multi-cuadrante activado
90	Programación en coordenadas absolutas
94	Modo velocidad de avance por minuto
96	Restaurar la base del programa del sistema de coordenada

Fuente: <https://tecnoedu.com/Denford/GM.php>

3.8.2 Códigos misceláneos. Es una función auxiliar que se creó en principio para automatizar las funciones operativas, funciones que realizaría el operario como: prender el husillo, prender el refrigerante, prender el lubricante, realizar un cambio de herramientas, etc. donde las descripciones varían, muchos códigos requieren funciones "M" se refiere a "máquina".

Tabla 17 Códigos M

Código M	Función
M00	Parada opcional
M01	Parada opcional
M02	Reset del programa
M03	Hacer girar el husillo en sentido horario
M04	Hacer girar el husillo en sentido anti horario
M05	Frenar el husillo
M06	Cambiar de herramienta
M07	Abrir el paso del refrigerante B
M08	Abrir el paso del refrigerante A
M09	Cerrar el paso de los refrigerantes
M10	Abrir mordazas
M11	Cerrar mordazas
M13	Hacer girar el husillo en sentido horario y abrir el paso de refrigerante
M14	Hacer girar el husillo en sentido anti horario y abrir el paso de refrigerante
M30	Finalizar programa y poner el puntero de ejecución en su inicio
M31	Incrementar el contador de partes
M37	Frenar el husillo y abrir la guarda
M38	Abrir la guarda
M39	Cerrar la guarda
M40	Extender el alimentador de piezas
M41	Retraer el alimentador de piezas
M43	Avisar a la cinta transportadora que avance
M44	Avisar a la cinta transportadora que retroceda
M45	Avisar a la cinta transportadora que frene
M48	Inhabilitar Spindle y Feed override
M49	Cancelar M48
M62	Activar salida auxiliar 1
M63	Activar salida auxiliar 2
M64	Desactivar salida auxiliar 1
M65	Desactivar salida auxiliar 2

Tabla 17. (Continua) Códigos M

M66	Esperar hasta que la entrada 1 esté en ON
M67	Esperar hasta que la entrada 2 esté en ON
M70	Activar espejo en X
M76	Esperar hasta que la entrada 1 esté en OFF
M77	Esperar hasta que la entrada 2 esté en OFF
M80	Desactivar el espejo en X
M98	Llamada a subprograma
M99	Retorno de subprograma

Fuente: <http://nubr.co/OYdBfW>

Código S. Speed = velocidad de giro del husillo en rpm, si programamos S1200 el husillo girará a 1200 r.p.m.

Código T. Tool = Herramienta de trabajo, la programación del número de herramienta se hace de acuerdo con el orden operacional del mecanizado específico de una pieza, es decir, si vamos a roscar una pieza, la primera herramienta T0101 será la broca centro, la segunda herramienta T0202 será la broca, la tercera herramienta T0303 el macho de roscado, y así sucesivamente.

Los dos primeros dígitos del código T se refieren al número de posición de la herramienta en la torreta, y los dos siguientes al corrector de la compensación de la herramienta.

Código F. Feed = Alimentación o avance de mecanizado, es la velocidad con que se mueve la máquina en la operación de mecanizado mm/rev.

CAPÍTULO IV

4. MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN AVIÓN DE JUGUETE

4.1 Aplicación del software NX en el proceso de manufactura CAM para la modelación del prototipo de avión.

Para el mecanizado del avión se va a utilizar la versión NX10, que presenta parámetros mejorados y de gran versatilidad para el diseñador lo cual permite desarrollar investigación dentro del diseño mecánico.

NX CAM marca la diferencia mediante funciones clave, como sus avanzadas funcionalidades de programación, pos proceso y simulación.

Cada módulo de NX ofrece algo más que las funciones estándar que suelen incluir los paquetes CAM convencionales.

Siemens NX, es un paquete de software CAD/CAM/CAE desarrollado por la compañía Siemens PLM de bastante aplicación en el campo de la ingeniería

NX CAM proporciona una amplia variedad de funcionalidades, desde la programación sencilla de control numérico hasta el mecanizado de eje múltiple, lo que permite a los programadores de control numérico llevar a cabo muchas tareas utilizando un único sistema.

Gracias a la flexibilidad de NX CAM, se pueden realizar fácilmente trabajos muy complejos.

- **Automatización de la programación.-** El mecanizado avanzado basado en funciones constituye un valor añadido en la automatización de la programación. Con el mecanizado basado en funciones, el tiempo de programación se puede reducir hasta en un 90%.

- **Pos proceso y simulación.-** NX CAM dispone de un sistema de pos proceso totalmente integrado. Entre los varios niveles de validación del programa de control numérico se incluye la simulación controlada por códigos G, que elimina la necesidad de contar con paquetes de simulación independientes.
- **Facilidad de uso.-** Para conseguir la máxima productividad, los usuarios pueden trabajar en el sistema de forma gráfica.

Por ejemplo, seleccionar y mover el modelo en 3D de la herramienta para ajustar la trayectoria de la misma es un método rápido e intuitivo de manejar el sistema.

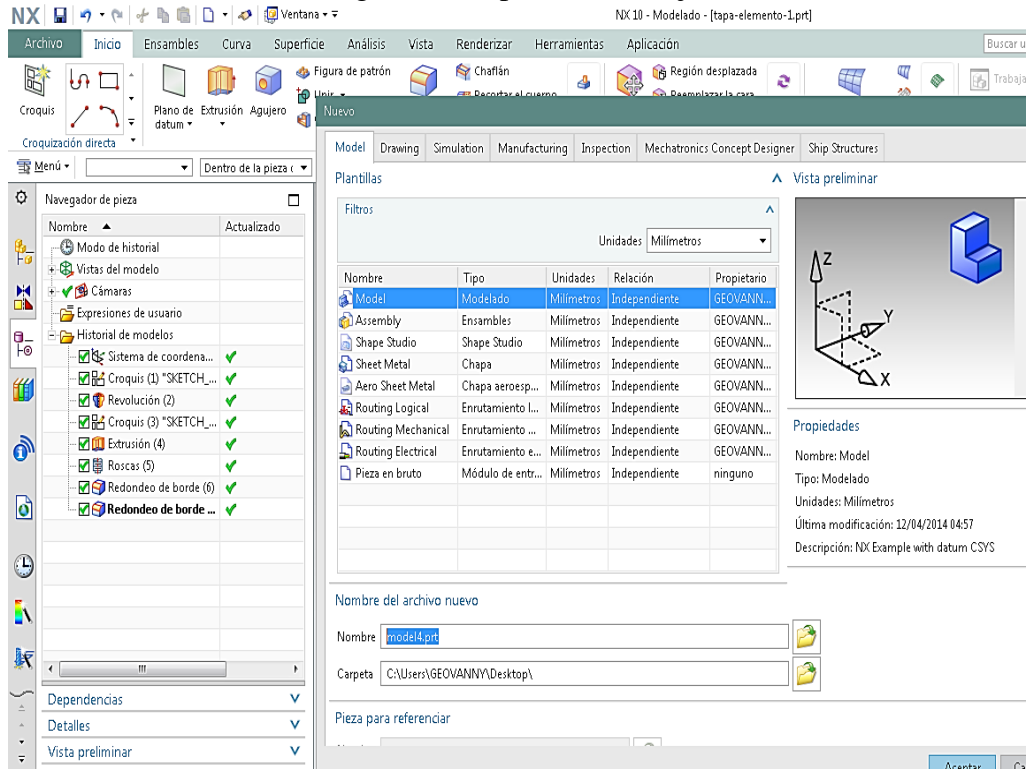
Los cuadros de diálogo utilizan gráficos con anotaciones claras para indicar qué valores es necesario introducir en el menú.

- **Solución integrada.-** NX incorpora avanzadas herramientas CAD que el programador de control numérico puede utilizar para cualquier cosa: desde modelar nuevas piezas hasta crear planos de configuración directamente a partir de los datos del modelo en 3D.
- **Fresado de eje fijo.-** NX CAM dispone de una amplia variedad de funciones de mecanizado de 2 y 3 ejes para piezas prismáticas y de forma libre, que van desde la creación y modificación manuales de trayectorias de herramientas hasta los más avanzados métodos de corte automatizados.
- **Mecanizado de alta velocidad.-** El correcto desbastado de alta velocidad de NX mantiene elevados los índices de eliminación de metal y, al mismo tiempo, gestiona las cargas de las herramientas.

Para elaborar los diseños, NX ofrece varios espacios de trabajo de los cuales se eligió trabajar en el espacio de modelado, el cual permite desarrollar croquis en 2D y transformarlos en 3D.

Por ejemplo, seleccionar y mover el modelo en 3D de la herramienta para ajustar la trayectoria de la misma es un método rápido e intuitivo de manejar el sistema.

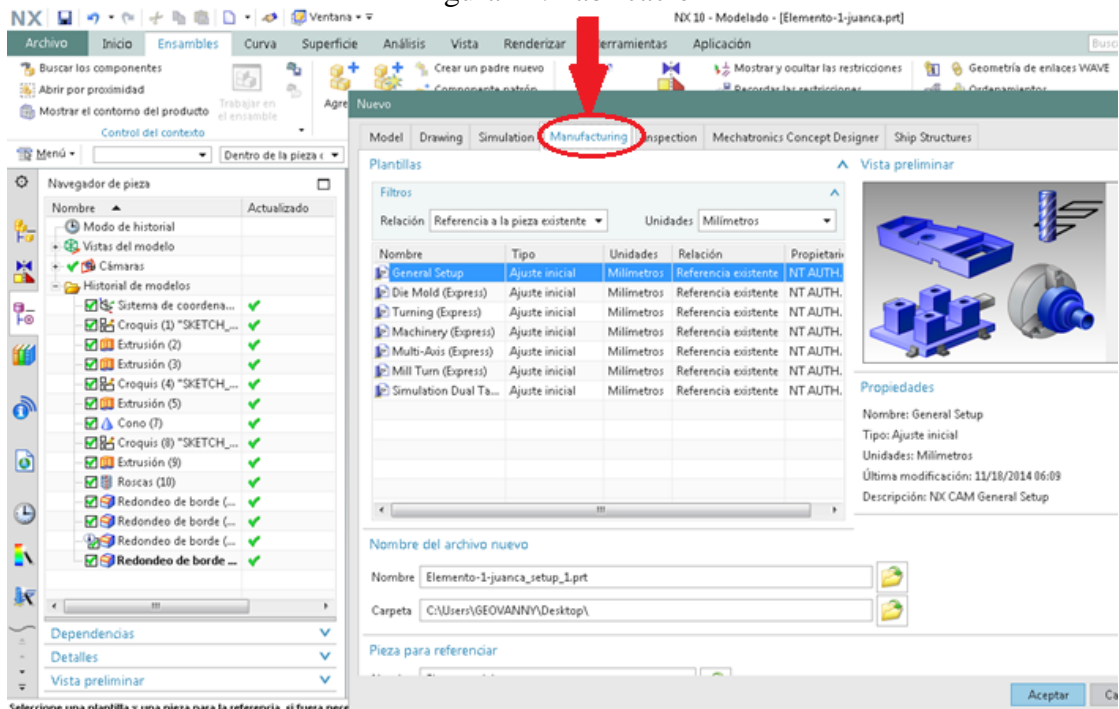
Figura 20. Espacio de trabajo



Fuente: Autor

Para llevar a cabo el proceso de manufactura en NX es necesario trasladarse al plano de trabajo de fabricación.

Figura 21. Fabricación



Fuente: Autor

NX para fabricación incorpora un completo conjunto de funciones de programación de control numérico en un solo sistema CAM, así como una serie integrada de aplicaciones de software para fabricación. Estas aplicaciones facilitan el modelado de piezas, el diseño de herramientas y la programación de inspección sobre la base de la probada tecnología NX.

4.1.1 Geometría de la pieza a mecanizar. La geometría es el lenguaje del diseño y la manufactura, por lo menos para piezas mecánicas discretas. Una pieza a ser manufacturada es primero definida en términos de su geometría y segundo en orden de otros parámetros, como tipo de material y funcionalidad.

La geometría incluye dimensiones, tolerancias, terminado de superficies, definiciones de superficies y aristas y en algunos casos, como embonan las piezas. El modelado geométrico tiene tres propósitos en CAD-CAM: **(1) representación de la pieza**, la cual exige una completa definición de la parte a ser manufacturada; **(2) diseño**, el cual permite al usuario entrar una especificación geométrica y manipularla como lo haría con una pieza de barro; y **(3) interpretación**, la cual usa la geometría para desarrollar una representación realista del objeto en un paquete graficador.

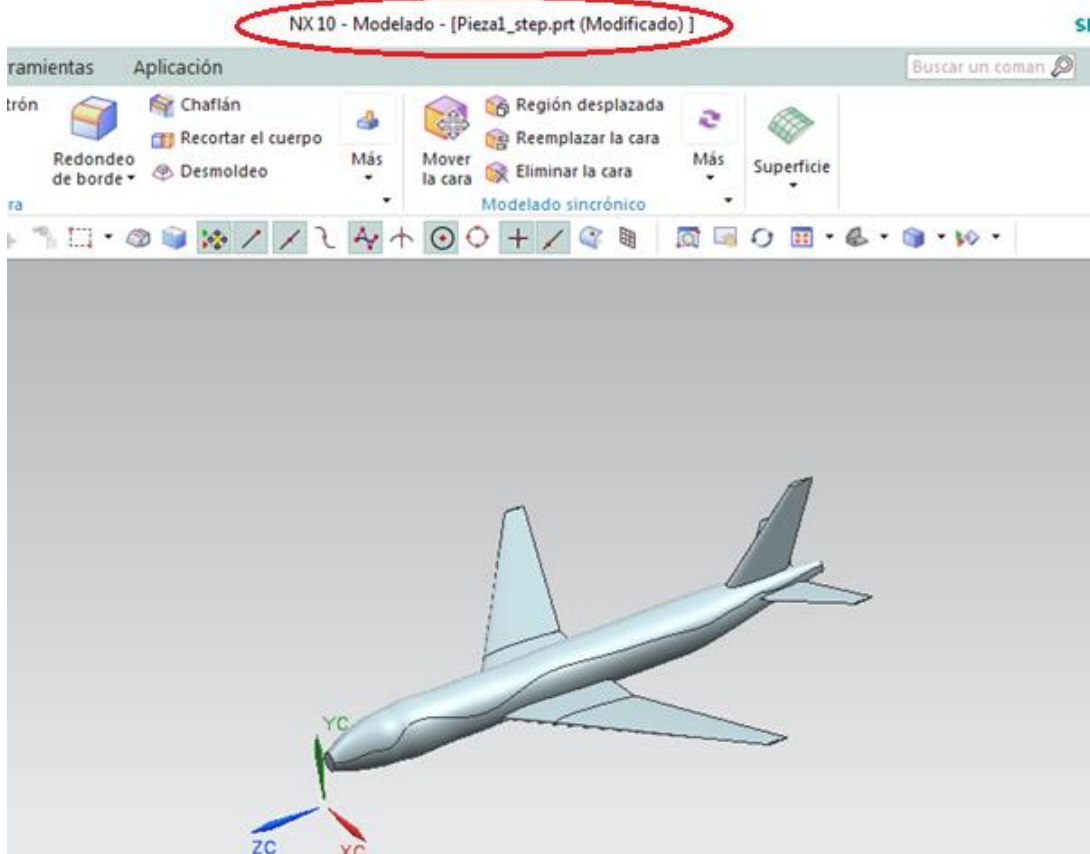
Además la geometría de la pieza es la superficie de apoyo para la generación de las trayectorias. Es por ello que se recomienda lo siguiente:

- Es necesario cuidar al máximo el correcto diseño de las superficies.
- Se debe minimizar el parcheo de la geometría después de ser importada.
- Antes de corregir defectos de superficies importadas es aconsejable comprobar las opciones del importador.

Para determinar la geometría de la pieza seguimos el siguiente proceso:

- Se traslada la pieza a mecanizar al espacio de trabajo adecuado. En este caso podemos observar que la pieza se encuentra en la opción “*modelado*”, como vamos a mecanizar trasladamos la pieza el espacio de trabajo “*fabricación*”.

Figura 22. Espacio de trabajo NX



Fuente: Autores

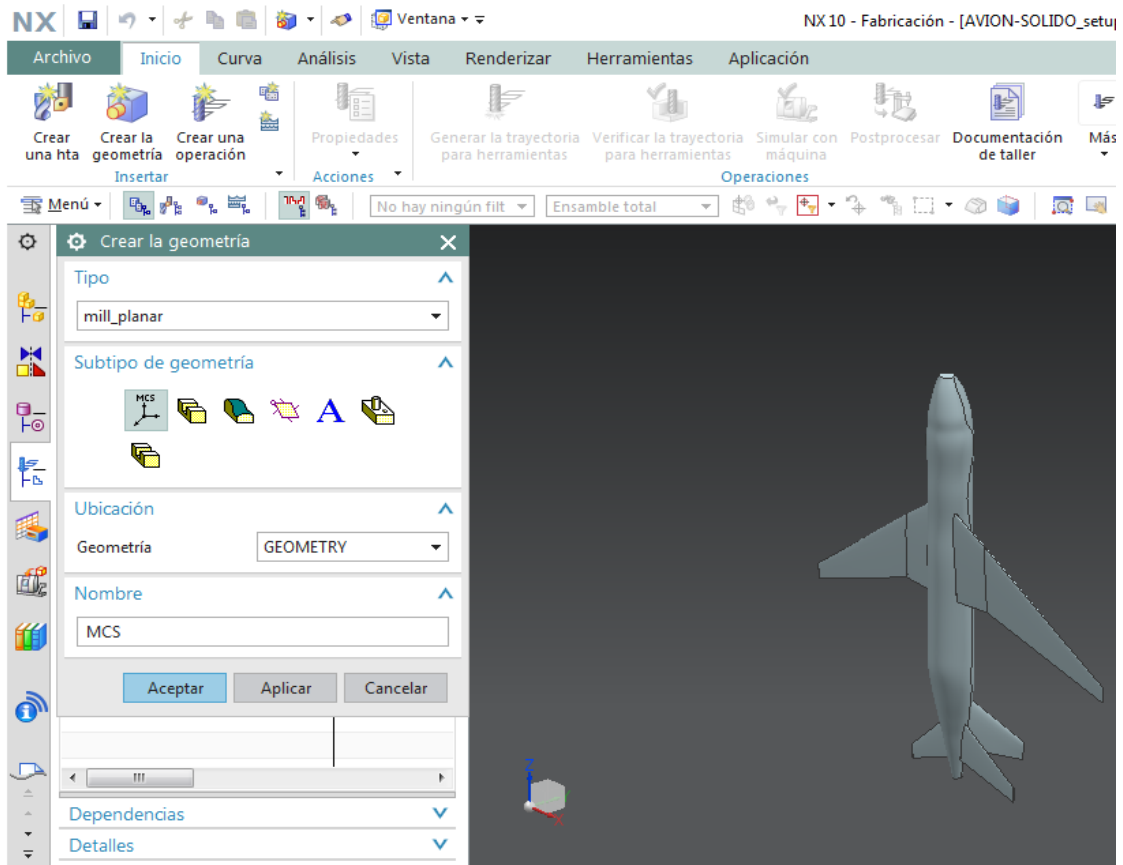
- Cuando se abre el espacio de trabajo de fabricación debemos asignar el MCS (Sistema de coordenadas de la máquina). Un sistema de coordenadas es un conjunto de valores y puntos que permiten definir la posición de cualquier punto en el espacio.

Determinar el MCS es el punto de partida para realizar el mecanizado ya que desde este punto parten todas las operaciones de corte que se programen.

Para asignar el sistema de coordenadas MSC seguimos el siguiente procedimiento:

- Inicio
- Crear geometría
- En “Tipo” elegimos la opción “mill_planar”.
- En “Subtipo de geometría” escogemos la opción MCS.
- En “Ubicación” elegimos la opción “GEOMETRY”.
- En nombre escribimos “MCS”.

Figura 23. Geometría de la pieza



Fuente: Autores

- Definir la geometría de la pieza en bruto.

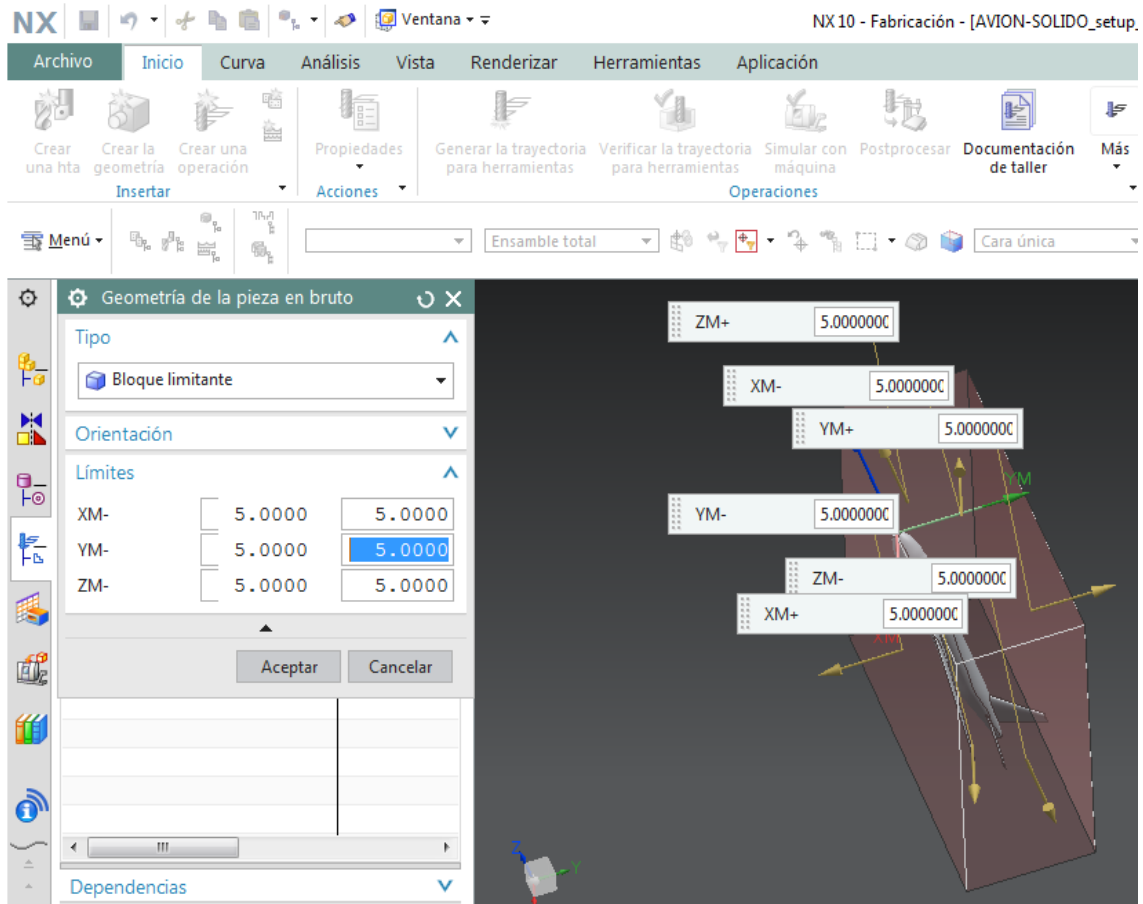
Determinada la geometría se procede a añadir la pieza en bruto, entendiéndose como pieza en bruto al material que aún no ha seguido el proceso de transformación al que va a destinarse.

En el bruto vamos a indicar las dimensiones del material a trabajar, los límites en bruto son necesarios para generar una trayectoria de la herramienta.

Es importante designar una sobredimensión en todas las caras del cubo de madera, esta sobredimensión se la considera para planeado del material y sujeción de la pieza.

El fresado de restos automatiza la eliminación del material sobrante de operaciones anteriores, además de optimizar el contacto de la herramienta con la pieza.

Figura 24. Sobredimensión



Fuente: Autores

- Definir el material de la pieza.

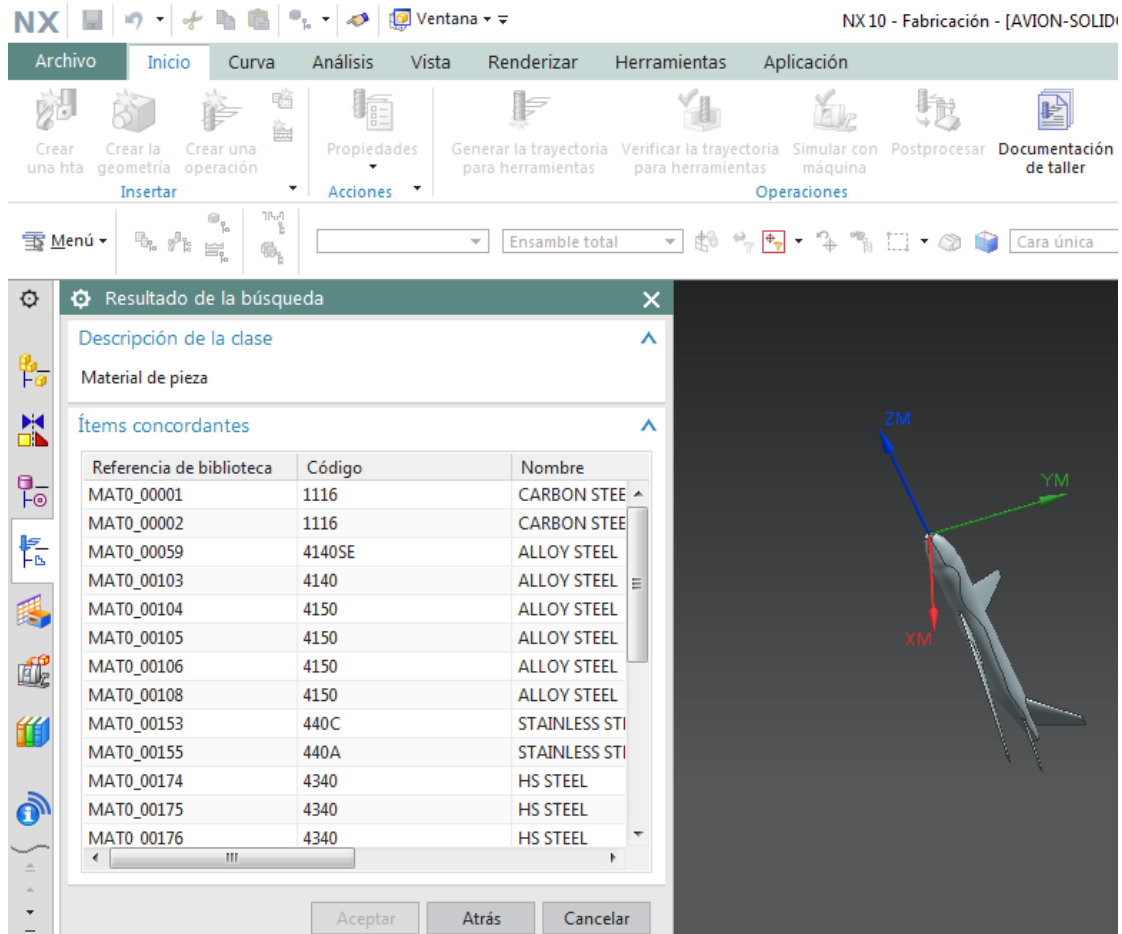
Una gran ventaja del software es que nos permite asignar el tipo de material que se va a mecanizar, esto me garantiza avances de corte perfectos evitando de cierto modo que los filos de corte de las herramientas no pierdan su filo.

NX presenta una gama extensa de los materiales existentes para la fabricación de elementos mecánicos, es necesario asignar a nuestro modelo uno de ellos que dentro del proceso de modelación ayuda con la obtención de los parámetros de mecanizado.

El correcto desbastado de alta velocidad de NX mantiene elevados los índices de eliminación de metal y, al mismo tiempo, gestiona las cargas de las herramientas.

El fresado de restos automatiza la eliminación del material sobrante de operaciones anteriores, además de optimizar el contacto de la herramienta con la pieza.

Figura 25. Asignación de material



Fuente: Autores

Para la fabricación del avión de juguete el material que se utilizará es un bloque de madera.

Este material es blando y ofrece buena maquinabilidad además es el adecuado de acuerdo a la capacidad de la máquina, cabe recalcar que la máquina que va a mecanizar no posee una alta capacidad ya que solo es didáctica.

4.1.2 Selección de máquina y pos procesador. EL mecanizado se va a realizar en una máquina CNC de cinco ejes, por lo tanto indicamos a NX el tipo máquina herramienta a utilizar. El programa nos brinda diferentes opciones como configurar, agregar operaciones de mecanizado basado en funciones, así como la forma de seleccionarlas.

Todo es lo hace mediante un editor que identifica los diferentes pos procesadores que existen en el mercado y si en el caso de no encontrar el pos procesador que requerimos, podemos descargarlo de la página de siemens.

Figura 26. Selección de la máquina y post procesador

Resultado de la búsqueda

Descripción de la clase
FRESA

Ítems concordantes

libref	Descripción	Control	Fabricante	rigidity
sim01_mill_3ax_fanuc_mm	3-Ax Mill Vertical	Fanuc	Example	1
sim01_mill_3ax_tnc_mm	3-Ax Mill Vertical	HeidenhainTNC	Example	1
sim01_mill_3ax_sinumeri...	3-Ax Mill Vertical	Sinumerk	Example	1
sim02_mill_3ax_fanuc_mm	3-Ax Mill Horizontal	Fanuc	Example	1
sim02_mill_3ax_tnc_mm	3-Ax Mill Horizontal	HeidenhainTNC	Example	1
sim02_mill_3ax_sinumeri...	3-Ax Mill Horizontal	Sinumerk	Example	1
sim03_mill_4ax_fanuc_mm	4-Ax Mill Horizontal B-Ta...	Fanuc	Example	1
sim03_mill_4ax_tnc_mm	4-Ax Mill Horizontal B-Ta...	HeidenhainTNC	Example	1
sim03_mill_4ax_sinumeri...	4-Ax Mill Horizontal B-Ta...	Sinumerk	Example	1
sim04_mill_4ax_fanuc_mm	4-Ax Mill Vertical A-Table	Fanuc	Example	1
sim04_mill_4ax_tnc_mm	4-Ax Mill Vertical A-Table	HeidenhainTNC	Example	1
sim04_mill_4ax_sinumeri...	4-Ax Mill Vertical A-Table	Sinumerk	Example	1
sim05_mill_5ax_fanuc_mm	5-Ax Mill Gantry AC-Head	Fanuc	Example	1
sim05_mill_5ax_tnc_mm	5-Ax Mill Gantry AC-Head	HeidenhainTNC	Example	1
sim05_mill_5ax_sinumeri...	5-Ax Mill Gantry AC-Head	Sinumerk	Example	1
sim05_mill_5ax_okuma...	5-Ax Mill Gantry AC-Head	okuma	Example	1
sim06_mill_5ax_fanuc_mm	5-Ax Mill Vertical BC-Tab...	Fanuc	Example	1

Aceptar Atrás Cancelar

Fuente: Autores

4.1.3 Creación de herramientas en el software. En el proceso de manufactura es necesario contar con un listado de las herramientas que se utilizó en el mecanizado, estas herramientas deben contar con las mismas características que las reales.

El software nos ayuda con una con la creación de todo tipo mediante la opción de crear herramienta.

No es necesario definir la geometría interna de los filos de una herramienta: número de filos, ángulo de desprendimiento, hélice, etc.

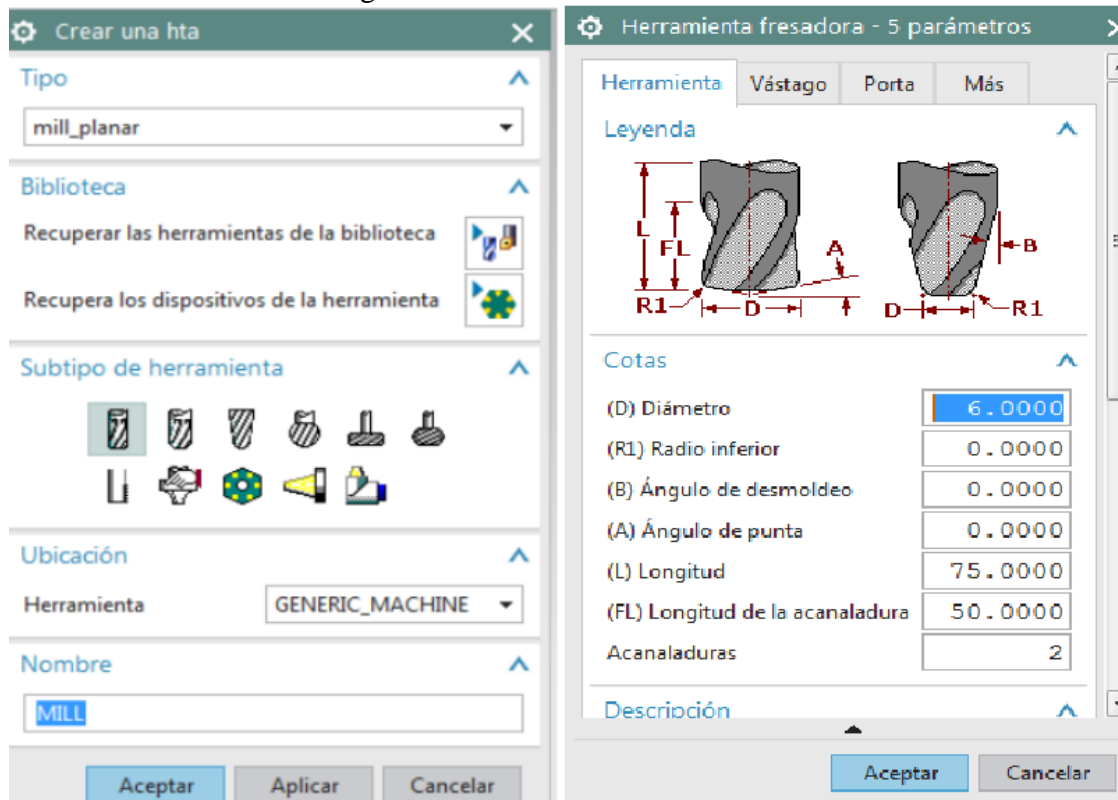
Hay algunos datos: material de herramienta, número de filos, etc. que solo se emplean a modo de base de datos.

La identificación de cada herramienta debe ser la misma en el CAM y en la máquina.

Para crear un modelo de herramientas debemos de seleccionar la orden “insertar herramienta”. La plantilla correcta para la definición del proceso de mecanizado, la encontraremos seleccionando el subtipo de operación adecuada de herramienta dentro de la definición de tipos.

La primera pestaña herramientas, sirve para la definición de la herramienta propiamente dicha. El segundo campo contiene los parámetros numéricos de definición de herramienta: diámetro, longitud, radio, longitud y número de filos de corte de la herramienta, etc.

Figura 27. Crear herramienta en NX



Fuente: Autores

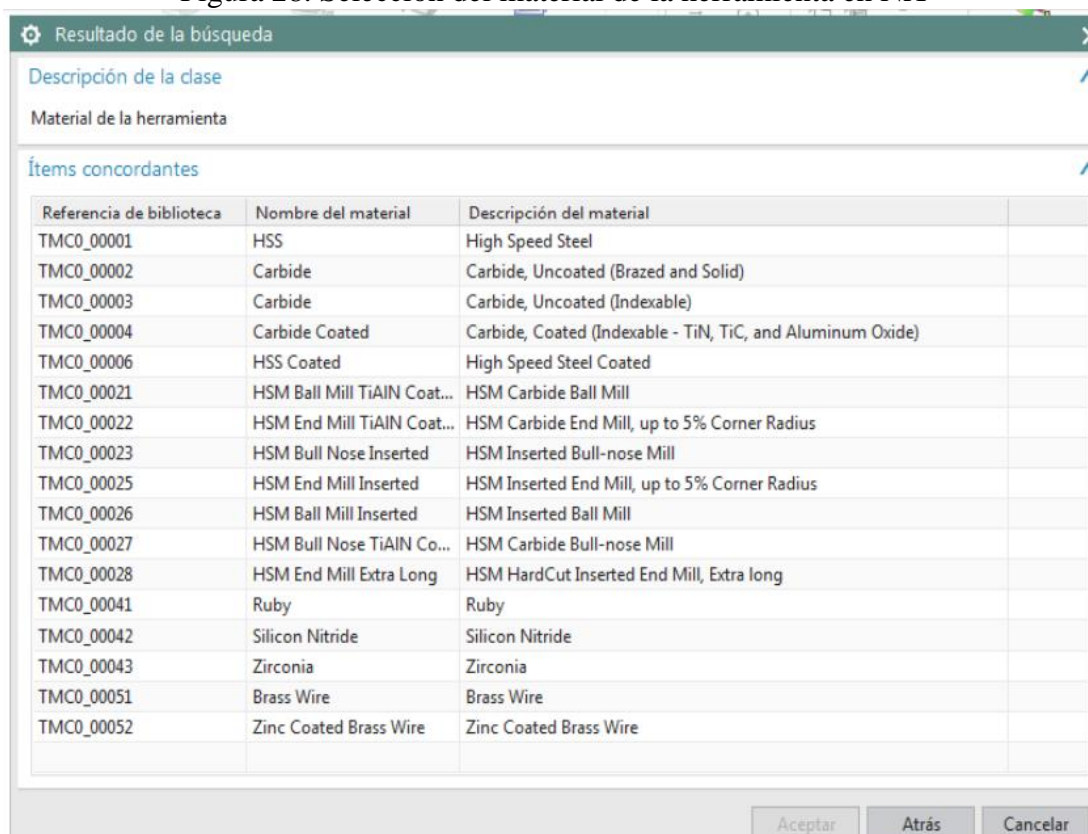
Las dimensiones de las herramientas deben estar muy bien especificadas para que el programa genere las debidas compensaciones para el simulado del proceso.

Una vez ingresados los valores, asignamos el tipo de material para nuestra fresa que dependerá del material en el cual se mecanice el soporte.

Como se puede observar en la figura el software permite modificar la herramienta acorde a las necesidades del operario y del tipo de trabajo a utilizarse.

4.1.3.1 Selección del material de la herramienta. Por las especificaciones anteriores nuestras herramientas son de acero rápido.

Figura 28. Selección del material de la herramienta en NX



Fuente: Autores

4.1.4 *Crear operaciones.* Con la geometría de la pieza definida y las herramientas creadas y listas para su uso se procede a realizar las operaciones de corte.

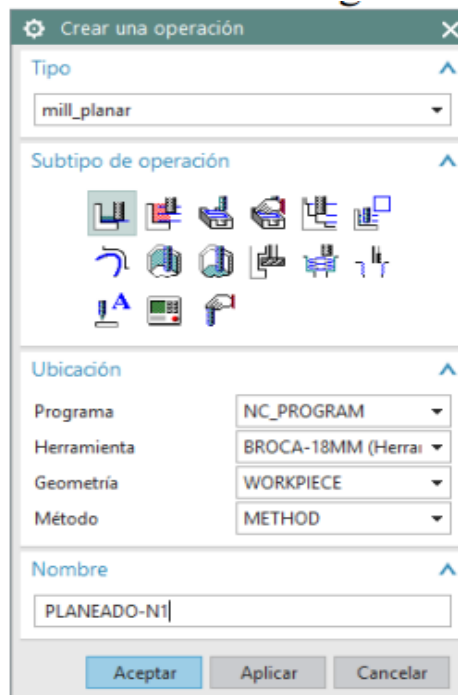
NX CAM dispone de una amplia variedad de funciones de mecanizado para piezas prismáticas y de forma libre, que van desde la creación y modificación manuales de trayectorias de herramientas hasta los más avanzados métodos de corte automatizados.

- Los métodos de desbastado optimizados maximizan el índice de eliminación de material sin sobrecargar la herramienta.
- El fresado de restos, totalmente automatizado, elimina el material no cortado de operaciones anteriores y el corte en vacío.
- Amplia variedad de técnicas para un acabado de excelente calidad.
- La detección automática de colisiones garantiza el mecanizado seguro de las geometrías más complejas.

Para crear una operación existen diferentes tipos entre ellas tenemos devastado, acabado, fresado de forma, planeado, fresado de cavidades, etc.

En la ventana del software NX, hacemos clic en la opción “crear operación”, se nos despliega una nueva ventana donde elegimos el tipo de operación, el tipo de suboperación, el tipo de herramienta que anteriormente creamos en la fase de crear herramientas, y damos un nombre a la operación que se está ejecutando.

Figura 29. Crear una operación en NX



Fuente: Autores

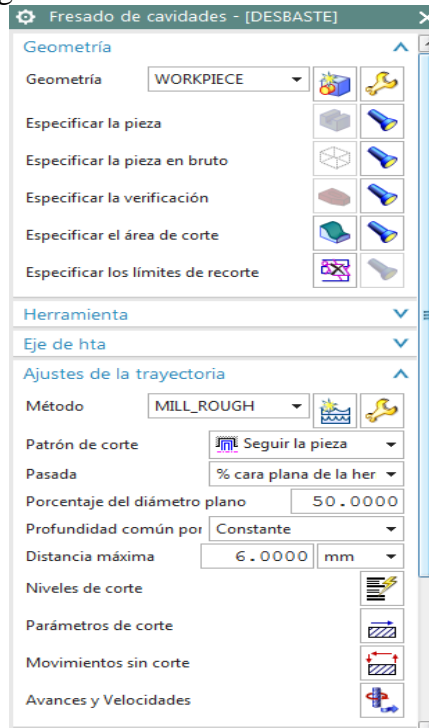
Dependiendo de la complejidad del diseño se procede a seleccionar el tipo de operación acorde a las necesidades se seleccionan los ejes de trabajo.

Para el mecanizado del avión seleccionamos la operación fresado de cavidades, a continuación se abrirá un cuadro de diálogo. En ese cuadro se indica las partes a mecanizar del diseño y se anotan ciertos valores de suma importancia como el método de trabajo de la herramienta, también se ubican los parámetros de corte.

La operación fresado de cavidades desbasta una forma contorneada al quitar el material en los niveles de corte planos normales a un eje de herramienta fija. Se deben definir la geometría de la pieza y la geometría de la pieza en bruto.

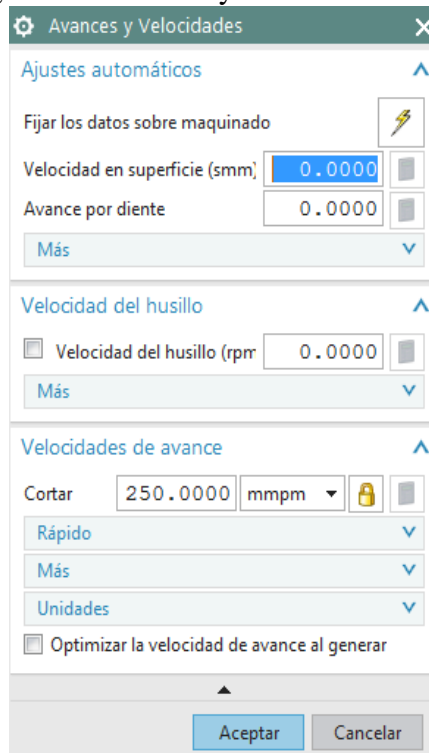
Esta operación se recomienda para quitar volúmenes grandes de materiales en cavidades de molde y núcleos, troquele, fundiciones y forjados.

Figura 30. Fresado de cavidades en NX



Fuente: Autores

Figura 31. Avances y velocidades en NX

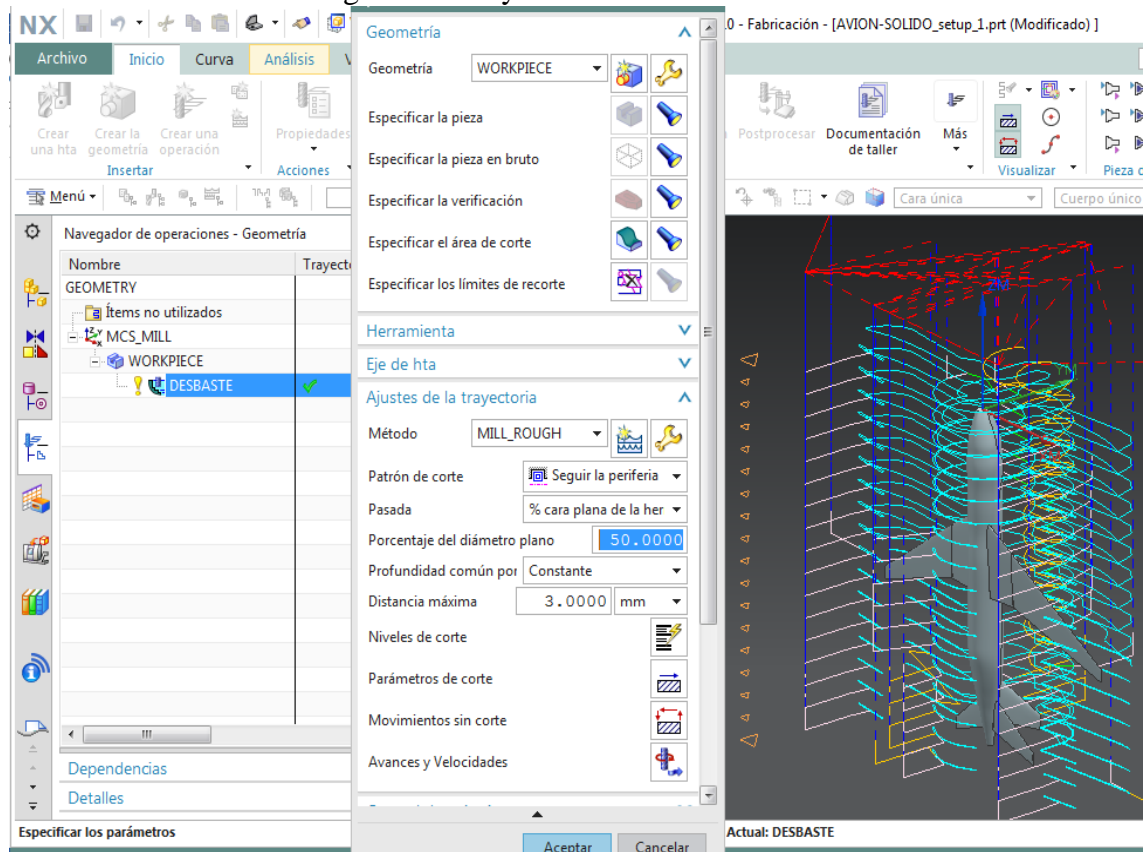


Fuente: Autores

Como podemos ver en la figura, en el cuadro de diálogo se ubican los parámetros de corte para el mecanizado del avión calculados previamente.

4.1.5 Trayectoria de la herramienta. Ubicado los requisitos necesarios, a continuación generamos la trayectoria de la herramienta. Hay diferentes opciones en las que la herramienta puede desplazarse.

Figura 32. Trayectoria de la herramienta

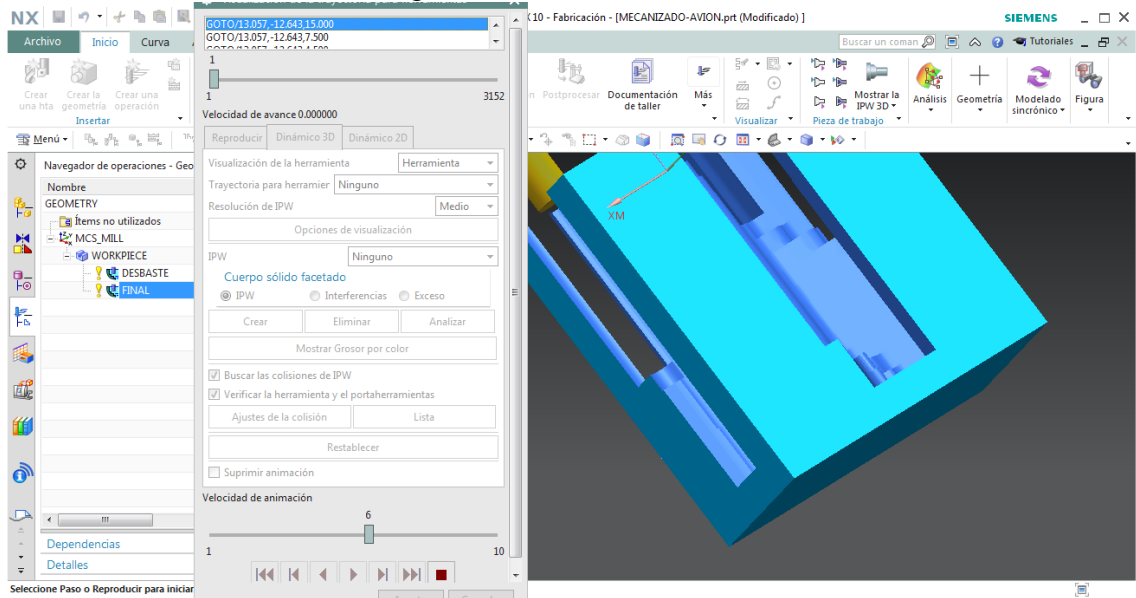


Fuente: Autores

Como se aprecia en la figura, las líneas con color verde indican el corte de la herramienta y las líneas con color rojo indican movimientos de la fresa sin realizar ningún corte es decir son movimientos en vacío.

4.1.6 Simulación. Cuando ya se ha generado las trayectorias de la herramienta se procede a realizar la simulación de las operaciones creadas que me permite observar el comportamiento de la herramienta para evitar colisiones, es preferible que se produzcan colisiones en la simulación a que se produzcan en la máquina, aquí se evidencia la importancia de la simulación de todo el proceso de manufactura.

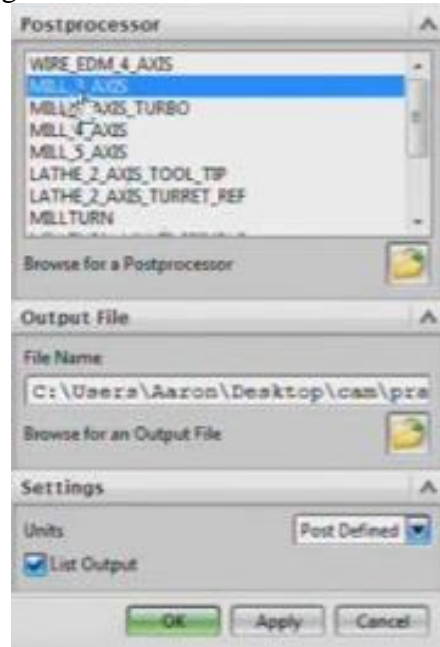
Figura 33. Simulación en NX



Fuente: Autores

4.1.7 *Generar códigos G.* Para generar los códigos G se procede a dar clic derecho en la pestaña del diseño y se selecciona post process (proceso posterior), y emerge una pestaña en la cual indica las cantidad de ejes a mecanizar y se selecciona 5 ejes.

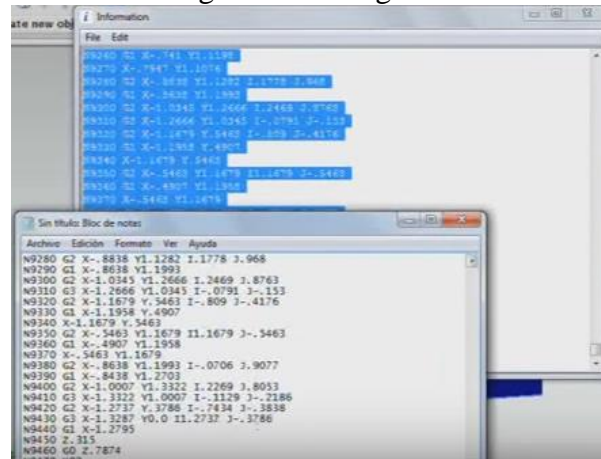
Figura 34. Selección del número de ejes



Fuente: Autores

Se genera el cuadro de códigos G, los cuales son copiados a un bloc de notas para poder cambiar su extensión y sea compatible con el software de la maquina el cual es “.ND”

Figura 35. Godigos G



Fuente: Autores

Los códigos G para el mecanizado se encuentran en el anexo B.

4.2 Parámetros de mecanizado

4.2.1 Herramienta de corte. El mecanizado es un proceso de manufactura a través del cual se da a una pieza la forma y dimensiones deseadas, para ello se utiliza una herramienta de corte que remueve el material en forma de viruta.

La herramienta de corte denominada fresa es el elemento utilizado para extraer material de una pieza cuando se quiere llevar a cabo un proceso de mecanizado. Cubren una diversa gama de materiales, desde metales hasta madera y plásticos.

Existe una multitud de fresas para una operación específica de fresado y para un trabajo determinado, entre ellas tenemos: fresas planas o cilíndricas, fresas circulares, fresas de plato, fresas madres, etc.

Al seleccionar el material de la herramienta de corte se debe tomar en cuenta algunas propiedades importantes:

- **Tenacidad:** debe tener una alta tenacidad para evitar las fallas por fractura.
- **Dureza en caliente:** Es la capacidad del material para retener su dureza a altas temperaturas.

- **Resistencia al desgaste:** Todos los materiales para herramientas deben ser duros. Sin embargo, la resistencia al desgaste depende también de otras características del material como el acabado superficial, composición química y el uso de un fluido para corte.

Los materiales que ofrecen una buena combinación de esas propiedades son:

- Aceros al carbono de baja aleación
- Aceros de alta velocidad (HSS)
- Fundición de aleaciones de cobalto
- Carburos cementados, cermets y carburos recubiertos
- Cerámicos
- Diamantes sintéticos y nitruro de boro cúbico.

Para seleccionar la herramienta de corte que vamos a utilizar en el mecanizado se ha considerado los siguientes aspectos: diámetro exterior, el número de dientes, el sistema de fijación de la fresa en la máquina, las operaciones de fresado y el material de la herramienta.

Tomando en cuenta todos esos criterios se ha determinado que la herramienta de corte que vamos a utilizar es una Fresa Plana HSS de $\text{Ø}10$ mm y número de dientes 4.

Figura 36. Herramienta de Corte



Fuente: Autores

4.2.2 *Velocidad de corte (V_c).* Es la velocidad de la herramienta con que se afronta al material, este factor es de mayor importancia porque afecta la eficiencia de mecanización.

Debido a que las características de los materiales varían en su estructura, maquinabilidad y dureza, se utilizan diferentes velocidades de corte considerando algunos factores de mayor importancia que son:

- La rigidez de la máquina y el montaje de la pieza.
- El diámetro de la fresa.
- El acabado superficial que se necesita.
- El material de la fresa.
- La profundidad de corte seleccionada.
- El tipo de material del trabajo. (KRAR, y otros, 2002)

Tabla 18. Velocidades de corte de la máquina fresadora

Material	Fresa de acero de alta velocidad (HSS)		Fresa de carburo	
	pie/min	m/min	pie/min	m/min
Acero Aleado	40-70	12-20	150-250	45-75
Aluminio	500-1000	150-300	1000-2000	300-600
Bronce	65-120	20-35	200-400	60-120
Hierro Fundido	50-80	15-25	125-200	40-60
Acero de Maquinado Libre	100-150	30-45	400-600	120-180
Acero para Maquinaria	70-100	21-30	150-250	45-75
Acero Inoxidable	30-80	10-25	100-300	30-90
Acero para Herramienta	60-70	18-20	125-200	40-60

Fuente: (KRAR, y otros, 2002)

De la tabla 18 podemos obtener la velocidad de corte de la máquina para una herramienta HSS y el material a mecanizar es aluminio, obteniendo el resultado de 150 a 300 m/min.

La fórmula para la velocidad de corte de la fresa es la siguiente:

$$N = \frac{V_c \times 1000}{\pi \cdot \emptyset} \quad (1)$$

N = Velocidad de giro de la fresa [rpm].

V_c = Velocidad de corte [m/min].

∅ = Diámetro de la fresa [mm].

4.2.3 Cálculo la velocidad de corte para una fresa plana HSS de Ø 6 mm

Figura 37. Fresa plana HSS de Ø6 mm



Fuente: Autores

Datos:

$V_c = 225 \text{ m/min}$ (por seguridad escogimos el valor medio de la tabla 6)

$\varnothing = 10 \text{ mm}$

$$N = \frac{V_c \times 1000}{\pi \cdot \varnothing}$$
$$N = \frac{225 \times 1000}{\pi \cdot 10}$$
$$N = 7162 \text{ rpm}$$

4.2.4 Avance. Es la velocidad que se mueve la pieza hacia la fresa giratoria y puede definirse como la distancia por minuto, porque es independiente a la velocidad del husillo. La velocidad de avance depende de una variedad de factores que influyen al momento de realizar el proceso de fresado y estos son:

- La potencia y rigidez de la máquina.
- El material de la pieza de trabajo.
- El diseño o tipo de fresa.
- La resistencia de la pieza de trabajo.
- La uniformidad de la pieza de trabajo
- El afilado de la fresa.
- La profundidad y ancho del corte.
- El tipo de acabado y precisión necesarios.

Tabla 19. Avance por diente recomendado (fresas de alta velocidad)

Material	Fresas de careado o refrentar		Fresas helicoidales		Fresas de ranurado y de corte lateral		Fresas frontales		Cortadores de formado de relieve		Sierras circulares	
	pulg	mm	pulg	Mm	Pulg	Mm	pulg	mm	pulg	Mm	pulg	mm
Acero Aleado	.006	0,15	.005	0,12	.004	0,10	.003	0,07	.002	0,05	.002	0,05
Aluminio	.022	0,55	.018	0,45	.013	0,33	.011	0,28	.007	0,18	.005	0,13
Latón y Bronce (medio)	.014	0,35	.011	0,28	.008	0,20	.007	0,18	.004	0,10	.003	0,08
Hierro Fundido (medio)	.013	0,33	.010	0,25	.007	0,18	.007	0,18	.004	0,10	.003	0,08
Acero de maquinado libre	.012	0,30	.010	0,25	.007	0,17	.006	0,15	.004	0,10	.003	0,07
Acero para maquinaria	.012	0,30	.010	0,25	.007	0,18	.006	0,15	.004	0,10	.003	0,08
Acero inoxidable	.006	0,15	.005	0,13	.004	0,10	.003	0,08	.002	0,05	.002	0,05
Acero para herramienta (medio)	.010	0,25	.008	0,20	.006	0,15	.005	0,13	.003	0,08	.003	0,08

Fuente: (KRAR, y otros, 2002)

Tabla 20. Avance recomendado por diente (fresas de carburo cementado)

Avance recomendado por diente (fresas de carburo cementado)												
Material	Fresas de refrentar		Fresas helicoidales		Fresas de ranurado y de corte lateral		Fresas frontales		Cortadores de formado de relieves		Sierras circulares	
	pulg	mm	Pulg	Mm	Pulg	mm	Pulg	mm	pulg	Mm	pulg	mm
Aluminio	.020	0,50	.016	0,40	.012	0,30	.010	0,25	.006	0,15	.005	0,13
Latón y bronce (medio)	.012	0,30	.010	0,25	.007	0,18	.006	0,15	.004	0,10	.003	0,08
Hierro fundido (medio)	.016	0,40	.013	0,33	.010	0,25	.008	0,20	.005	0,13	.004	0,10
Acero para maquinaria	.016	0,40	.013	0,33	.009	0,23	.008	0,20	.005	0,13	.004	0,10
Acero inoxidable	.010	0,25	.008	0,20	.006	0,15	.005	0,13	.003	0,08	.003	0,08
Acero para herramienta (medio)	.014	0,35	.011	0,28	.008	0,20	.007	0,18	.004	0,10	.004	0,10

Fuente: (KRAR, y otros, 2002)

La fórmula para el cálculo de la velocidad de avance es:

$$Avance = f \times a \times N \quad (2)$$

f = Número de dientes de la fresa.

a = Viruta o avance por diente [mm].

N = Velocidad de giro de la fresa [rpm].

4.2.5 Cálculo del avance para una fresa plana HSS de Ø6 mm

Figura 38. Fresa Plana HSS de Ø6 mm y número de dientes 4



Fuente: Autores

Datos:

$N = 7162 \text{ rpm}$ (valor encontrado anteriormente)

$f = 4$

$a = 0,28 \text{ mm}$ (obtenida de la tabla 7)

$$\text{Avance} = f \times a \times N = 4 \times 0,28 \times 7162$$

$$\text{Avance} = 8021 \text{ mm/min}$$

CÁPITULO V

5. FABRICACIÓN DEL AVIÓN DE JUGUETE

5.1.1 *Selección del material para el avión de juguete.* Generalmente los materiales para el mecanizado se dividen en dos grupos, metales y no metales. La mayoría de los materiales son metálicos pero actualmente existe un aumento en el mecanizado de materiales no metálicos. A continuación se presenta una tabla de materiales utilizados para la mecanización.

Tabla 21. Materiales utilizados en la mecanización.

Metales	No metales
Hierro Acero Fundición gris/fundición dúctil Aluminio Cobre Bronce	Madera Resinas Grafito Plásticos reforzados

Fuente: Autores

Para la selección del material se ha considerado particularmente dos propiedades, la maquinabilidad y la dureza. Entendiéndose a la maquinabilidad como la facilidad con la que el material puede ser mecanizado por arranque de viruta y la dureza como la oposición que ofrece a alteraciones como la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, las deformaciones permanentes, entre otras.

Además de las propiedades del material se ha tomado en cuenta la capacidad de la máquina que va a realizar la manufactura.

Considerando estos aspectos se ha determinado que el material a mecanizar debe ser un no metálico, específicamente la madera. Debido a los siguientes motivos:

- La madera posee una alta maquinabilidad.
- La madera es un material blando esto significa que no tiene mucha dureza. Por lo fácilmente se la puede cortar, moldear o hacer cambios en su forma.

- La máquina que va realizar la manufactura no posee gran capacidad ya que es una máquina de cinco ejes didáctica.
- Fácil adquisición a un costo bajo.

Debido a que las dimensiones de la mesa de la máquina CNC son mínimas para el mecanizado del avión se consideró un cubo de madera de 6 cm de lado con una base para la sujeción de 12cm de largo x 12 cm de ancho x 1,5 cm de alto.

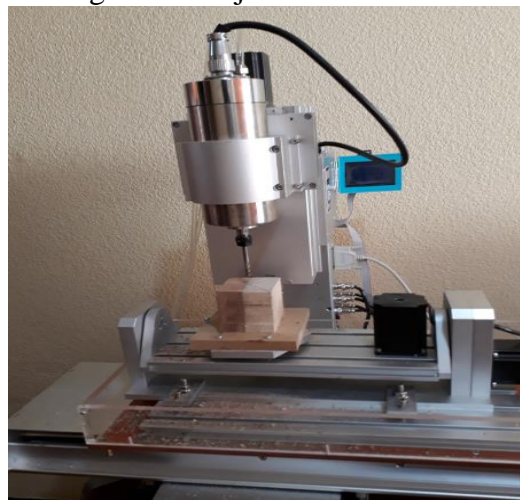
Figura 39. Cubo de madera



Fuente: Autores

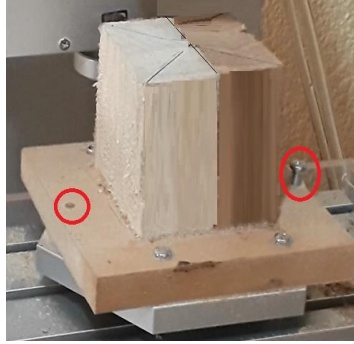
5.1.2 *Sujeción del material.* Para asegurar el bloque de madera a la mesa de la máquina utilizamos pernos de sujeción. La pieza debe ser sujeta con un apriete adecuado para que al momento de realizar el mecanizado la pieza no se mueva.

Figura 40. Sujeción del material



Fuente: Autores

Figura 41. Pernos de sujeción



Fuente: Autores

5.1.3 Preparación de la máquina para el funcionamiento

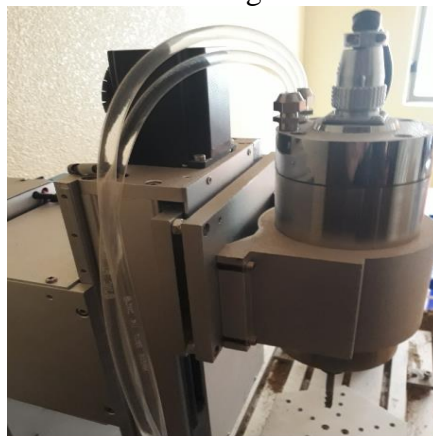
- Conectamos la bomba para el sistema de refrigeración del husillo de la máquina.

Figura 42. Bomba para el sistema de refrigeración



Fuente: Autores

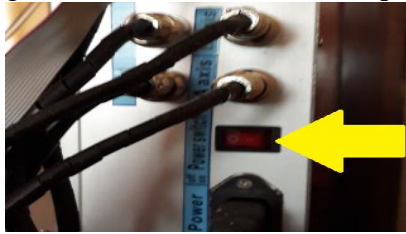
Figura 43. Sistema de refrigeración de la máquina



Fuente: Autores

- Energizar la máquina CNC, pulsando el botón on/off.

Figura 44. Encendido de la máquina



Fuente: Autores

- Para el funcionamiento del husillo de la máquina, se debe pulsar en el botón “run” del panel de control del husillo.

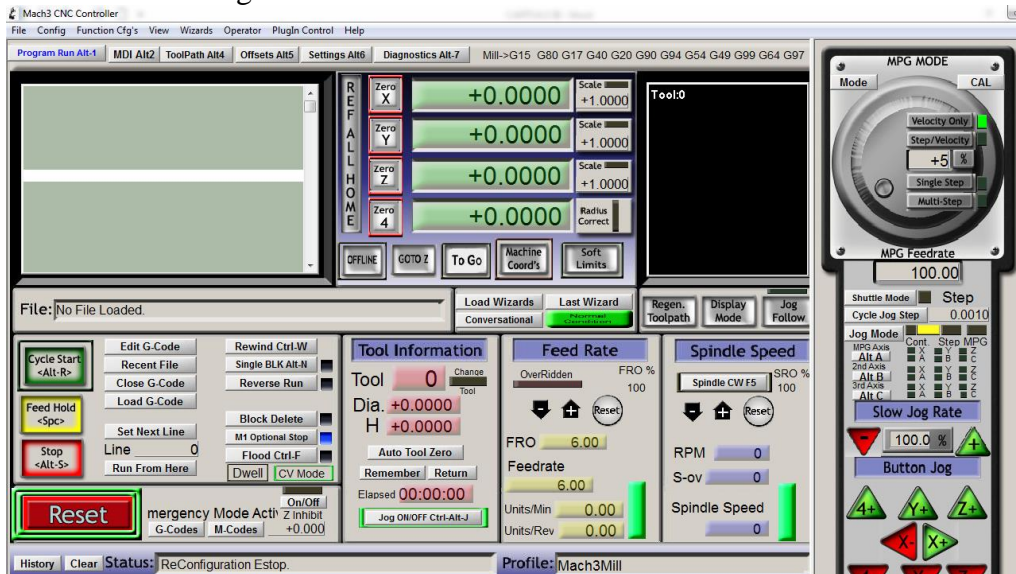
Figura 45. Panel de control del husillo



Fuente: Autores

5.1.4 Ejecución del software Mach3. El software Mach 3 es el software de control de la máquina. En el panel de control se encuentra ubicados los diferentes botones digitales para el manejo de la máquina como se puede observar en la siguiente figura.

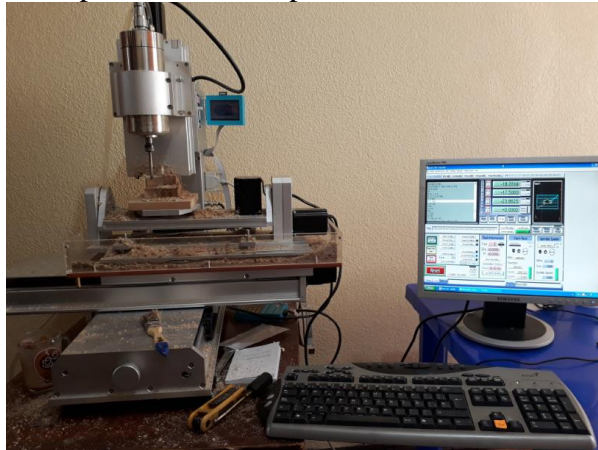
Figura 46. Panel de control del software Mach3



Fuente: Autores

5.1.5 *Configuración de la máquina con el software Mach3.* A la máquina se le hace trabajar con un computador esclavo que cumple la función de cerebro y es la que envía los códigos a la máquina para el trabajo.

Figura 47. Computador esclavo para el control de la máquina CNC

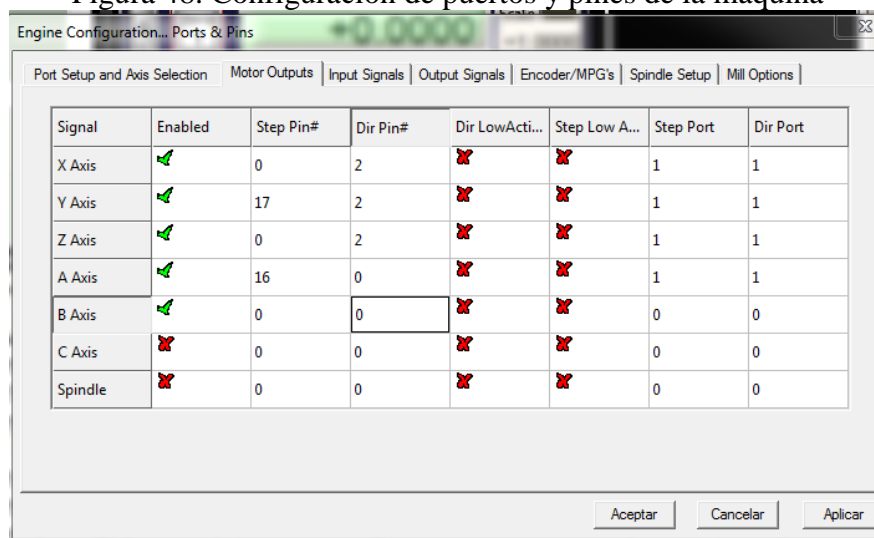


Fuente: Autores

5.1.6 *Configuración de puertos y pins de la máquina de cinco ejes.* Es necesario la configuración de los puertos y pins que cuenta la máquina, por medio de esto se logra mover los motores de paso que son los encargados de accionar los distintos ejes que son:

- Eje x
- Eje y
- Eje z
- Eje A
- Eje B

Figura 48. Configuración de puertos y pines de la máquina

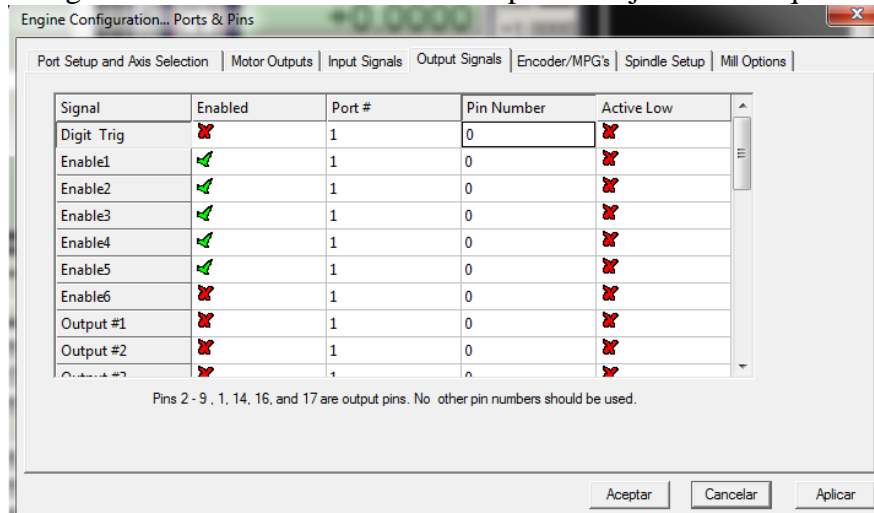


Fuente: Autores

Como se observa en la figura se encuentran habilitados los cinco ejes que cuenta la máquina, esto se logra ubicando el número del drive donde el motor se ha conectado sirve para poder identificar que motor se va mover de acuerdo al eje que seleccione el operario.

Parte importante dentro de la configuración es habilitar los Enableds que corresponde a cada uno de los ejes sirve para cortar el paso de la corriente a los motores en caso de que ocurra un imprevisto se detiene los ejes evitando colisiones y el deterioro de la máquina.

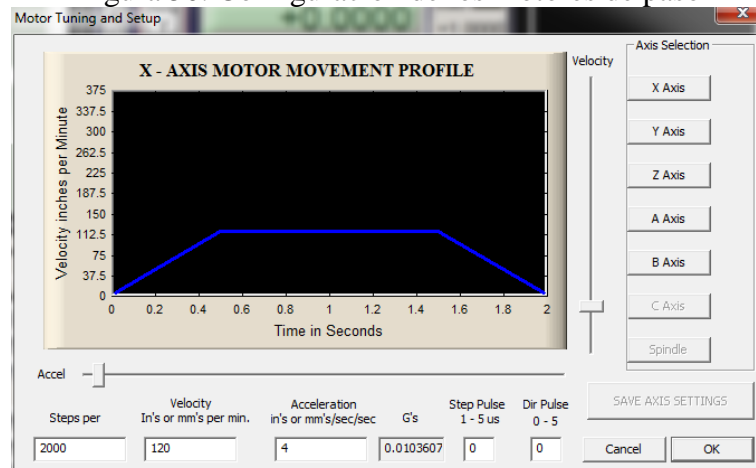
Figura 49. Habilitación de Enableds para los ejes de la máquina



Fuente: Autores

5.1.7 Configuración de los motores de paso. En esta parte se configura los motores de paso indicando velocidades y aceleración, de esto depende los avances para el trabajo de los diferentes operaciones a ser mecanizadas.

Figura 50. Configuración de los motores de paso

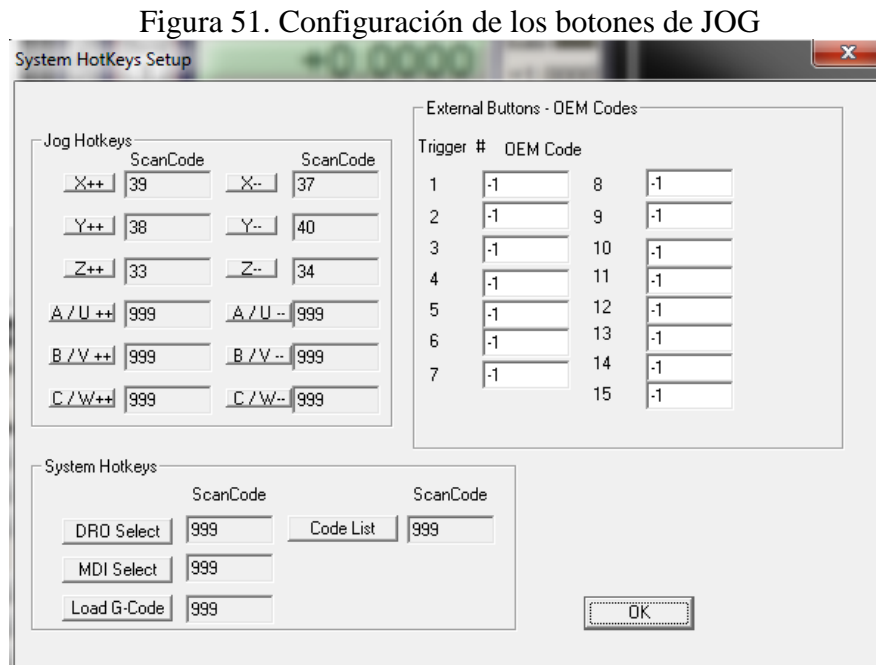


Fuente: Autores

En la figura se observa un diagrama representando la velocidad en pulgadas por minuto y del tiempo en segundos es ahí donde se ubica la capacidad de carga de cada motor de cada uno de los ejes.

5.1.8 Configuración de los botones de JOG. La máquina de cinco ejes didáctica trabaja con un computador esclavo por lo cual es necesario configurar ciertas teclas del teclado que cumplirán funciones importantes en el manejo.

Este proceso se logra trasladándose al sistema de configuración de teclado dentro de Match 3 aquí se ubican teclas para poder mover los diferentes ejes.



Fuente: Autores

5.1.9 Configuración de la velocidad de avance. En el proceso de mecanizado, se denomina avance a la velocidad relativa entre herramienta y pieza, sin considerar la velocidad de corte, que corresponde al movimiento de giro de la pieza o de la herramienta suele expresarse en mm/min.

En esta ventana podemos controlar parámetros como la velocidad de avance con la cual la herramienta va realizar el corte de la viruta cabe recalcar que es necesario calcular bien la velocidad de avance para evitar daños en los filos de corte de las herramientas.

Figura 52. Configuración del avance

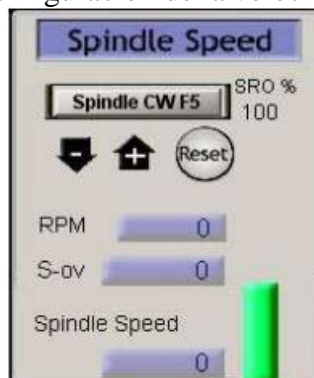


Fuente: Autores

- **Feedrate:** Permite ingresar un avance para movimientos de corte. Para ingresar un valor, marcar este campo con el Mouse y luego ingresar el valor deseado, luego apretar Retorno en el teclado para confirmarlo, en caso de no hacerlo el valor no quedará registrado.
- **FRO:** (Feed Rate Override) este campo muestra el valor del avance actual, en caso que el mismo se haya alterado subiendo o bajando la barra verde.
- **Reset:** Lleva nuevamente el avance al valor ajustado en el campo Feedrate.
- **Units/Min:** Mientras se ejecuta un programa, muestra la velocidad actual de avance, este valor varia con las aceleraciones/desaceleraciones.

5.1.10 Configuración de la velocidad del Husillo. La velocidad del husillo es el número de revoluciones que realiza la herramienta de fresado sobre el husillo en cada minuto.

Figura 53. Configuración de la velocidad del husillo



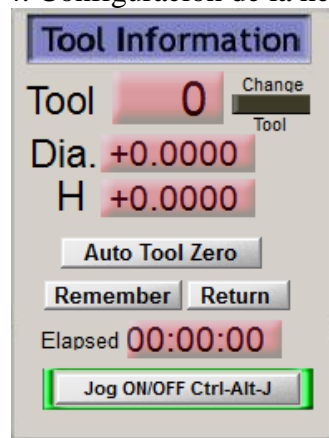
Fuente: Autores

Esta sección es similar a la anterior, pero en lugar de referirse al avance de los ejes se refiere a la velocidad del husillo.

- **Spindle Speed:** Permite ingresar una velocidad para el husillo. Para ingresar un valor, marcar este campo con el Mouse y luego ingresar el valor deseado, luego apretar Retorno en el teclado para confirmarlo, en caso de no hacerlo el valor no quedará registrado
- **S-ov: (Spindle Override)** este campo muestra la velocidad actual del husillo, en caso que el mismo se haya alterado subiendo o bajando la barra verde.
- **Reset:** Lleva nuevamente la velocidad al valor ajustado en el campo Spindle Speed.

5.1.11 Configuración de la herramienta. En esta ventana de trabajo se observan la información del programa como el número de la herramienta el diámetro de la misma y la posición del folder de ser el caso.

Figura 54. Configuración de la herramienta



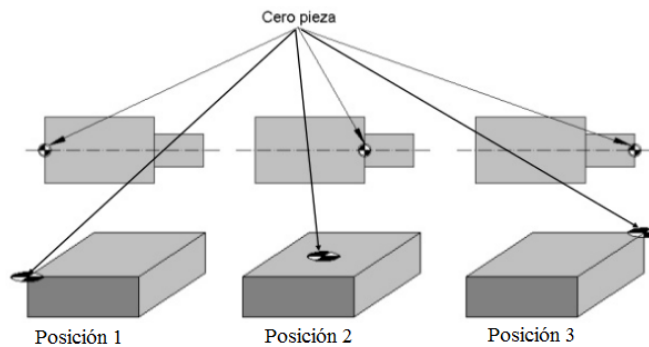
Fuente: Autores

5.1.12 Determinación del cero pieza. El cero pieza es el punto de origen de la pieza, a partir del cual se programan los movimientos para la mecanización. Cada pieza requiere una referencia dentro del área de trabajo de la máquina.

El cero pieza se programa como la primera función a realizar en cada modelo de pieza nueva que se mecaniza. El criterio de situación del cero se debe basar en la lógica, dependiendo del tipo de pieza y de la distribución de cotas que tenga el plano de trabajo.

Para encontrar el cero pieza seguimos el proceso que se muestra en la siguiente figura:

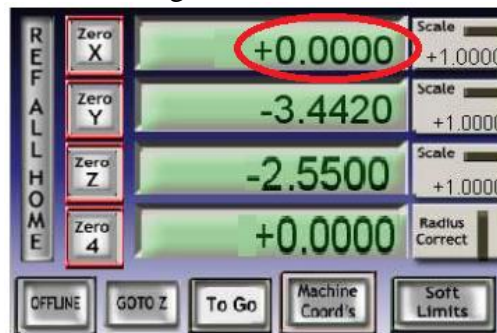
Figura 55. Determinación del cero pieza



Fuente: Autores

- **Paso 1.-** Llevamos la herramienta a la posición 1 que se indica en la figura y damos clic en la opción “Zero X” para encerar la pieza en ese eje.

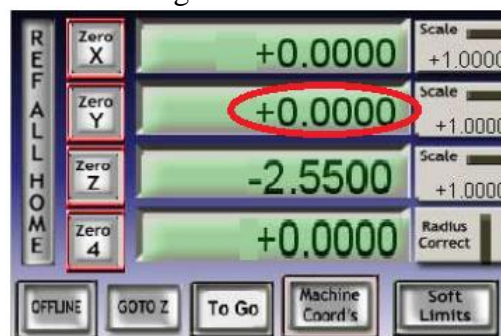
Figura 56. Zero X



Fuente: Autores

- **Paso 2.** Llevamos la herramienta a la posición 2 que se indica en la figura y damos clic en la opción “Zero Y” para encerar la pieza en ese eje.

Figura 57. Zero Y



Fuente: Autores

- **Paso 3.** Llevamos la herramienta a la posición 3 que se indica en la figura y damos clic en la opción “Zero Z” para encerrar la pieza en ese eje.

Figura 58. Zero Z



Fuente: Autores

Figura 59. Cero piezas

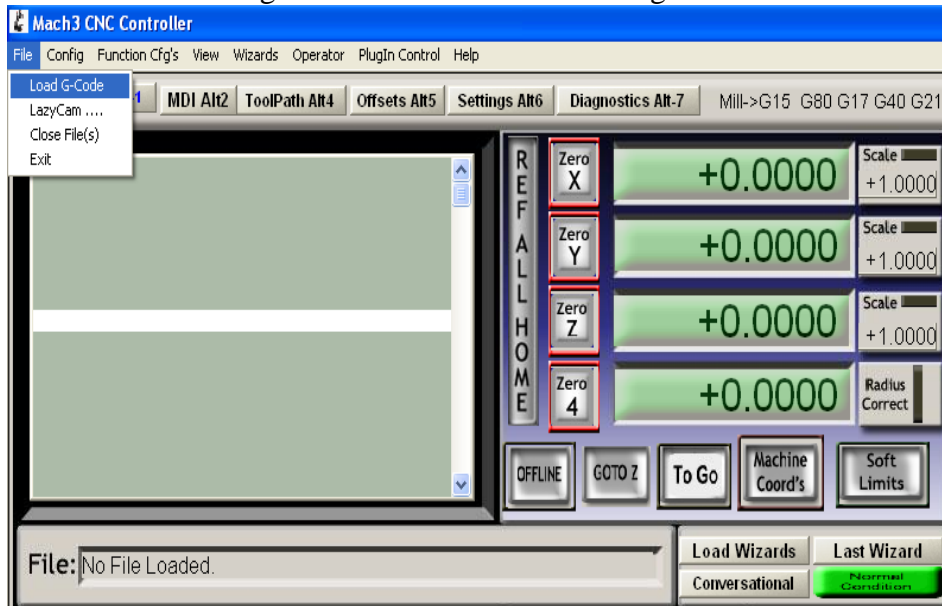


Fuente: Autores

5.1.13 *Transferencia de programación a la máquina CNC de cinco ejes.* La transferencia de los códigos generados a través de NX son enviados al centro de mecanizado, para ello hay que seguir el siguiente proceso:

- Dar clic en “file” y seleccionar la opción “Load G-Code”

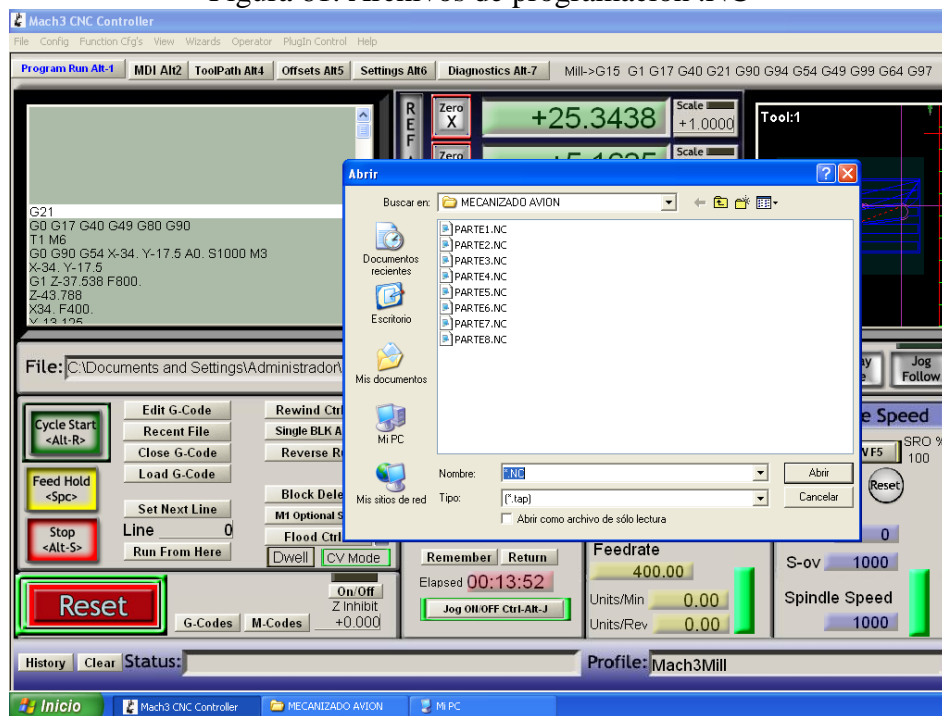
Figura 60. Transferencia de códigos G



Fuente: Autores

- Seleccionamos el archivo con la programación correspondiente y dar clic en abrir.

Figura 61. Archivos de programación .NC

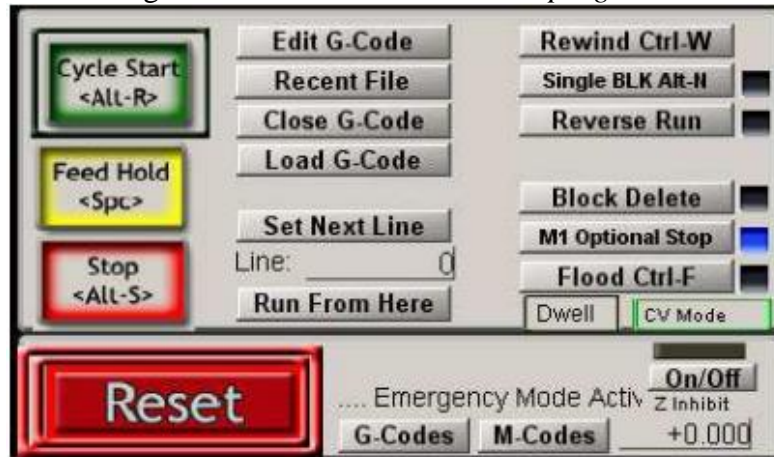


Fuente: Autores

Como podemos ver en la figura para el mecanizado del avión se ha hecho una programación por partes, por lo tanto el proceso de transferencia del programa debe repetirse tantas veces como las partes de la programación existan, en este caso 7 veces.

5.1.14 *Ejecución del programa código G.* Nos dirigimos a la sección de control del programa y damos clic en la opción “cycle star”.

Figura 62. *Sección de control del programa*



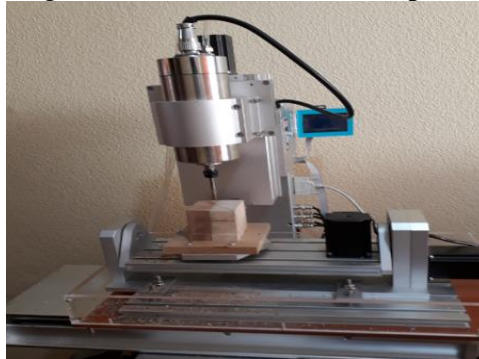
Fuente: Autores

- **Cycle Start:** Inicia el programa que se encuentra cargado, o reinicia uno que fue pausado/parado.
- **Feed Hold:** Pausa el programa sin detenerlo
- **Stop:** para el programa y el husillo.
- **Edit G-Code:** Si hay un programa cargado permite editarlo sin salir de Mach3. Si no hay ninguno, permite crearlo con el bloc de notas.
- **Recent File:** Lista de los programas cargados recientemente.
- **Close G-Code:** Cierra el programa que se encuentra actualmente cargado.
- **Load G-Code:** Carga un programa desde el disco rígido o similar.
- **Set Next Line:** Le indica a Mach3 desde que línea queremos arrancar un programa, en caso de no especificarse y el programa fue recién cargado, arranca desde la primera línea. En caso de que el programa haya sido parado durante su ejecución, en el campo Line dirá la línea actual, con Run From Here se memoriza este valor y con Cycle Start se reinicia el programa.

- **Rewind:** Rebobina el programa como si lo cargáramos de cero.
- **Single BLK:** Permite ejecutar el programa línea por línea, para pasar a la siguiente línea apretar el botón de Cycle Start. Para anular esta opción, volver a apretar este botón, el indicador azul al costado se apagará.
- **Reverse Run:** Cuando este botón esta activado el programa en lugar de avanzar a la línea siguiente lo hace a la anterior.
- **Flood:** Arranca o detiene la bomba de refrigerante.
- **G-Codes y M-Codes:** Referencia rápida de los códigos G soportados por el control numérico Mach3. Para volver a la pantalla principal apretar ALT-1 o el botón Program Run en la parte superior de la pantalla.

5.1.15 Mecanizado

Figura 63. Estado inicial de la pieza



Fuente: Autores

Figura 64. Fresado del contorno



Fuente: Autores

Figura 65. Fresado cabeza del avión



Fuente: Autores

Figura 66. Fresado cuerpo del avión



Fuente: Autores

Figura 67. Fresado de las alas del avión



Fuente: Autores

Figura 68. Fresado final del avión



Fuente: Autores

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se seleccionó el software NX en base a formulación de alternativas la cual obtuvo un puntaje de 15 sobre las otras alternativas disponibles en el mercado.

Se seleccionó la máquina HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes a través de un ponderación en la cual destacó las principales características para su funcionamiento como aporte tecnológico al laboratorio entre los q se destaca su costo, capacidad y funcionalidad.

Se adquirió la máquina HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes proveniente de China la cual fue importada en un lapso de 8 meses.

Se modeló el avión en el software NX la cual debido a sus prestaciones de alta calidad en sus herramientas genera un adecuado trabajo para piezas de pequeño tamaño totalmente compatible con las características de mecanización de nuestra máquina.

Se fabricó el avión de juguete en un tiempo de 1h 55 minutos y 23 segundos como un ejemplo de comprobación de funcionamiento y fácil manipulación de cada uno de los componentes.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda instalar la bomba en agua libre de impurezas por la posibilidad de generar daños en esta.

Se recomienda el uso de implementos protección personal debido a la proyección de sólidos y ruido que esta genera.

Se recomienda establecer adecuadamente las dimensiones de trabajo de la máquina para seleccionar correctamente el material de trabajo.

Se recomienda determinar los puntos de referencia acorde al material para configurar los ceros o puntos de inicio de nuestra fresa.

Se recomienda establecer los parámetros de sentido de los ejes para su compatibilidad con los códigos generados por nuestro software.

Bibliografía

BOLUFER, Pasqual. *Interempresas*. Metalmeccanica [En línea], 2012, Colombia, pp 23-30. [Consulta: 18 de Diciembre de 2016.]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/102921-Mecanizado-por-electroerosion.html>.

BRUZOS, Tomas. *Sabelotodo.org*. [En línea]. Mexico, 2011. [Consulta: 12 de Diciembre de 2016.]. Disponible en: <http://www.sabelotodo.org/informacion/colaboradores.html>.

CEDEÑO GARCÍA, Solangel Mariana. *Diseño de un molde de inyección y elaboración de diagramas de molde para la empresa unión plasti*. [En línea]. (Tesis) Universidad Tecnica de Ambato. Ambato- Ecuador 2012. pp 16-20. [Consulta: 12 de Diciembre de 2016.]. Disponible en: <https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/537a2702de091.pdf>

DÍAZ, Felipe. *Programación Automática de máquinas CNC*. [En línea]. (Tesis). Facultad De Estudios Superiores Cuautitlán, Cuautitlán, 2008. pp 21-24. [Consulta: 12 de Diciembre de 2016.]. Disponible en: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m4/master_cam.pdf

GARCÍA HIGUERA, Andrés & CASTILLO GARCÍA, Fernando. *CIM, el computador en la automatización de la producción*. [En línea]. (Tesis). Facultad De Estudios Superiores, Ciudad Real. 2007. pp 23-26. [Consulta: 12 de Diciembre de 2016.]. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/Vol2_n1/pdf/produccion.pdf

JIMÉNEZ MOREIRA, Diego Armando & ALMEIDA ZAMBRANO, Byron Rolando. 2016. *Implementación y aprovechamiento de la tecnología CNC, en modelado de productos de grabado metálico a partir de un diseño CAD*. [En línea]. (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba- Ecuador, 2016. pp 16-19. [Consulta: 12 de Diciembre de 2016.]. Disponible en: http://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/SALUD_10/Protesis_Dental/59.pdf

PILLAJO COLCHA, Mario Fernando. *Modelado de un soporte de brida FY 512 U/AH para rodamientos haciendo uso de tecnologías CNC y software de diseño CAD-CAM*. [En línea]. (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba- Ecuador, 2016. pp 11-17. [Consulta: 12 de Diciembre de 2016.]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/4546>

LENGUAJE DE INGENIERIA. *lenguajedeingenieria.lenguajedeingenieria*. [En línea] 2013. [Consulta: 12 de Diciembre de 2016.]. Disponible en: <https://lenguajedeingenieria.files.wordpress.com/2013/02/introduccion3b3n-al-cad-cam.pdf>.

