

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

### **TÍTULO DEL PROYECTO**

**“REPOTENCIACIÓN Y MODERNIZACIÓN DE LA MÁQUINA NCM – 2000  
DEL LABORATORIO DE CAD/CAM DE LA ESPE MEDIANTE EL DISEÑO  
Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INTERFAZ COMPUTACIONAL DE  
CONTROL Y MONITOREO.”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECATRÓNICO**

**REALIZADO POR:**

**CARLOS EDUARDO AGUIRRE MARCILLO**

**DIRECTOR: ING. LUIS ECHEVERRIA**

**CODIRECTOR: ING. FERNANDO OLMEDO**

**SANGOLQUÍ, 2013-08-05**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto **“REPOTENCIACIÓN Y MODERNIZACIÓN DE LA MÁQUINA NCM – 2000 DEL LABORATORIO DE CAD/CAM DE LA ESPE MEDIANTE EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INTERFAZ COMPUTACIONAL DE CONTROL Y MONITOREO.”**, fue realizado en su totalidad por Carlos Eduardo Aguirre Marcillo, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.

---

**Ing. Luis Echeverría**  
**DIRECTOR**

---

**Ing.Fernando Olmedo.**  
**CODIRECTOR**

Sangolquí, 2013-08-05

## DECLARACION

Yo, Carlos Eduardo Aguirre Marcillo, declaramos que el presente trabajo es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el documento, la Escuela Politécnica del Ejercito puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Carlos Eduardo Aguirre Marcillo

Sangolquí, 2013-08-05

# CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

## AUTORIZACIÓN

Yo: Carlos Eduardo Aguirre Marcillo

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: “REPOTENCIACIÓN Y MODERNIZACIÓN DE LA MÁQUINA NCM – 2000 DEL LABORATORIO DE CAD/CAM DE LA ESPE MEDIANTE EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INTERFAZ COMPUTACIONAL DE CONTROL Y MONITOREO”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

---

Carlos Eduardo Aguirre Marcillo

Sangolquí, 2012-08-05

## DEDICATORIA

Dedico éste proyecto a Dios por ser mi creador y el que me ha permitido cumplir cada y una de las metas propuestas, por ser mi fortaleza, por darme salud y vida, a mis padres Carlos y Lucía por ser los mejores padres, por ser mi apoyo incondicional, por ser mis maestros, por haberme enseñado el verdadero significado de la vida y la responsabilidad de cumplir cada meta y sueños planteados para sobresalir y ser cada día mejor.

A mi hermana Adriana por su cariño incondicional, por ser la amiga y consejera en todo momento, por ser mi ejemplo y mi admiración.

A mis queridas Tías Zoila, Martha y Cecilia porque son como mis madres, por ser las personas más trabajadoras y dedicadas, por el cariño, la paciencia y por cuidar incondicionalmente siempre de mí.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por guiarme durante toda mi carrera universitaria, por darme la vida, la salud y las fuerzas para culminar una etapa más en mi vida. A mi padre Carlos por ser mi ejemplo de superación, de convicción, de perseverancia, de humildad y por ser el mejor padre que incondicionalmente me ha apoyado en todo y por el cual estaré eternamente agradecido. A mi madre Lucía por su amor incondicional, por ser la persona que siempre estará junto a mí para darme su mano en los peores momentos, por sus consejos, por guiarme en el camino de Dios, por ser una madre justa y simplemente por ser la mejor de todas. A mi hermana Adriana por ser mi amiga incondicional en todo momento, porque juntos seremos un testimonio de vida y superación.

A mis tías Zoila, Martha y Cecilia que son un pilar fundamental en mi vida por sus enseñanzas, por su ejemplo, por su paciencia y dedicación, por verme crecer y por haberme guiado siempre por el camino de Dios.

Agradezco a toda mi familia por ayudarme y guiarme en esta etapa de mi vida.

A todos los amigos que de una u otra manera estuvieron conmigo en el trayecto de este proyecto ayudando, aconsejando y profesores que han dejado huella en toda mi vida universitaria.

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>I</b>
<b>DECLARACIÓN .....</b>	<b>II</b>
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA .....</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>V</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>INDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XVII</b>
<b>INDICE DE ANEXOS.....</b>	<b>XVIII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XIX</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	7
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	7
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
1.4 ALCANCE DEL PROYECTO .....	8
1.4.1. SISTEMA MECANICO .....	8
1.4.2. SISTEMA ELECTRÓNICO/ELÉCTRICO .....	9
1.4.3. SISTEMA DE CONTROL.....	10
<b>CAPÍTULO 2: GENERALIDADES DEL CONTROL NUMERICO COMPUTARIZADO Y MECÁNICA DEL PROCESO DE FRESADO .....</b>	<b>11</b>
2.1. INTRODUCCIÓN.....	11
2.2. TIPOS DE FRESADORAS.....	13
2.2.1. FRESADORAS SEGÚN LA ORIENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA.....	13

2.2.2.	FRESADORAS ESPECIALES .....	16
2.2.3.	FRESADORAS SEGÚN EL NÚMERO DE EJES.....	19
2.3.	MOVIMIENTOS DE FRESADO .....	22
2.3.1.	MOVIMIENTOS BÁSICOS.....	22
2.3.2.	MOVIMIENTOS DE LA HERRAMIENTA .....	22
2.3.3.	MOVIMIENTOS DE LA MESA .....	23
2.3.4.	MOVIMIENTO RELATIVO ENTRE PIEZA Y HERRAMIENTA.....	24
2.4.	OPERACIONES DE FRESADO.....	25
2.5.	MECÁNICA DEL PROCESO DE FRESADO.....	25
2.5.1.	VELOCIDAD DE CORTE.....	28
2.5.2.	VELOCIDAD DE GIRO DE LA HERRAMIENTA.....	28
2.5.3.	VELOCIDAD DE AVANCE.....	29
2.5.4.	PROFUNDIDAD DE CORTE O PASADA.....	29
2.5.5.	ESPESOR Y SECCIÓN DE VIRUTA .....	30
2.5.6.	FUERZA ESPECÍFICA DE CORTE .....	31
2.5.7.	POTENCIA DE CORTE .....	31
2.6.	CNC EN FRESADORAS.....	32
2.6.1.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO CNC.....	33
2.6.2.	EQUIPAMIENTO DE UNA FRESADORA CON CNC .....	34
2.6.3.	VENTAJAS CNC.....	36
2.6.4.	DESVENTAJAS CNC.....	36
2.6.5.	COMPARACIÓN DE UNA MAQUINA CONVENCIONAL Y UNA CNC .....	37
2.6.6.	SISTEMAS DE CONTROL COMPUTARIZADO COMERCIALES ...	38
2.6.7.	PROGRAMA MACH3 MILL.....	40
2.6.7.1.	SEÑALES LÓGICAS.....	42
2.6.7.2.	SEÑALES PASO Y DIRECCIÓN (STEP Y DIR) .....	43
2.6.7.3.	CARACTERISTAS TÉCNICAS .....	45
2.6.8.	CÓDIGO G.....	46
2.6.9.	CÓDIGO M.....	47
2.7.	ANÁLISIS MECÁNICO DEL ESTADO DE LA MÁQUINA NCM - 2000.....	48
2.7.1.	SIMULACIÓN DE PARTES CONSTITUTIVAS MÁQUINA NCM-2000 .....	49

2.7.1.1. ESTRUCTURA Y COMPONENTES DE LA MÁQUINA NCM-2000 .....	50
2.7.1.2. BANCADA PRINCIPAL .....	51
2.7.1.3. CARRO TRANSVERSAL .....	52
2.7.1.4. BANCADA ENTENALLA .....	53
2.7.1.5. COLUMNA .....	55
2.7.1.6. BANCADA DE EJE Z Y MECANISMO DE ACCIONAMIENTO DEL HUSILLO .....	56
2.7.1.7. PARTES CONSTITUTIVAS EXTERNAS .....	61
2.7.2. RESULTADOS .....	61
2.7.2.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....	62
2.7.2.2. PLANOS MECÁNICOS .....	63

<b>CAPITULO 3: DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO .....</b>	<b>64</b>
3.1. ACTUADORES .....	64
3.2. MOTORES ELÉCTRICOS .....	65
3.2.1. SERVOMOTOR .....	66
3.2.2. TIPOS DE SERVOMOTORES .....	67
3.2.3. PARTES DE UN SERVOMOTOR .....	67
3.3. MOTORES A PASOS .....	69
3.3.1. TIPOS DE MOTORES PASO A PASO .....	69
3.3.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN MOTOR A PASOS .....	73
3.4. DISEÑO MECÁNICO .....	73
3.4.1. ÁREA EFECTIVA DE MAQUINADO .....	73
3.4.2. PESO DE CARGA A MAQUINAR .....	74
3.4.3. VELOCIDAD DE GIRO DE LA HERRAMIENTA .....	75
3.4.4. POTENCIA DE CORTE .....	76
3.4.5. PAR DE CORTE .....	78
3.4.6. POTENCIA Y FUERZA DE TALADRADO .....	79
3.4.7. PAR DE TORSION .....	80
3.4.8. VELOCIDAD CRÍTICA .....	94
3.4.9. TORQUE POR INERCIA .....	98

3.4.10. TORQUE TOTAL REQUERIDO.....	103
3.4.11. POTENCIA.....	104
3.4.12. NÚMERO DE PASOS DEL MOTOR.....	106
3.5. ANALISIS COMPARATIVO Y SELECCIÓN ENTRE SERVOMOTOR Y MOTOR A PASOS .....	106
3.5.1. VELOCIDAD .....	107
3.5.2. PAR.....	107
3.5.3. BUCLE .....	108
3.5.4. RESOLUCION .....	108
3.5.5. PRECIO .....	108
3.5.6. MANTENIMIENTO .....	108
3.6. ADQUISICION DE MOTORES A PASOS .....	109
3.7. DISEÑO DEL ACOPLA MOTOR - EJE.....	112
3.7.1. ANALISIS DE ESFUERZOS .....	113
3.7.2. ANALISIS DE DEFORMACIÓN .....	114
3.7.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	115
3.7.4. DIAGRAMA DE PROCESO .....	116
3.7.5. MONTAJE DE ACTUADORES .....	117

## **CAPÍTULO 4: DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO ..... 120**

4.1. DISEÑO INTERFAZ DE CONTROL Y MONITOREO.....	120
4.2. ANÁLISIS DE LA INTERFAZ DE CONTROL Y MONITOREO .....	120
4.2.1. ADQUISICIÓN DE LA INTERFAZ.....	122
4.2.2. CARACTERISTICAS TÉCNICAS TARJETA DE INTERFAZ CON USB DE 3 EJES PARA MACH3 UC326 .....	126
4.2.2.1. SALIDAS DE CONTROL DE EJES.....	127
4.2.2.2. ENTRADAS DIGITALES .....	128
4.2.2.3. SALIDAS DIGITALES .....	130
4.2.2.4. INSTALACIÓN Y CONEXIÓN.....	131
4.3. SISTEMA DE CONTROL PARA LOS EJES X,Y, Z .....	131
4.3.1. ADQUISICIÓN DE LOS DRIVERS.....	131
4.3.2. ESPECIFICACIONES TECNICAS DRIVER DM542A.....	133

4.3.3.	INSTALACIÓN Y CONEXIÓN.....	135
4.4.	PLACA DE ACONDICIONAMIENTO DE SALIDAS DIGITALES DE LA TARJETA PRINCIPAL UC326 .....	136
4.4.1.	CARACTERISTICAS TÉCNICAS .....	138
4.4.1.1.	ENTRADAS.....	139
4.4.1.2.	SALIDAS.....	140
4.4.1.3.	INSTALACIÓN Y CONEXIÓN.....	141
4.5.	SENSORES FINALES DE CARRERA PARA LOS EJES.....	141
4.5.1.	MONTAJE DE FINALES DE CARRERA.....	143
4.6.	FUENTE DE PODER .....	144
4.6.1.	VOLTAJE .....	144
4.6.2.	CORRIENTE .....	144
4.7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	146
4.7.1.	SISTEMA MECÁNICO .....	146
4.7.2.	SISTEMA ELECTRÓNICO Y DE CONTROL.....	147

## **CAPÍTULO 5: MANUALES DE USUARIO, OPERACIÓN**

	<b>MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>148</b>
5.1.	MANUAL DE USUARIO PARA DESMONTAJE MÁQUINA NCM – 2000 .....	148
5.1.1.	HERRAMIENTAS PARA DESMONTAJE.....	148
5.1.2.	DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS.....	150
5.1.2.1.	DESCONEXIÓN ELÉCTRICA.....	150
5.1.2.2.	DESMONTAJE DE LA CARCASA .....	152
5.1.2.3.	DESMONTAJE DE LOS MOTORES.....	153
5.1.2.4.	DESMONTAJE DE LA FRESADORA .....	155
5.2.	MANUAL DE OPERACIÓN PARA MÁQUINA NCM-2000.....	158
5.2.1.	INSTALACIÓN DEL PROGRAMA MACH3 .....	159
5.2.2.	INSTALACIÓN DE LA TARJETA PRINCIPAL .....	159
5.2.3.	CONFIGURACIÓN DE MACH3 .....	161
5.2.4.	CONFIGURACIÓN DEL HOME. ....	167
5.2.5.	CONTROLES DEL PROGRAMA MACH3-MILL .....	169
5.2.6.	SECCIÓN DE CONTROL DE PROGRAMA CÓDIGO G .....	170

5.2.7.	SECCIÓN DE POSICIÓN Y ESTADO DE LOS EJES .....	171
5.2.8.	SECCIÓN DE CONFIGURACIÓN DE HERRAMIENTAS .....	172
5.2.9.	SECCIÓN DE AVANCE .....	173
5.2.10.	SECCIÓN DE CONTROL DEL HUSILLO .....	175
5.2.11.	VISUALIZACIÓN DEL PROGRAMA .....	176
5.2.12.	MODO MPG .....	177
5.2.13.	PANTALLA MDI .....	178
5.3.	MANUAL DE MANTENIMIENTO .....	187
5.4.	ANÁLISIS ECONÓMICO .....	188
5.4.1.	COSTOS DIRECTOS.....	188
5.4.2.	COSTOS INDIRECTOS.....	189
5.4.3.	COSTO TOTAL.....	189
<b>CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>191</b>
6.1.	CONCLUSIONES .....	191
6.2.	RECOMENDACIONES.....	192

## INDICE DE FIGURAS

FIG 1. 1 Máquina NCM-2000 .....	3
FIG 1. 2 Equipos de un Laboratorio de CAD/CAM.....	5
FIG 1. 3 (a) Fresadora CNC (b) Torno CNC (control numérico computarizado) .....	6
FIG 1. 4 Diagrama de Bloques de Sistema de Interfaz Computacional .....	10
FIG 2. 1 Fresadora Universal con sus accesorios .....	11
FIG 2. 2 a) Fresado Cilíndrico b) Fresado Frontal .....	12
FIG 2. 3 Fresadora Horizontal.....	14
FIG 2. 4 Fresadora Vertical.....	15
FIG 2. 5 Fresadora Universal.....	15
FIG 2. 6 Fresado Circular .....	16
FIG 2. 7 Fresadora Copiadora. ....	17
FIG 2. 8 Fresadora de Pórtico.....	18
FIG 2. 9 Fresadora de Puente Móvil. ....	18
FIG 2. 10 Fresadora para Madera. ....	19
FIG 2. 11 Fresadora Vertical de 3 ejes. ....	20
FIG 2. 12 Fresadora CNC conversión de 4 ejes con torno. ....	20
FIG 2. 13 Fresadora CNC de 5 ejes. ....	21
FIG 2. 14 Movimientos básicos de fresado.....	22
FIG 2. 15 Giros respecto a un eje.....	24
FIG 2. 16 Tipos de trabajos que se realizan con las fresadoras .....	25
FIG 2. 17 Fresado en Oposición. ....	27
FIG 2. 18 Fresado en concordancia.....	27
FIG 2. 19 Diagrama de fresado frontal.....	29
FIG 2. 20 Control Numérico por Computadora .....	32
FIG 2. 21 Adaptación de Motores PAP a una fresadora Convencional .....	34
FIG 2. 22 Equipamiento de una fresadora convencional con CNC.....	35
FIG 2. 23 Programa Mach3 .....	39
FIG 2. 24 Programa TurboCNC .....	39
FIG 2. 25 Programa LinuxCNC .....	40

FIG 2. 26 Controlador CNC-Mach3.....	41
FIG 2. 27 Principio de Funcionamiento de una Máquina CNC .....	42
FIG 2. 28 Onda de Pulso .....	44
FIG 2. 29 Configuración Incorrecta de Onda de Pulso .....	44
FIG 2. 30 Código M que soporta Mach3 .....	48
FIG 2. 31 CNC NCM - 2000.....	49
FIG 2. 32 Fresadora – Simulación Solidworks .....	50
FIG 2. 33 NCM – 2000 – Simulación Solidworks .....	50
FIG 2. 34 Componentes de Bancada Principal - Vista explosionada.....	51
FIG 2. 35 Ensamble Eje Y y sus partes constitutivas.....	51
FIG 2. 36 Carro Transversal .....	52
FIG 2. 37 Elementos para instalar Carro Transversal.....	52
FIG 2. 38 Partes constitutivas Bancada Entenalla.....	53
FIG 2. 39 Ensamble Eje X y sus partes constitutivas.....	53
FIG 2. 40 Bancada Entenalla.....	54
FIG 2. 41 Columna y sus partes constitutivas – Vista explosionada.....	55
FIG 2. 42 Elementos Bancada Eje Z.....	56
FIG 2. 43 Bancada Eje Z .....	57
FIG 2. 44 Fresa y sus partes constitutivas.....	58
FIG 2. 45 Portaherramientas .....	59
FIG 2. 46 Mecanismo de Poleas Motor.....	59
FIG 2. 47 Mecanismo de Poleas Motor.....	60
FIG 2. 48 Fresadora Completamente Armada .....	60
FIG 2. 49 Carcasa NCM – 2000.....	61
FIG 2. 50 Placa Deslizante averiada.....	62
FIG 3. 1 Servomotores.....	66
FIG 3. 2 Estructura de un Servomotor. ....	67
FIG 3. 3 Conexión externa del servo .....	68
FIG 3. 4 Motor de paso de reluctancia variable .....	70
FIG 3. 5 Motor híbrido de paso .....	71
FIG 3. 6 Motor paso a paso Bipolar .....	71
FIG 3. 7 Motor paso a paso unipolar.....	72
FIG 3. 8 Esquema de un tornillo de potencia de bolas .....	81

FIG 3. 9 Tornillo de bolas Eje Y, Máquina NCM- 2000. ....	81
FIG 3. 10 Diagrama de cuerpo libre tuerca-tornillo de una rosca ACME. ....	82
FIG 3. 11 Diagrama de cuerpo libre para rosca ACME en el plano x-y. ....	84
FIG 3. 12 Diagrama de cuerpo libre para rosca ACME en el plano y-z. ....	84
FIG 3. 13 Representación del factor de empotramiento en los extremos K <sub>s</sub> .....	95
FIG 3. 14 Catálogo de motores PITTMAN EXPRESS .....	110
FIG 3. 15 Longs motor nema 23hs9442 con eje simple.....	111
FIG 3. 16 Definición de puntos de apoyo y fuerzas. ....	113
FIG 3. 17 Análisis de esfuerzos que soporte el acople del motor .....	114
FIG 3. 18 Análisis de deformación en la pieza de acople del motor. ....	115
FIG 3. 19 Juego de Matrimonio para Motor y Tornillo de Potencia para cada eje .....	117
FIG 3. 20 Acople Motor- Soporte Eje X.....	117
FIG 3. 21 Acople Motor- Soporte Eje Y.....	118
FIG 3. 22 Acople Motor- Soporte Eje X Instalado en la Máquina.....	118
FIG 3. 23 Acople Motor- Soporte Eje Y Instalado en la máquina.....	119
FIG 3. 24 Acople Motor- Soporte Eje Z Instalado en la Máquina.....	119
FIG 4. 1 3 axis usb interface card-uc326 .....	123
FIG 4. 2 CNC USB Motion Controller for Mach3 GX-USB .....	123
FIG 4. 3 Salidas de Control de Ejes.....	127
FIG 4. 4 Entradas Digitales Tarjeta UC326.....	128
FIG 4. 5 Entradas Digitales Tarjeta UC326.....	130
FIG 4. 6 Sistema de Lazo Abierto .....	131
FIG 4. 7 Controlador Motores PAP LONGS MOTOR DM542A .....	132
FIG 4. 8 Conexión Tarjeta UC326 Y Driver DM542A.....	133
FIG 4. 9 Puerto de Entrada del Drive DM542A (conexión positiva) .....	134
FIG 4. 10 Puerto de Entrada del Drive DM542A (conexión negativa).....	134
FIG 4. 11 Placa de Acondicionamiento de Señales .....	136
FIG 4. 12 Simulación de la Placa de Acondicionamiento.....	137
FIG 4. 13 Simulación de Alimentación de aire comprimido para refrigerante y ajuste de Entenalla .....	138

FIG 4. 14 Entradas Digitales Placa de Acondicionamiento de salidas digitales de la tarjeta UC326.....	139
FIG 4. 15 Salidas Digitales Placa de Acondicionamiento de salidas digitales de la tarjeta UC326.....	140
FIG 4. 16 Finales de Carrera Montados en la Máquina .....	143
FIG 4. 17 Fuente de Poder 24v DC. 10 A.....	145
FIG 4. 18 Máquina NCM-2000 maquinando .....	146
FIG 4. 19 Resultados Obtenidos con la Máquina NCM-2000 .....	147
FIG 5. 1 Juego de llaves hexagonales.....	148
FIG 5. 2 Juego de rachas. ....	149
FIG 5. 3 Llave de Pico. ....	149
FIG 5. 4 Martillo (caucho). ....	149
FIG 5. 5 Destornilladores.....	150
FIG 5. 6 Conexión 220V motor trifásico.....	150
FIG 5. 7 Conexión Motores PAP.....	151
FIG 5. 8 Electroválvula.....	151
FIG 5. 9 Carcasa Máquina NCM-2000.....	152
FIG 5. 10 Carcasa CNC sin Panel de control.....	153
FIG 5. 11 Motores PAP Eje X .....	154
FIG 5. 12 Husillo Desmontado.....	155
FIG 5. 13 Tornillos que sujetan el carro. ....	156
FIG 5. 14 Tornillo de bolas Eje X .....	156
FIG 5. 15 Pernos de Base Principal.....	157
FIG 5. 16 Guía Carro Transversal.....	158
FIG 5. 17 Configuración Mach3 .....	159
FIG 5. 18 Instalación Archivo usbmove.zip.....	160
FIG 5. 19 Ventana De Hardware detectados .....	160
FIG 5. 20 Configuración de Unidades.....	161
FIG 5. 21 Configuración de Puertos y Pines.....	161
FIG 5. 22 Configuración de Salidas para Motores para Ejes X,Y,Z .....	162
FIG 5. 23 Configuración de Entradas Digitales .....	163
FIG 5. 24 Calibración de Motores .....	166
FIG 5. 25 Configuración del Home.....	168

FIG 5. 26 Configuración Lógica .....	168
FIG 5. 27 Controles del Programa Mach3Mill .....	169
FIG 5. 28 Sección de Controles del Programa Código G .....	170
FIG 5. 29 Posición y Estado de los Ejes .....	171
FIG 5. 30 Configuración de Herramientas .....	172
FIG 5. 31 Configuración de Avance .....	173
FIG 5. 32 Instalación de Avance Externo.....	174
FIG 5. 33 Configuración de Avance Externo.....	174
FIG 5. 34 Configuración de Avance Externo.....	175
FIG 5. 36 Visualización del Programa.....	176
FIG 5. 37 MPG.....	177
FIG 5. 38 Ventana MDI .....	178
FIG 5. 39 Panel de Control .....	179
FIG 5. 40 Pieza a Maquinar .....	180
FIG 5. 41 Material y pieza a maquinar sujeta con entenalla en Solidworks .....	180
FIG 5. 42 Pieza con entenalla en NX8.....	181
FIG 5. 43 Parámetros de Herramienta de corte en NX8 .....	182
FIG 5. 44 Parámetros de Avances y Velocidades.....	182
FIG 5. 45 Generación del código G para el fresado de una Leva Mecánica .....	183
FIG 5. 46 Código G.....	183
FIG 5. 47 Cargar código G en Mach3.....	184
FIG 5. 48 Configuración de cero de Máquina (Home) .....	185
FIG 5. 49 Configuración de cero de Pieza .....	186
FIG 5. 50 Visualización del programa .....	186
FIG 5. 51 Inicio del proceso de Fresado .....	187

## INDICE DE TABLAS

TABLA 2. 1 Comparación Maquina Convencional vs CNC.....	38
TABLA 2. 2 Código-G .....	47
TABLA 2. 3 Especificaciones Técnicas NCM- 2000 .....	63
TABLA 3. 3 Datos típicos de tornillos de potencia. ....	86
TABLA 3. 4. Cargas perpendiculares sobre el tornillo Y de potencia.....	88
TABLA 3. 5 Cargas perpendiculares sobre el tornillo X de potencia.....	88
TABLA 3. 6 Coeficientes de fricción para pares roscados. ....	89
TABLA 3. 7 Cargas sobre el Eje Z.....	91
TABLA 3. 1. Análisis Comparativo Motores PAP y Servomotor.....	107
TABLA 3. 2 Matriz de decisión motor PAP – Servomotor .....	109
TABLA 3. 8 Especificaciones Técnicas Motor a Pasos Nema 23HS9442 ..	111
TABLA 4. 1. Matriz de decisión entre Interfaz Comercial e Interfaz fabricada.....	121
TABLA 4. 2. Matriz de decisión 3 axis usb interface card-UC326 vs CNC Usb Motion Controller for Mach3 GX-USB.....	125
TABLA 4. 3 Pines de salidas de Control de Ejes de la Tarjeta UC326 .....	128
TABLA 4. 4 Pines de entradas Digitales de la Tarjeta UC326 .....	129
TABLA 4. 5 Pines de salidas Digitales de la Tarjeta UC326.....	130
TABLA 4. 6 Especificaciones Técnicas Driver DM542A .....	133
TABLA 4. 7 Pines de entrada de Placa de Acondicionamiento de salidas digitales de la tarjeta UC326.....	140
TABLA 4. 8 Pines de salidas de la placa de acondicionamiento de salidas digitales de la Tarjeta UC326.....	141
TABLA 4. 9 Matriz de decisión Finales de Carrera Mecánicos y Sensores Inductivos.....	142

## **INDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** PLANOS MECÁNICOS

**ANEXO B:** PLANO MECÁNICO ACOPLER MOTOR- EJE

**ANEXO C:** DIAGRAMA ELÉCTRICO INTERFAZ DE CONTROL Y MONITOREO

**ANEXO D:** DIAGRAMA ELECTRICO PANEL DE CONTROL MÁQUINA NMC-2000

**ANEXO E:** DIAGRAMA DE CONTROL MOTOR TRIFÁSICO (HUSILLO)

**ANEXO F:** DIAGRAMA DE FUERZA MOTOR TRIFÁSICO (HUSILLO)

**ANEXO G:** MANUAL DE MANTENIMIENTO MAQUINA NCM-2000

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en la repotenciación y modernización de la máquina NCM-2000 del laboratorio de CAD/CAM de la ESPE debido a que se encontraba en total desuso y obsolescencia limitando de esta manera el aprendizaje a los estudiantes, por lo cual se decidió realizar el diseño y construcción de una interfaz computacional de control y monitoreo,.

La interfaz computacional de control y monitoreo se implementó en base al diseño de tres sistemas, realizando un estudio general y detallado del estado en el que se encontraba la máquina y el análisis de los elementos mecánicos y electrónicos que se adquirieron bajo funciones establecidas. Para el diseño mecánico se consideró realizar un estudio para determinar el estado en el que se encontraba la máquina y sus partes constitutivas, como también determinar bajo que especificaciones técnicas operaba la misma y en función a estos factores realizar el dimensionamiento y diseño del sistema de control. Para el sistema electrónico se toma en cuenta la adquisición de los elementos como son la tarjeta de interfaz de comunicación, los controladores de los motores a pasos y el diseño y construcción de la placa de acondicionamiento de señales para controlar el cambio de giro del husillo, panel de control y control de electroválvulas. En cuanto al sistema de control se considera el correcto funcionamiento de la comunicación del sistema de control computarizado Mach3 y el sistema electrónico y mecánico para realizar el proceso de fresado bajo especificaciones técnicas previamente definidas por el operario o estudiante.

# **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se detallara el plan de trabajo del proyecto de grado que consiste en diseñar y construir una interfaz de control y monitoreo para la máquina NCM-2000, la cual a su vez va brindar a los alumnos una herramienta adecuada para maximizar sus conocimientos teoricos- practicos que van desde lo básico, como el principio de funcionamiento y el correcto encendido de la máquina hasta simulación y ejecucion de programas.

## **1.1 ANTECEDENTES**

En la rama de aplicación de la Ingeniería mecánica y ahora de la Ingeniería Mecatrónica, se tienen procesos de mecanizado, siendo los más representativos el torneado y el fresado, los mismos que son sumamente utilizados en la elaboración de casi todos los productos. Para disminuir el tiempo en el que se desarrolla un solo producto, el mismo que representa el valor unitario de venta al público, se tratan de automatizar la mayoría de los procesos involucrados. Así se han desarrollados máquinas herramientas CNC como la NCL-2000 y la NCM-2000, que son capaces de realizar trabajos de torneado y trabajos de fresado de una forma automatizada, siendo controladas mediante la utilización de órdenes emitidas por un computador. Estas máquinas son desarrolladas de acuerdo a las necesidades existentes en el momento de su diseño y fabricación, por lo que el software de control para cada una de ellas es diferente, pudiendo variar este de acuerdo al año y modelo de fabricación, teniendo este antecedente, resultaría difícil desarrollar un software específico al 100% para cada una de estas máquinas.

Los fabricantes de las máquinas herramientas automatizadas, se han visto obligados a desarrollar software compatible para modelos de diferentes años de fabricación, presentándose el inconveniente de que no todas interpretan las órdenes emitidas por los programas actualizados,

produciéndose una incompatibilidad. Hoy las computadoras ocupan un lugar significativo en el diseño industrial y han reducido mucho el tiempo de desarrollo de una actividad. Es posible generar rápidamente imágenes fotográficas muy realistas de los productos propuestos. Por lo tanto los métodos tradicionales para crear modelos están siendo sustituidos por las rápidas tecnologías que permiten la realización de proyectos con los que se puede construir directamente modelos tridimensionales, utilizando herramientas controladas por computadora, a partir de dibujos o diseños realizados mediante el diseño asistido por computador (CAD) llamados así por sus siglas en inglés ( Computer-Aided-Design ).

Dentro de la rama de la ingeniería mecánica, son más evidentes las facilidades que el diseño brinda, ya que se puede cometer errores en el papel, o dentro de la realidad virtual que nos ofrece un computador, antes de ser aplicados a la fabricación de un producto. Gracias al rápido desarrollo de los ordenadores personales y la aparición tanto de nuevos procesadores así como de nuevos sistemas operativos, el diseño asistido por computador está encontrando en el PC una plataforma ideal (alta potencia a bajo precio) para su evolución y expansión. Por este motivo se desarrollan cada día nuevos paquetes CAD encaminados para dar mayor facilidad a los diseñadores, utilizando los avances de los procesadores y sistemas operativos, obteniendo los planos de fabricación y montaje como los elementos de salida de datos. Es cuando se presenta el problema, en la utilización de las máquinas herramientas ya existentes, las mismas trabajan con paquetes CAD menos actualizados que no pueden ser utilizados con paquetes actuales como el SolidWorks, lo que dejaría obsoletas a nuestras máquinas herramientas.

Las empresas no cuentan con un capital como para actualizar sus máquinas herramientas a la par con la actualización de software de Diseño tal es el caso de la ESPE que ha dejado en desuso la maquina (FIG.1.1), entonces existe la posibilidad de manipular los programas controladores para poder obtener una compatibilidad entre los paquetes CAD actuales con las máquinas herramientas (NCM-2000) que no son tan actualizadas. Por

todos estos antecedentes es imperiosa la realización del proyecto, para poder realizar aplicaciones en la máquina herramienta NCM-2000 del Laboratorio de CAD/CAM mediante el uso de los paquetes de Diseño CAD e interfaces computacionales de control, lo que ayudará a que la carrera de Ingeniería Mecatrónica realice las prácticas de fresado automatizado.



FIG 1. 1 Máquina NCM-2000

**Fuente:** Autor

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

En el Ecuador se han implementado nuevas leyes para mejorar la calidad de la educación en las diferentes Universidades, lo cual está obligando a cada una de ellas a ahondar esfuerzos para ser mejor y más competitiva ante las otras. En el camino a la excelencia que sigue la ESPE está la calidad de sus Laboratorios, los mismos que siempre están en constante innovación para con sus procesos, máquinas, tecnología, etc. y de esta manera brindar una oportunidad de desarrollo tecnológico y fuente de negocios para los egresados de la carrera de Ingeniería Mecatrónica

mediante la modernización de las maquinarias convencionales que es lo que más abunda en el Ecuador.

Muchos talleres en nuestro país, crecieron comprando máquinas convencionales usadas. Cuando era necesario un ajuste de las mismas, en el propio taller se lo hacía, se fabricaban las piezas necesarias o se conseguían refacciones mecánicas con cierta facilidad. Pero al tratar de hacer lo mismo con una máquina CNC antigua, se encontraron con que es muy difícil saber cuál es el origen de la falla, no hay quien les dé servicio, las tablillas electrónicas ya no se consiguen y muchas veces no son reparables pues los elementos fueron descontinuados hace 5, 10 o más años. Al no poder hacerlas funcionar comienzan a buscar técnicos que se las reparen y empiezan a gastar dinero. Incluso pagan miles de dólares en traer un técnico del extranjero que les deja la máquina funcionando por unos días más.

Entonces, podemos comparar esta situación con lo que está pasando actualmente con la máquina NCM- 2000 del laboratorio. Al igual que muchos talleres en el país han modernizado una máquina CNC vieja que poseen o que compraron en buen estado mecánico desechando el control antiguo e instalando un control numérico nuevo. En unas cuantas semanas se tiene una máquina con las ventajas de un control con tecnología de punta, a una fracción de lo que costaría una máquina nueva de un tamaño similar y con las mismas especificaciones técnicas.

Los laboratorios de CAD/CAM necesitan tener equipos con tecnología actual: mecánica, electrónica, sistemas informáticos, hardware y software, incluyendo: sensores, actuadores, autómatas programables, robots industriales, CNC, sistemas automáticos de inspección y control de calidad, etc, como se muestra en la FIG 1.2.



FIG 1. 2 Equipos de un Laboratorio de CAD/CAM.

**Fuente:** Autor

Desde el punto de vista pedagógico, las prácticas son una parte muy importante para la educación de los estudiantes en todas las carreras de la ingeniería. Con la aplicación de los conocimientos teóricos los estudiantes aprenden a solucionar problemas técnicos de sistemas complejos. Por eso es importante aplicar los métodos enseñados en clase, por medio de prácticas o proyectos. Además, permiten que el estudiante innove en la aplicación de técnicas avanzadas de control, adquisición de datos, optimización de los procesos, etc.

Es verdad que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica y Mecánica poseen CNC en el laboratorio de Máquinas y herramientas, sin embargo se podría aprovechar el desuso de la máquina NCM – 200 para dar plusvalía al Laboratorio de CAD/CAM contando con una CNC didáctica para la aplicación de conocimientos teóricos como manufactura, automatización, controladores, instrumentación y sensores, tal es caso de la FIG. 1.3 de una CNC didáctica utilizada en los laboratorios en diferentes universidades del mundo.



FIG 1. 3 (a) Fresadora CNC (b) Torno CNC (control numérico computarizado)

**Fuente:** Autor

La máquina NCM – 2000 fue implementada en el año 1994 y funcionaba bajo DOS y bajo los principios fundamentales de las máquinas y herramientas, lo cual las convierte en operativas, presentando como única desventaja la utilización de software propio de la máquina, el cual frente a las nuevas herramientas computacionales actualmente se ha considerado obsoleto. Por lo explicado y sabiendo del desuso actual de la maquina NCM – 2000 en el Laboratorio de CAD/CAM, se desea diseñar y construir una

interfaz computacional de control y monitoreo mediante un Software moderno y actual para poder obtener una comunicación efectiva entre el software de mecanizado y la fresadora y de esta manera recuperar una maquina importante para la formación de los estudiantes debido a su importancia didáctica.

Se justifica la realización del proyecto, al conocer el desuso y obsolescencia de la misma que limita el aprendizaje de los estudiantes, así como también se justifica, al considerar los costos entre el adquirir un software para obtener la compatibilidad, derechos y licencias de uso, en comparación con el costo que representa desarrollarlo como un proyecto de Tesis que son considerablemente menos costosos ya que no se tendrá que cancelar licencias de uso, y el estudiante que lo desarrolla será el responsable de los derechos en conjunto con la Facultad.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL.**

- Contribuir en la mejora del equipamiento y funcionamiento del laboratorio de CAD/CAM de la ESPE mediante el desarrollo de una interfaz computacional de control y monitoreo para la máquina NCM-2000.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Diseñar y construir el sistema de interfaz computacional de bajo costo capaz de generar el código G, que sea amigable al usuario y que permita un fácil monitoreo del proceso de manufactura.
- Adecuar el sistema de control computarizado a la máquina de herramienta NCM-2000

- Diseñar y adquirir los circuitos eléctricos y electrónicos para:
  - Interfaz de comunicación
  - Drivers (controladores).
  
- Comprobar mediante pruebas físicas la correcta compatibilidad entre el programa y la máquina NCM-2000, comparando el diseño realizado con el producto del maquinado.
  
- Realizar los Manuales de Operación, Pruebas y Mantenimiento de la maquina NCM - 2000.
  
- Evaluar los beneficios económicos del proyecto.

## **1.4 ALCANCE DEL PROYECTO**

### **1.4.1. SISTEMA MECANICO**

El Sistema constará con los siguientes elementos mecánicos:

- Diseño planteando para materiales blandos como: madera, aglomerados, acrílico, plásticos, polifan.
  
- Análisis de la mecánica del proceso de fresado como velocidad de corte, potencia de corte, velocidad de giro de la herramienta, velocidad de avance, profundidad de pasada, anchura de corte.
  
- Montaje e instalación de sensores y motores eléctricos para el movimiento de los ejes X, Y y Z.
  
- Análisis del estado de componentes mecánicos y partes constitutivas.

### 1.4.2. SISTEMA ELECTRÓNICO/ELÉCTRICO

- Diseño e implementación de la interfaz computacional de control y monitoreo mediante software, vía USB.
- Selección de motores a pasos para una precisión en el desplazamiento lineal en los ejes X, Y y Z de 0.01mm (aprox. 4 mils)
- Adquisición del circuito impreso controlador o también conocido como driver para aceptar una señal de pulso de pasos y de dirección de cada motor de los ejes X, Y, Z y de los sensores tipo final de carrera.
- Establecer los protocolos para la interfaz de comunicación con los drivers a implementar.
- Calibrar los drivers utilizados con el fin de obtener los desplazamientos lineales deseados.
- Control de encendido y apagado con cambio de giro del motor trifásico que funciona como husillo.
- Diseño eléctrico e implementación de cableado buscando optimizar la cantidad de material requerido.

### 1.4.3. SISTEMA DE CONTROL

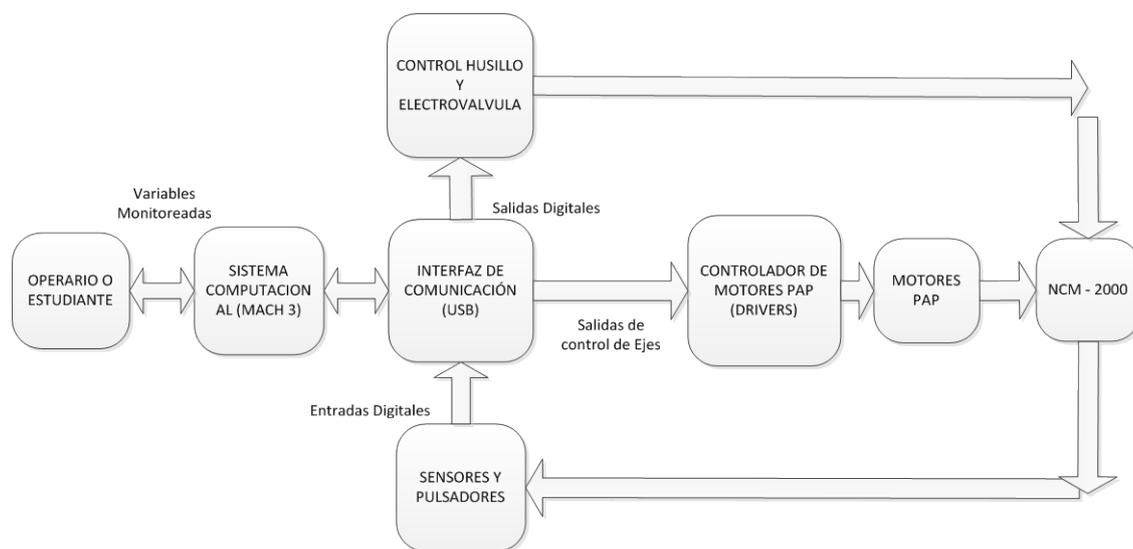


FIG 1. 4 Diagrama de Bloques de Sistema de Interfaz Computacional

**Fuente:** Autor

El sistema que se diseñará, cumple con la siguiente secuencia de operaciones:

#### OPERARIO O ESTUDIANTE

- 1) Ingreso de archivos o imágenes.

#### INTERFAZ COMPUTACIONAL DE CONTROL Y MONITOREO

- 1) Interpretación y obtención de datos de los archivos e imágenes internamente por software.
- 2) Transformación de todos los datos obtenidos a código G internamente por software.
- 3) Ejecución del código (computador y máquina CNC).

## CAPÍTULO 2: GENERALIDADES DEL CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO Y MECÁNICA DEL PROCESO DE FRESADO

En este capítulo se analizarán conceptos básicos sobre control numérico computarizado para automatizar fresadoras convencionales y sobre conceptos generales en lo que consiste la mecánica del proceso de fresado y todas sus variables que intervienen en el mismo.

Al final del capítulo se realizará un análisis mecánico de la máquina NCM-200 para determinar el estado en el que se encontraban las piezas que conforman la misma, debido al desuso y obsolescencia.

### 2.1. INTRODUCCIÓN

La fresadora es una máquina dotada de una herramienta característica, denominada fresa, que animada de un movimiento de rotación, mecaniza superficies en piezas que se desplazan con movimiento rectilíneo bajo la herramienta (Investigación, 2013).



FIG 2. 1 Fresadora Universal con sus accesorios

**Fuente:** [www.cede.es](http://www.cede.es)

Si el eje de la fresa se halla dispuesto paralelamente a la superficie a mecanizar, el fresado se denomina cilíndrico (FIG 2.2 a). En este caso, la fresa puede girar en sentido contrario al avance, denominándose fresado normal o en el mismo sentido, que es el fresado en concordancia.

Cuando el eje de la fresa es perpendicular a la superficie de la pieza que se mecaniza, el fresado se denomina frontal (FIG 2.2.b).

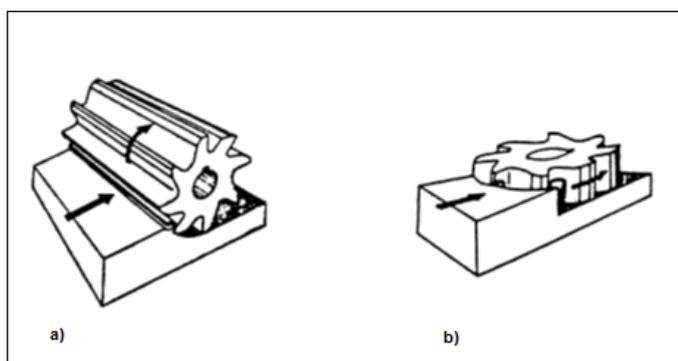


FIG 2. 2 a) Fresado Cilíndrico b) Fresado Frontal

**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/23941983/FRESADORA>

Los movimientos de trabajo de la fresadora son:

- Movimiento de corte: por rotación de la fresa.
- Movimiento de avance: por desplazamiento rectilíneo de la pieza.
- Movimiento de profundidad de pasada: por desplazamiento vertical de la pieza.

Actualmente, la fresadora tiene un campo de aplicación para el mecanizado de piezas pequeñas casi ilimitado, y como además se pueden equipar con dispositivos de fresado, las cepilladoras, las mandrinadoras, etc., el fresado como operación se ha extendido a la mecanización de piezas de cualquier tamaño.

Las fresadoras tienen mucho mayor rendimiento que las demás máquinas herramientas para la misma operación, pues como cada diente o arista de la

fresa no está en fase de trabajo y, por tanto, en contacto con la pieza más que una fracción del tiempo que dura una revolución de la fresa, experimenta ésta menos fatiga, tiene menor desgaste y trabaja a temperatura inferior que las cuchillas de los tornos, sin que pueda considerarse su trabajo intermitente, ya que siempre hay una arista de la fresa en fase de trabajo.

## **2.2. TIPOS DE FRESADORAS**

Las fresadoras pueden clasificarse según varios aspectos, como la orientación del eje de giro o el número de ejes de operación. A continuación se indican las clasificaciones más usuales. (Lasheras, 2010)

### **2.2.1. FRESADORAS SEGÚN LA ORIENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA**

Dependiendo de la orientación del eje de giro de la herramienta de corte, se distinguen tres tipos de fresadoras: horizontales, verticales y universales.

- **Fresadora horizontal (FIG.2.3).**- utiliza fresas cilíndricas que se montan sobre un eje horizontal accionado por el cabezal de la máquina y apoyado por un extremo sobre dicho cabezal y por el otro sobre un rodamiento situado en el puente deslizante llamado carnero. Esta máquina permite realizar principalmente trabajos de ranurado, con diferentes perfiles o formas de las ranuras. Cuando las operaciones a realizar lo permiten, principalmente al realizar varias ranuras paralelas, puede aumentarse la productividad montando en el eje portaherramientas varias fresas conjuntamente formando un tren de fresado. La profundidad máxima de una ranura está limitada por la diferencia entre el radio exterior de la fresa y el radio exterior de los casquillos de separación que la sujetan al eje portafresas.



FIG 2. 3 Fresadora Horizontal

**Fuente:** <http://aquitodovale.com/fresadora-horizontal-o-plana/>

- **Fresadora vertical (FIG.2.4).**- En una fresadora vertical, el eje del husillo está orientado verticalmente, perpendicular a la mesa de trabajo. Las fresas de corte se montan en el husillo y giran sobre su eje. En general, puede desplazarse verticalmente, bien el husillo, o bien la mesa, lo que permite profundizar el corte. Hay dos tipos de fresadoras verticales: las fresadoras de banco fijo o de bancada y las fresadoras de torreta o de consola. En una fresadora de torreta, el husillo permanece estacionario durante las operaciones de corte y la mesa se mueve tanto horizontalmente como verticalmente. En las fresadoras de banco fijo, sin embargo, la mesa se mueve sólo perpendicularmente al husillo, mientras que el husillo en sí se mueve paralelamente a su propio eje.



FIG 2. 4 Fresadora Vertical

**Fuente:** <http://www.cardosomaquinas.com.br/operatr/espan/>

- **Fresadora universal (FIG.2.5).**- una fresadora de este tipo tiene un husillo principal para el acoplamiento de ejes portaherramientas horizontales y un cabezal que se acopla a dicho husillo y que convierte la máquina en una fresadora vertical. Su ámbito de aplicación está limitado principalmente por el costo y por el tamaño de las piezas que se pueden trabajar. En las fresadoras universales, al igual que en las horizontales, el puente es deslizante, conocido en el argot como carnero, puede desplazarse de delante a detrás y viceversa sobre unas guías.



FIG 2. 5 Fresadora Universal

**Fuente:** <http://www.famasa.com/product.php?id=94>

## 2.2.2. FRESADORAS ESPECIALES

Además de las fresadoras tradicionales, existen otras fresadoras con características especiales que pueden clasificarse en determinados grupos. Sin embargo, las formas constructivas de estas máquinas varían sustancialmente de unas a otras dentro de cada grupo, debido a las necesidades de cada proceso de fabricación.

- **Fresadoras circulares (FIG 2.6).**- tienen una amplia mesa circular giratoria, por encima de la cual se desplaza el carro portaherramientas, que puede tener uno o varios cabezales verticales, por ejemplo, uno para operaciones de desbaste y otro para operaciones de acabado. Además pueden montarse y desmontarse piezas en una parte de la mesa mientras se mecanizan piezas en el otro lado.



FIG 2. 6 Fresado Circular

**Fuente:** [http://www.hofmann-equilibrado.es/uploads/pics/bremsscheiben-bvw-fm\\_04.jpg](http://www.hofmann-equilibrado.es/uploads/pics/bremsscheiben-bvw-fm_04.jpg)

- **Fresadoras copiadoras (FIG.2.7).**- disponen de dos mesas, una de trabajo sobre la que se sujeta la pieza a mecanizar y otra auxiliar sobre la que se coloca un modelo. El eje vertical de la herramienta está suspendido de un mecanismo con forma de pantógrafo que está conectado también a un palpador sobre la mesa auxiliar. Al seguir con el palpador el contorno del

modelo, se define el movimiento de la herramienta que mecaniza la pieza. Otras fresadoras copiadoras utilizan, en lugar de un sistema mecánico de seguimiento, sistemas hidráulicos, electro-hidráulicos o electrónicos.



FIG 2. 7 Fresadora Copiadora.

**Fuente:** [http://www.emmegi.com/allegati/copia380\\_big.jpg](http://www.emmegi.com/allegati/copia380_big.jpg)

- **Fresadoras de pórtico (FIG.2.8).**- también conocidas como fresadoras de puente, el cabezal portaherramientas vertical se halla sobre una estructura con dos columnas situadas en lados opuestos de la mesa. La herramienta puede moverse verticalmente y transversalmente y la pieza puede moverse longitudinalmente. Algunas de estas fresadoras disponen también a cada lado de la mesa sendos cabezales horizontales que pueden desplazarse verticalmente en sus respectivas columnas, además de poder prolongar sus ejes de trabajo horizontalmente. Se utilizan para mecanizar piezas de grandes dimensiones.

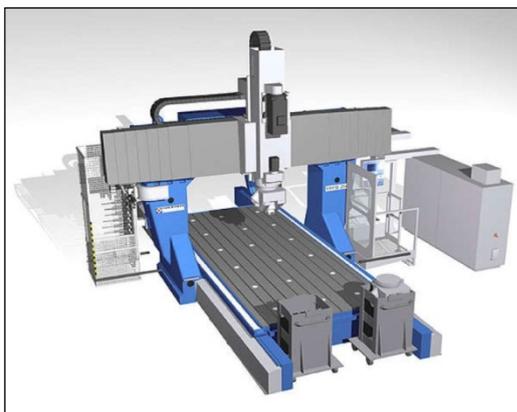


FIG 2. 8 Fresadora de Pórtico.

**Fuente:** <http://www.famasa.com/product.php?id=2821>

- **Fresadoras de puente móvil (FIG.2.9).**- en lugar de moverse la mesa, se mueve la herramienta en una estructura similar a un puente grúa. Se utilizan principalmente para mecanizar piezas de grandes dimensiones.



FIG 2. 9 Fresadora de Puente Móvil.

**Fuente:** <http://www.industriemontanari.sm/emmedue/spagnolo/astra.html>

- **Fresadora para madera (FIG.2.10).**- es una máquina portátil que utiliza una herramienta rotativa para realizar fresados en superficies planas de madera. Son empleadas en bricolaje y ebanistería para realizar ranurados, como juntas de cola de milano o machihembrados; cajeados, como los necesarios para alojar cerraduras o bisagras en las puertas; y perfiles, como molduras. Las herramientas de corte que utilizan son fresas

para madera, con dientes mayores y más espaciados que los que tienen las fresas para metal.



FIG 2. 10 Fresadora para Madera.

**Fuente:** <http://www.pasarlascanutas.com/estacd/cornershelving101.JPG>

### 2.2.3. FRESADORAS SEGÚN EL NÚMERO DE EJES

Las fresadoras pueden clasificarse en función del número de grados de libertad que pueden variarse durante la operación de arranque de viruta.

- **Fresadora de tres ejes (FIG.2.11).**- Puede controlarse el movimiento relativo entre pieza y herramienta en los tres ejes de un sistema cartesiano.



FIG 2. 11 Fresadora Vertical de 3 ejes.

**Fuente:** [http://www.directindustry.es/prod/baileigh-industrial/fresadoras-verticales-3-ejes-17810-518623.html#product-item\\_518626](http://www.directindustry.es/prod/baileigh-industrial/fresadoras-verticales-3-ejes-17810-518623.html#product-item_518626)

- **Fresadora de cuatro ejes (FIG.2.12).**- Además del movimiento relativo entre pieza y herramienta en tres ejes, se puede controlar el giro de la pieza sobre un eje, como con un mecanismo divisor o un plato giratorio. Se utilizan para generar superficies con un patrón cilíndrico, como engranajes o ejes estriados.



FIG 2. 12 Fresadora CNC conversión de 4 ejes con torno.

**Fuente:** <http://foro.metalaficion.com/index.php?topic=4691.0>

- **Fresadora de cinco ejes (FIG.2.13).**- 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 (como con un mecanismo divisor y un plato giratorio en una fresadora vertical); o bien el giro de la pieza sobre un eje horizontal y la inclinación de la herramienta alrededor de un eje perpendicular al anterior. Se utilizan para generar formas complejas, como el rodete de una turbina Francis.



FIG 2. 13 Fresadora CNC de 5 ejes.

**Fuente:** <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/503841>

## 2.3. MOVIMIENTOS DE FRESADO

### 2.3.1. MOVIMIENTOS BÁSICOS.

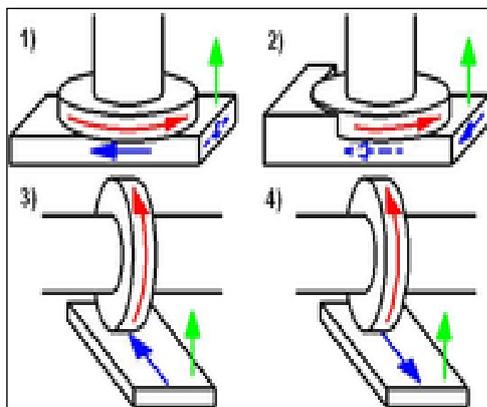


FIG 2. 14 Movimientos básicos de fresado.

**Fuente:** [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Movimientos\\_b%C3%A1sicos\\_fresado.PNG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Movimientos_b%C3%A1sicos_fresado.PNG)

- 1.- Fresado frontal
- 2.- Fresado frontal y tangencial
- 3.- Fresado tangencial en oposición.
- 4.- Fresado tangencial en concordancia.

- Movimiento de corte
- Movimiento de avance
- Movimiento de profundidad de pasada.

### 2.3.2. MOVIMIENTOS DE LA HERRAMIENTA

El principal movimiento de la herramienta es el giro sobre su eje. En algunas fresadoras también es posible variar la inclinación de la herramienta o incluso prolongar su posición a lo largo de su eje de giro. En las fresadoras de puente móvil todos los movimientos los realiza la herramienta mientras la pieza permanece inmóvil. (Wikipedia, 2013)

### 2.3.3. MOVIMIENTOS DE LA MESA

La mesa de trabajo se puede desplazar de forma manual o automática con velocidades de avance de mecanizado o con velocidades de avance rápido en vacío. Para ello cuenta con una caja de avances expresados de mm/minuto, donde es posible seleccionar el avance de trabajo adecuado a las condiciones tecnológicas del mecanizado.

- Movimiento longitudinal: según el eje X, que corresponde habitualmente al movimiento de trabajo. Para facilitar la sujeción de las piezas la mesa está dotada de unas ranuras en forma de T para permitir la fijación de mordazas u otros elementos de sujeción de las piezas y además puede inclinarse para el tallado de ángulos. Esta mesa puede avanzar de forma automática de acuerdo con las condiciones de corte que permita el mecanizado.
- Movimiento transversal: según el eje Y, que corresponde al desplazamiento transversal de la mesa de trabajo. Se utiliza básicamente para posicionar la herramienta de fresar en la posición correcta.
- Movimiento vertical: según el eje Z, que corresponde al desplazamiento vertical de la mesa de trabajo. Con el desplazamiento de este eje se establece la profundidad de corte del fresado.
- Giro respecto a un eje longitudinal: según el grado de libertad U FIG 2.15. Se obtiene con un cabezal divisor o con una mesa oscilante.
- Giro respecto a un eje vertical: según el grado de libertad W FIG 2.15. En algunas fresadoras se puede girar la mesa  $45^\circ$  a cada lado, en otras la mesa puede dar vueltas completas.

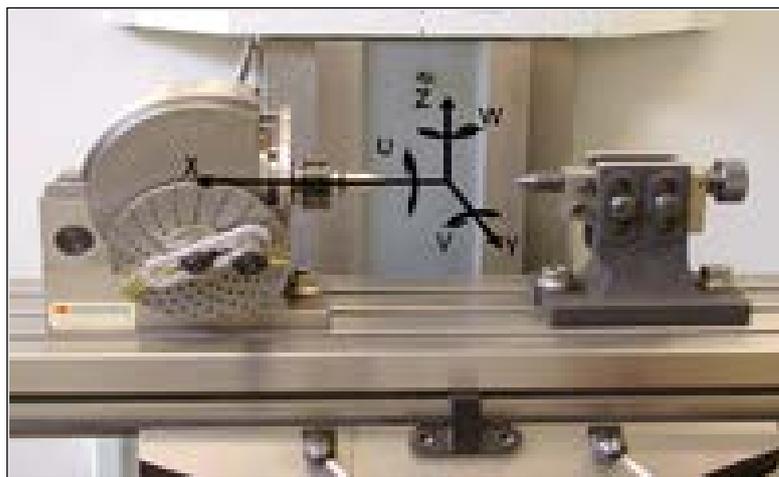


FIG 2. 15 Giros respecto a un eje

**Fuente:** [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:IndexingHead-Tailstock\\_\(axis\).PNG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:IndexingHead-Tailstock_(axis).PNG)

#### 2.3.4. MOVIMIENTO RELATIVO ENTRE PIEZA Y HERRAMIENTA

El movimiento relativo entre la pieza y la herramienta puede clasificarse en tres tipos básicos:

- El movimiento de corte es el que realiza la punta de la herramienta alrededor del eje del portaherramientas.
- El movimiento de avance es el movimiento de aproximación de la herramienta desde la zona cortada a la zona sin cortar.
- El movimiento de profundización de perforación o de profundidad de pasada es un tipo de movimiento de avance que se realiza para aumentar la profundidad del corte.

## 2.4. OPERACIONES DE FRESADO

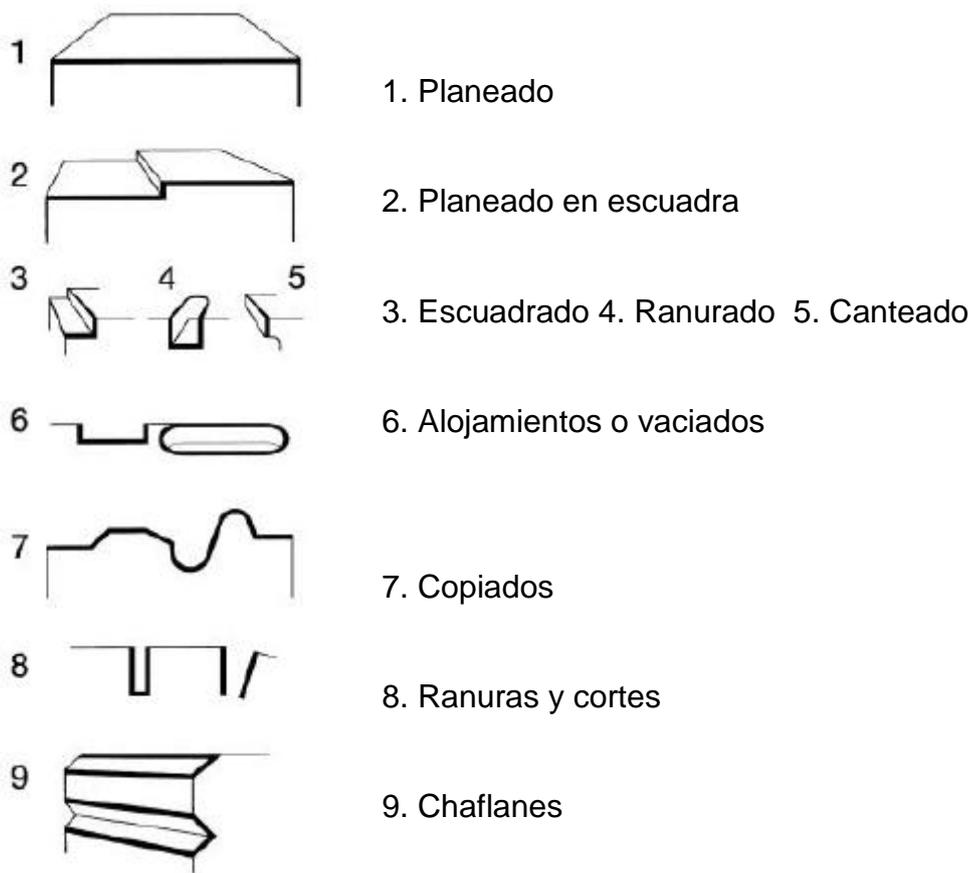


FIG 2. 16 Tipos de trabajos que se realizan con las fresadoras

**Fuente:** Autor

## 2.5. MECÁNICA DEL PROCESO DE FRESADO.

Los parámetros tecnológicos fundamentales que hay que considerar en el proceso de fresado son los siguientes: (Cruz Teruel, 2005)

- Elección del tipo de máquina, accesorios y sistemas de fijación de pieza y herramienta más adecuados.
- Elección del tipo de fresado: frontal, tangencial en concordancia o tangencial en oposición.

- Elección de los parámetros de corte: velocidad de corte ( $V_c$ ), velocidad de giro de la herramienta ( $n$ ), velocidad de avance ( $V_a$ ), profundidad de pasada ( $p$ ), anchura de corte ( $A_c$ ), etc.

No hay unanimidad dentro del sector del mecanizado en las denominaciones de los procedimientos de fresado. El fresado tangencial también es denominado fresado periférico, fresado cilíndrico o fresado helicoidal. Los dos tipos de fresados tangenciales también son conocidos con varias denominaciones:

- Fresado en concordancia: fresado hacia abajo o fresado equicorriente.
- Fresado en oposición: fresado hacia arriba o fresado normal.

En el fresado en concordancia, la herramienta gira en el mismo sentido en el que avanza la pieza. Este tipo de fresado es también conocido como fresado hacia abajo debido a que, cuando el eje de giro de la fresa es horizontal, la componente vertical de la fuerza de corte está dirigida hacia la abajo. En el fresado en oposición, también conocido como fresado hacia arriba, ocurre lo contrario, es decir, la herramienta gira en sentido contrario al avance de la pieza y la componente vertical de la fuerza de corte se dirige hacia arriba.

Para obtener una buena calidad en la superficie mecanizada, el fresado en concordancia es el método de fresado más recomendable siempre que la máquina, la herramienta y los utillajes lo permitan.

En el fresado en oposición FIG.2.17, el espesor de la viruta y la presión de corte aumentan según avanza la herramienta, por lo que se requiere menos potencia para la máquina. Sin embargo, este método presenta varios inconvenientes. Produce vibraciones en la máquina y una peor calidad superficial del mecanizado. Hay que tener cuidado con la sujeción de la pieza porque el empuje de la herramienta tenderá a expulsarla del amarre.

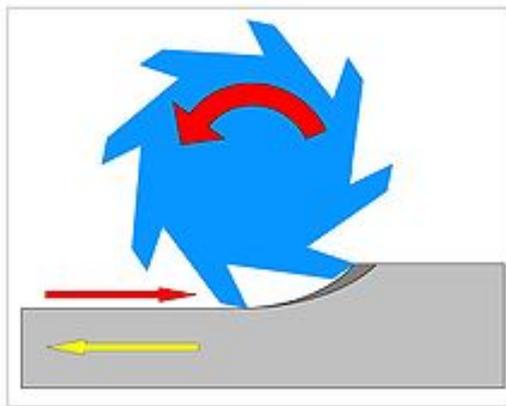


FIG 2. 17 Fresado en Oposición.

**Fuente:**[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fresado\\_en\\_oposici%C3%B3n\\_2.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fresado_en_oposici%C3%B3n_2.JPG)

En el fresado en concordancia FIG 2.18., los dientes de la fresa inician el corte de la pieza con el máximo espesor de viruta, por lo que se necesita mayor esfuerzo de corte que en el fresado en oposición. Cuando la fresa se retira de la pieza, el espesor de la viruta es menor y por tanto la presión de trabajo es menor, produciendo así un mejor acabado de la superficie mecanizada. Este método de fresado requiere máquinas de mayor potencia y rigidez. Este fresado favorece la sujeción de la pieza porque tiende a apretarla hacia abajo.

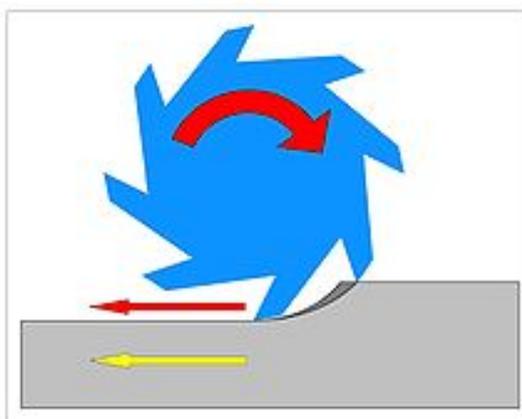


FIG 2. 18 Fresado en concordancia.

**Fuente:**[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fresado\\_en\\_concordancia\\_2.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fresado_en_concordancia_2.JPG)

Al utilizar herramientas cuyos filos de corte permiten avanzar el corte en dirección axial y en dirección radial, como en las fresas de planear o las bailarinas, en la mayoría de los casos es recomendable que, cuando la fresa está cortando, se realicen prioritariamente los movimientos de avance en la dirección radial. Esto es debido a que la geometría de los filos de corte, en la mayoría de los casos, está diseñada para que se desgasten más lentamente al avanzar el corte en dirección radial. Teniendo esto en cuenta, los movimientos de profundización con estas herramientas se realizan preferentemente en vacío, se limitan a una perforación inicial o dicha perforación se realiza con otras herramientas, por ejemplo brocas o coronas trepanadoras. No obstante, cuando se utilizan plaquitas redondas en fresas de perfilar es indiferente la dirección de avance.

### **2.5.1. VELOCIDAD DE CORTE.**

Se define como velocidad de corte la velocidad lineal de la periferia de la fresa u otra herramienta que se utilice en el fresado. La velocidad de corte, que se expresa en metros por minuto (m/min), tiene que ser elegida antes de iniciar el mecanizado y su valor adecuado depende de muchos factores, especialmente de la calidad y tipo de fresa que se utilice, de la dureza y la maquinabilidad que tenga el material que se mecanice y de la velocidad de avance empleada. Las limitaciones principales de la máquina son su gama de velocidades, la potencia de los motores y de la rigidez de la fijación de la pieza y de la herramienta.

### **2.5.2. VELOCIDAD DE GIRO DE LA HERRAMIENTA.**

La velocidad de rotación del husillo portaherramientas se expresa habitualmente en revoluciones por minuto (rpm). En las fresadoras convencionales hay una gama limitada de velocidades, que dependen de la velocidad de giro del motor principal y del número de velocidades de la caja de cambios de la máquina. En las fresadoras de control numérico, esta velocidad es controlada con un sistema de realimentación en el que puede

seleccionarse una velocidad cualquiera dentro de un rango de velocidades, hasta una velocidad máxima.

### 2.5.3. VELOCIDAD DE AVANCE.

El avance o velocidad de avance en el fresado es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir, la velocidad con la que progresa el corte. El avance y el radio de la punta de la herramienta de corte son los dos factores más importantes de los cuales depende la rugosidad de la superficie obtenida en el fresado.

Este rango de velocidades se determina experimentalmente y se encuentra en los catálogos de los fabricantes de plaquitas. Además esta velocidad está limitada por las rigideces de las sujeciones de la pieza y de la herramienta y por la potencia del motor de avance de la máquina. El grosor máximo de viruta en mm es el indicador de limitación más importante para una herramienta de fresado. El filo de corte de las herramientas se prueba para que tenga un valor determinado entre un mínimo y un máximo de grosor de la viruta.

### 2.5.4. PROFUNDIDAD DE CORTE O PASADA

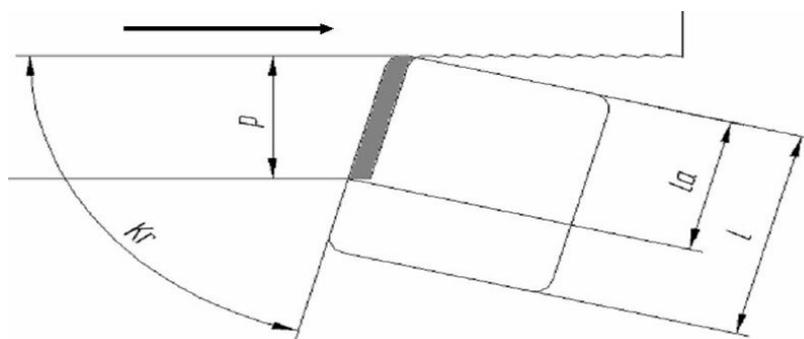


FIG 2. 19 Diagrama de fresado frontal.

**Fuente:** <http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora>

Dónde:

p: profundidad de pasada

la: longitud de corte efectiva

l: longitud de arista de corte

Kr: ángulo de posición.

La profundidad de corte o profundidad de pasada (p) es la profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta. Habitualmente se expresa en milímetros (mm). La anchura de corte (s), expresado en mm, es la anchura de la parte de la pieza implicada en el corte. Estos parámetros hay que tenerlos en cuenta por la influencia que tiene en el cálculo de la sección de viruta y consecuentemente en la fuerza de corte necesaria para poder realizar el mecanizado.

La profundidad de pasada se establece a priori y depende principalmente de las creces de material a mecanizar, del grado de precisión dimensional a conseguir, de la potencia de la máquina y de la relación con respecto al avance seleccionado y de parámetros propios de la plaquita de corte como su tamaño, el radio de la punta y su perfil. Al realizar mecanizados de desbaste se utilizan filos con mayor longitud de arista de corte que permiten realizar mecanizados con mayores profundidades de pasada y velocidades de avance. Sin embargo, para las operaciones de acabado, se requiere una profundidad de corte menor.

### **2.5.5. ESPESOR Y SECCIÓN DE VIRUTA**

El espesor de la viruta corresponde al avance por diente de la fresa. El control de la sección y del espesor de la viruta son factores importantes a la hora de determinar el proceso de mecanizado. Cuanto menor sea el espesor de la viruta en el momento del arranque, la carga del filo será menor y esto permitirá aplicar mayores velocidades de avance por diente sin dañar al mismo, teniendo que reducir la profundidad de corte debido a los menores ángulos de posicionamiento de los filos. El poder controlar la sección de

viruta depende principalmente de varios factores como la potencia de la máquina, la fijación o el sistema de amarre de la pieza, la sección del mango de la herramienta así como de la sujeción de las plaquitas y la geometría de las mismas. El aumento de la sección y espesor de viruta, entre otras variables, implica un aumento de la potencia necesaria para que se realice el arranque de material.

#### **2.5.6. FUERZA ESPECÍFICA DE CORTE**

La fuerza de corte es un parámetro a tener en cuenta para evitar roturas y deformaciones en la herramienta y en la pieza y para poder calcular la potencia necesaria para efectuar un determinado mecanizado. Este parámetro está en función del avance de fresado, de la velocidad de corte, de la maquinabilidad del material, de la dureza del material, de las características de la herramienta y del espesor medio de la viruta. Todos estos factores se engloban en un coeficiente denominado fuerza específica de corte ( $k_c$ ), que se expresa en  $N/mm^2$ .

#### **2.5.7. POTENCIA DE CORTE**

La potencia de corte ( $P_c$ ) necesaria para efectuar un determinado mecanizado habitualmente se expresa en kilovatios (kW) y se calcula a partir del valor del volumen de arranque de viruta, la fuerza específica de corte y del rendimiento que tenga la fresadora. Esta fuerza específica de corte ( $k_c$ ) es una constante que se determina en función del tipo de material que se está mecanizando, la geometría de la herramienta, el espesor de viruta, etc.

## 2.6. CNC EN FRESADORAS



FIG 2. 20 Control Numérico por Computadora

**Fuente:** <http://www.elec-intro.com/EX/05-14-14/images%255Ccnc.jpg>

Las fresadoras con control numérico por computadora (CNC) FIG.2.20 permiten la automatización programable de la producción. Se diseñaron para adaptar las variaciones en la configuración de productos. Su principal aplicación se centra en volúmenes de producción medios de piezas sencillas y en volúmenes de producción medios y bajos de piezas complejas, permitiendo realizar mecanizados de precisión con la facilidad que representa cambiar de un modelo de pieza a otra mediante la inserción del programa correspondiente y de las nuevas herramientas que se tengan que utilizar así como el sistema de sujeción de las piezas.

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 códigos M (funciones auxiliares). Estos números, letras y símbolos, los cuales llegan a incluir &, %, \$ y " (comillas), están codificados en un formato apropiado para definir un programa de instrucciones para desarrollar una tarea concreta. Cuando la tarea en cuestión varía se cambia el programa de instrucciones. En las grandes

producciones en serie, el control numérico resulta útil para la robotización de la alimentación y retirada de las piezas mecanizadas.

Las fresadoras universales modernas cuentan con visualizadores electrónicos donde se muestran las posiciones de las herramientas, según un sistema de coordenadas, y así se facilita mejor la lectura de cotas en sus desplazamientos. Asimismo, a muchas fresadoras se les incorpora un sistema de control numérico por computadora (CNC) que permite automatizar su trabajo. Además, las fresadoras copiadoras incorporan un mecanismo de copiado para diferentes perfiles de mecanizado.

Existen varios lenguajes de programación CNC para fresadoras, todos ellos de programación numérica, entre los que destacan el lenguaje normalizado internacional ISO y los lenguajes HEIDENHAIN, Fagor y Siemens. Para desarrollar un programa de CNC habitualmente se utilizan simuladores que, mediante la utilización de una computadora, permiten comprobar la secuencia de operaciones programadas.

### **2.6.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO CNC**

Para mecanizar una pieza se usa un sistema de coordenadas que especificarán el movimiento de la herramienta de corte. El sistema se basa en el control de los movimientos de la herramienta de trabajo con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un programa informático ejecutado por un ordenador.

En el caso de las fresadoras se controlan los desplazamientos horizontales de los ejes X, Y y los verticales que corresponden al eje Z. Para ello se incorporan motores en los mecanismos de desplazamiento FIG.2.21.



FIG 2. 21 Adaptación de Motores PAP a una fresadora Convencional

**Fuente:** Autor

### 2.6.2. EQUIPAMIENTO DE UNA FRESADORA CON CNC

Los equipamientos de serie y opcionales que montan las fresadoras actuales son muy variables en función de las prestaciones que tengan, tales como (FIG.2.22):

- Manejo de la información, es necesario tener en cuenta el tipo de lenguaje de programación que es posible utilizar, la capacidad de memoria de la máquina para un uso posterior de los programas almacenados, así como la forma de introducción y modificación de los programas: a pie de máquina, mediante dispositivos de almacenamiento de datos (disquete o memoria USB), o mediante una tarjeta de red.
- La unidad central de proceso (CPU, por sus siglas en inglés) de la máquina controla accionamientos rotativos, para lo cual se utilizan servomotores o motores a pasos que pueden variar su velocidad en un rango continuo. El movimiento lineal de los carros de la mesa se obtiene transformando el movimiento rotacional de los motores mediante husillos de bolas sin juego.

- La CPU obtiene datos del programa y de los sensores instalados, los cuales permiten establecer una realimentación del control de las operaciones. La precisión de estos sensores y la velocidad de procesamiento de la CPU limitan la precisión dimensional que puede obtenerse. El tipo de sensor utilizado ha evolucionado con el tiempo, siendo en la actualidad muy utilizados los sensores de efecto Hall para el control de los desplazamientos y giros realizados. Para controlar la posición del origen del sistema de referencia de los movimientos realizados y el desgaste de la herramienta se utilizan uno o varios finales de carrera de tipo mecánico.
- Además de los movimientos de la pieza y de la herramienta, pueden controlarse de manera automatizada otros parámetros como la herramienta empleada, que puede cambiarse desde un almacén de herramientas instalado en la máquina, el uso o no de fluido refrigerante o la apertura y cierre de las puertas de seguridad.

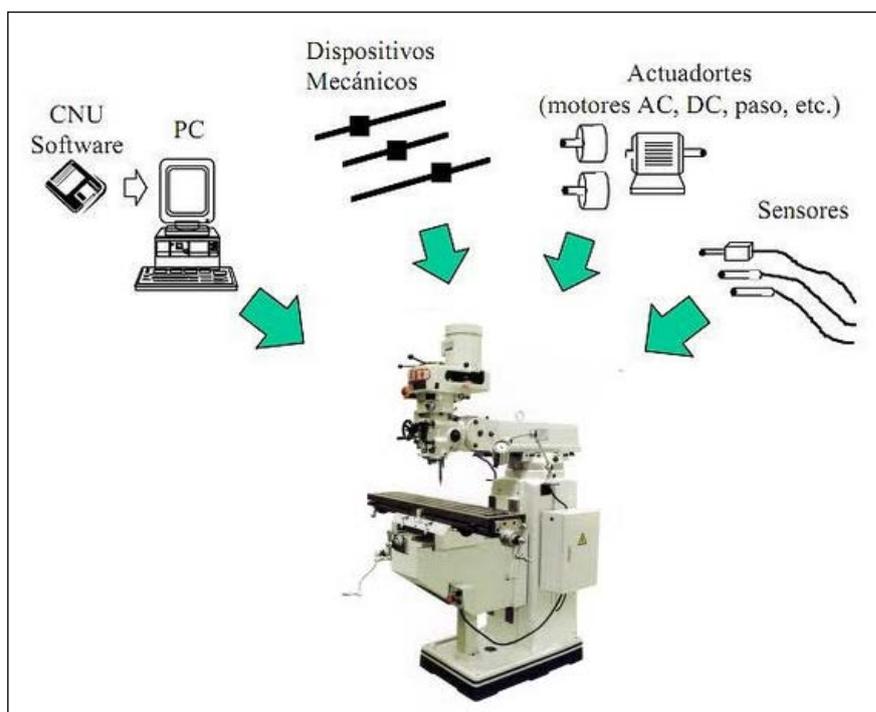


FIG 2. 22 Equipamiento de una fresadora convencional con CNC

**Fuente:** Autor

### **2.6.3. VENTAJAS CNC**

- Aumentar la productividad respecto a las máquinas convencionales y ha hecho posible efectuar operaciones de conformado que son imposibles de realizar con un elevado grado de precisión dimensional en máquinas convencionales, por ejemplo la realización de superficies esféricas.
- El uso del control numérico incide favorablemente en los costos de producción al propiciar la reducción del número de tipos de máquinas utilizadas en un taller de mecanizado, manteniendo o mejorando su calidad.
- Los procesos que utilizan máquinas-herramienta de control numérico tienen un coste horario superior a los procesos que utilizan máquinas convencionales. En el mismo sentido, los tiempos de preparación para un lote son mayores en una máquina de control numérico que en una máquina convencional, pues se necesita preparar la programación de control numérico de las operaciones del proceso. Sin embargo, los tiempos de operación son menores en una máquina de control numérico que en una máquina convencional, por lo cual, a partir de cierto número de piezas en un lote, el mecanizado es más económico utilizando el control numérico.

### **2.6.4. DESVENTAJAS CNC**

- 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. (Cruz Teruel, Sistemas de fabricación de máquinas automatizadas, 2007)

### **2.6.5. COMPARACIÓN DE UNA MAQUINA CONVENCIONAL Y UNA CNC**

Una CNC tiene como finalidad ofrecer una alternativa más rápida y eficiente para diferentes procesos de manufactura, y en muchas ocasiones interactúa con otros procesos, por ejemplo: taladrado de una pieza. Esta operación se podría hacer de la siguiente manera utilizando herramientas convencionales:

1. El operador sujeta una broca en el taladro (manual o de banco)
2. Se asegura de la correcta sujeción.
3. Selecciona la velocidad de rotación (en los taladros d banco, mediante palancas o poleas).
4. Coloca la pieza a maquinar y se asegura de que el maquinado se haga en el lugar correcto.
5. El operador realiza la operación de taladrado.
6. Se retira la herramienta
7. Retira la pieza

Como se puede ver, el hacer un orificio taladrado sobre una pieza, involucra una serie de pasos en los que interviene un operador, esta intervención puede ser aceptable para algunas compañías donde se tenga que hacer un número relativamente pequeño de orificios taladrados, sin embargo cuando el número de taladrado de orificios se eleva, el operador tiende a fatigarse por el número de operaciones repetitivas la calidad de las piezas disminuye por el cansancio del operador. (UNAC, 2011)

Hay que tomar en cuenta que en este ejemplo se ha mencionado una pieza con un orificio, sin embargo la mayoría de las piezas que se fabrican tienen más que un orificio, las que requiere un número mayor de mecanizado, para lo que se requiere de personal especializado y que el error

sea mínimo, así mismo que el grado de error en los maquinados sea menor, en estos casos nos referimos a que una CNC puede remplazar al maquinado convencional.

Expresado lo anterior, tenemos que, todos y cada uno de los pasos que realizó el operador para hacer un taladrado pueden ser programado para que una máquina CNC los pueda realizar una vez que haya sido puesta a punto.

En la siguiente Tabla 2.1 se hace una comparación entre los dos sistemas de mecanizado

TABLA 2. 1 Comparación Máquina Convencional vs CNC

<b>Máquina Herramienta Convencional</b>	<b>Máquina Herramienta CNC</b>
Un operario, solo puede manejar una máquina	Un operario puede operar varias máquinas
Es necesario consultar constantemente el plano	No es necesario consultar repetidamente el plano
Se necesita una amplia experiencia	No es necesaria una amplia experiencia
El operador tiene el control de profundidad, avance, etc	El programa tiene todo el control de los parámetros de corte
Mecanizados imposibles de realizar	Posibilidad de realizar prácticamente cualquier mecanizado

**Fuente:** Autor

## 2.6.6. SISTEMAS DE CONTROL COMPUTARIZADO COMERCIALES

Existen hoy en día varios sistemas de control computarizado, entre los más comunes tenemos (Mundo CNC, 2013):

## Mach3

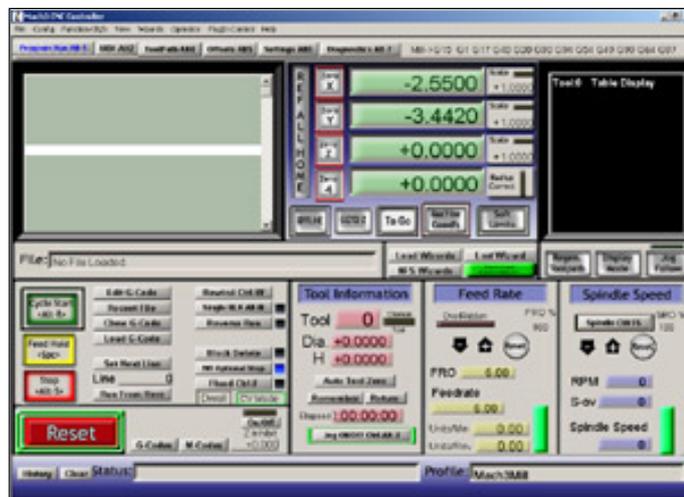


FIG 2. 23 Programa Mach3

Fuente: Propia

Es uno de los programas más utilizados para control CNC disponible como **demo** o con soporte comercial. Funciona bajo Windows y permite utilizar hasta 6 ejes. Sus pantallas, botones y acciones son editables y personalizables lo que abre un sin fin de posibilidades.

## TurboCNC



FIG 2. 24 Programa TurboCNC

Fuente: <http://www.dakeng.com/man/turbocnc.html>

Otro programa popular de control CNC disponible como versión libre, funciona bajo MSDOS lo que permite utilizarlo en PC's de muy escasa potencia. Maneja hasta 8 ejes y aunque su interfaz gráfica es muy sencilla tiene incondicionales adeptos por el control preciso de movimientos.

### LinuxCNC (antes EMC)

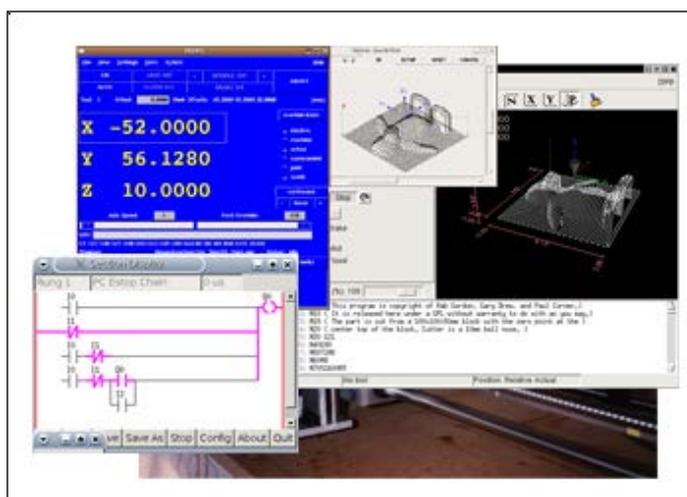


FIG 2. 25 Programa LinuxCNC

**Fuente:** <http://wiki.linuxcnc.org/cgi-bin/wiki.pl>

La comunidad Linux ofrece un controlador GNU, maneja hasta 9 ejes y dispone de una librería abierta de controladores donde puede manejar desde motores paso a paso hasta servomotores por PWM. El diseño de arquitectura abierta le permite no estar "focalizado" como programa de fresado, sino que es un controlador de motores y trayectorias que puede manejar elementos robóticos a través de G-Code (incluso con ejes no Cartesianos como brazos robot).

### 2.6.7. PROGRAMA MACH3 MILL

Para el presente proyecto se implementó MACH3 FIG. 2.26 como sistema de control computarizado debido a requerimiento por parte del Laboratorio de CAD/CAM, también porque es un sistema accesible, muy fácil

de aprender y que se conoce que a muchas empresas ha permitido automatizar sus máquinas convencionales a CNC o crear sus propias máquinas de control numérico a un bajo costo.



FIG 2. 26 Controlador CNC-Mach3

**Fuente:** Autor

Mach 3 es un sistema de control computarizado que permite la comunicación con servomotores o motores a pasos usando una computadora. La versión de Mach 3 está diseñada con un componente integrado que permite la comunicación directa entre el control y el CAD/CAM sin necesidad de guardar y exportar el Código G.

Además, este sistema es uno de los controles más versátiles de la industria. Este controlador es completamente compatible con la mayoría de los sistemas CAD-CAM y máquinas en el mercado. Mach3 es un paquete de software que corre sobre una computadora y lo vuelve en un controlador de máquina muy poderoso y económico para reemplazar (3) en la FIG. 2.27.

Mach3 es compatible con todas las versiones de Windows, su funcionamiento es ideal corriendo en un procesador de 1GHz con una resolución de pantalla de 1024 x 768 pixels. Una máquina de escritorio dará mucho mejor performance que la mayor parte de los ordenadores portátiles pequeños y es considerablemente más barato. Usted puede usar, por

supuesto, esta computadora para cualquier otra función en el taller o laboratorio (tal como (1) en la FIG 2.27 - correr un CAD/CAM) cuando no es necesaria su máquina.

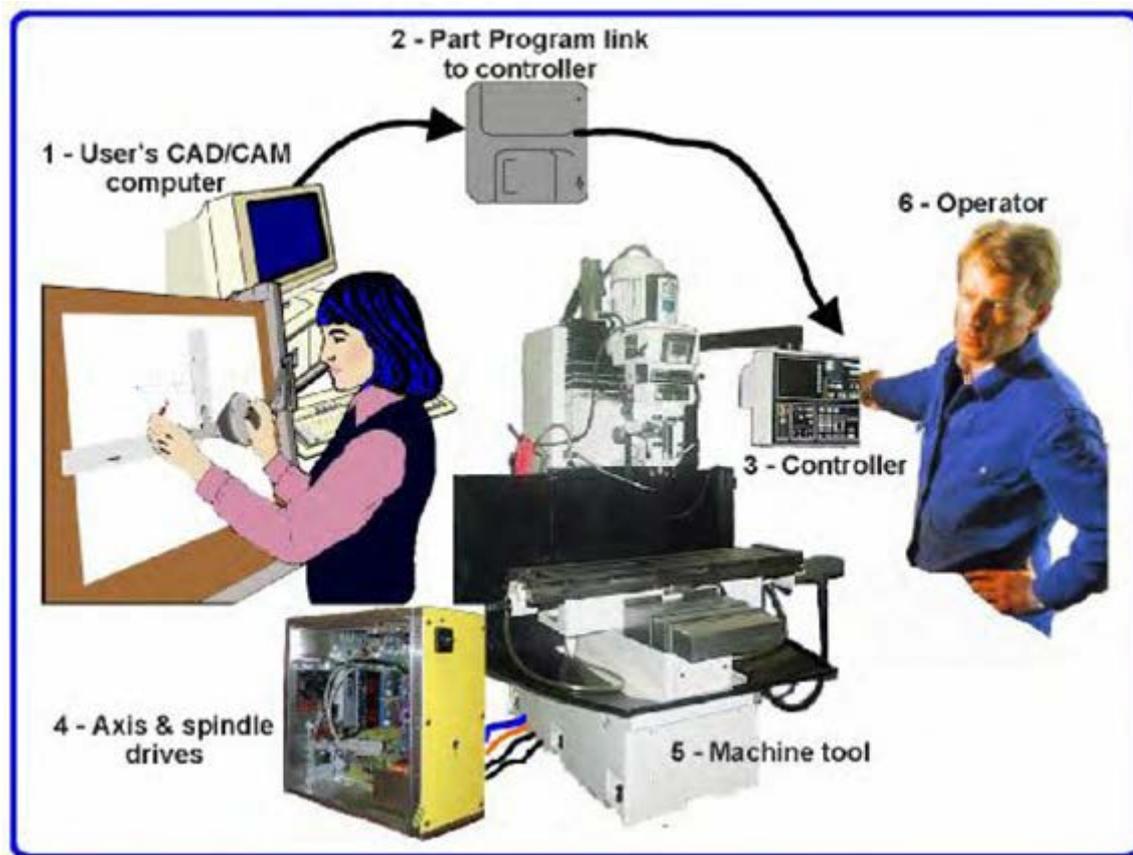


FIG 2. 27 Principio de Funcionamiento de una Máquina CNC

**Fuente:** [http://tallerdedalo.es/web/sites/tallerdedalo.es/files/file/ManualMach3 castellano.pdf](http://tallerdedalo.es/web/sites/tallerdedalo.es/files/file/ManualMach3%20castellano.pdf)

### 2.6.7.1. SEÑALES LÓGICAS

Todas las señales de salida de Mach3 y sus entradas están en digital binario (ceros y unos). Estas señales son los voltajes suministrados por el puerto USB. Estos voltajes son una medida relativa a la línea de 0 volt de la computadora.

En los circuitos de lógica transistor-transistor, cualquier voltaje entre 0 y 0.8 voltios es llamado "lo" y cualquier voltaje entre 2.4 y 5 voltios es

llamado "hi". Conectando un voltaje negativo o un voltaje sobre 5 voltios a una entrada TTL produce daños.

Es, por supuesto, arbitrario si nosotros decimos que un "lo" representa un "uno lógico" o "un cero lógico". Sin embargo, tal cual se explica abajo, "lo" = "uno", es en realidad lo que la mayoría de los circuitos prácticos de interfaz poseen. Para que una señal de salida haga algo, una corriente tiene que circular en el circuito conectado, cuando ésta es "hi" la corriente circulará saliendo de la computadora y cuando es "lo" la corriente circula entrando a la computadora. En la mayoría, cuando la corriente que entra lo más difícil es mantener el voltaje cercano al cero o al límite permitido de 0.8 voltios para obtener "lo". De forma similar, la corriente que sale de un "hi" hará que el voltaje sea inferior y cercano a los 2.4 voltios (límite inferior permitido).

Así con muchas de las corrientes la diferencia entre "lo" y "hi" tendrá menos de 1.6 voltios y las cosas se volverán poco fiables. Finalmente, se toma en cuenta que se permite aproximadamente 20 veces más corriente entrando en un "lo" que saliendo en un "hi". Esto significa que es mejor asignar un 1 lógico a una señal "lo" y es llamado "lo" como activo lógico.

Para ingresar señales, la computadora necesitará tener suministrada alguna corriente (menos de 40 microamps) para las entradas "hi" y suministrará (menos de 0.4 miliamps) para las entradas "lo". (ARTSOFT, 2013)

#### **2.6.7.2. SEÑALES PASO Y DIRECCIÓN (STEP Y DIR)**

Mach3 pone el pulso de paso (1 lógico) en la salida (Step) para cada paso que el eje deba hacer. La dirección (Dir) será puesta antes de que el pulso de paso aparezca. La forma de onda de lógica se parecerá a la mostrada en la FIG 2.28. El espacio entre los pulsos será más pequeño a mayor velocidad de los pasos.

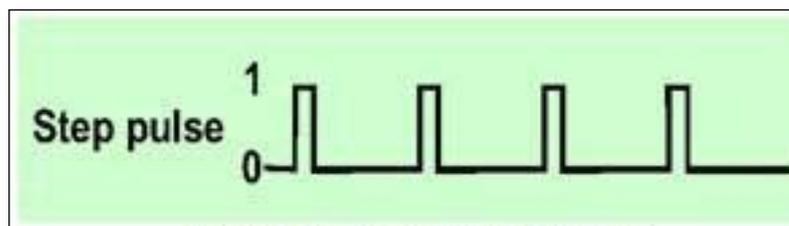


FIG 2. 28 Onda de Pulso

**Fuente:**[http://tallerdedalo.es/web/sites/tallerdedalo.es/files/file/ManualMach3 castellano.pdf](http://tallerdedalo.es/web/sites/tallerdedalo.es/files/file/ManualMach3%20castellano.pdf)

El controlador electrónico normalmente usa la configuración de “lo” activo para señales de Step y Dir. Mach3 debería ser configurado así para las salidas que son “lo” activo. Si esto no se hace entonces la señal de paso iría todavía en bajada pero el controlador pensaría que los espacios entre los pulsos son los pulsos y viceversa y a menudo causaría un movimiento del motor muy brusco o poco confiable. Los pulsos "invertidos" se muestran en la FIG 2.29. (ARTSOFT, 2013)

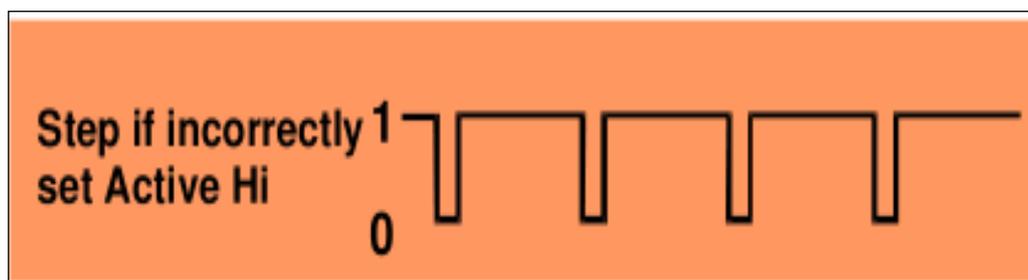


FIG 2. 29 Configuración Incorrecta de Onda de Pulso

**Fuente:**[http://tallerdedalo.es/web/sites/tallerdedalo.es/files/file/ManualMach3 castellano.pdf](http://tallerdedalo.es/web/sites/tallerdedalo.es/files/file/ManualMach3%20castellano.pdf)

### 2.6.7.3. CARACTERISTAS TÉCNICAS

Es un programa muy flexible diseñado para controlar máquinas como las fresadoras. Las características de estas máquinas usadas por Mach3 son:

- Botón de parada de emergencia (EStop)
- Dos o tres ejes que están en ángulo recto entre ellos (citados como X, Y y Z).
- Una herramienta con movimiento relativo a una pieza de trabajo., el origen de los ejes es fijado en relación con la pieza de trabajo y el movimiento relativo puede ser:
  - (i) El movimiento de la herramienta
  - (ii) Por el movimiento de la mesa y la pieza de trabajo

Y opcionalmente:

- interruptores que indican cuando la herramienta está en la posición de inicio "Home"
- Interruptores que definen los límites de movimiento relativo permitido de la herramienta
- Control de husillo.
- Hasta tres ejes adicionales, estos pueden ser definidos como rotativo.
- Un interruptor o interruptores que enlazan los dispositivos de protección en la máquina.
- Controles para el enfriador (líquido y/o niebla)

Funciones especiales:

- Las conexiones pueden hacerse también por un emulador de teclado que genera la presión de pseudo teclas en respuesta a señales de entrada.

- Mach3 controlará los seis ejes, coordinando sus movimientos simultáneos con interpolación lineal o ejecutando interpolación circular en dos ejes.
- Si el mecanismo de su máquina se parece al brazo de un robot o un hexápodo entonces Mach3 no será capaz de controlarlo debido a los cálculos cinemáticos que necesitaría realizar para posicionar la herramienta en las coordenadas X, Y y Z.
- Mach3 puede encender el husillo, hacerlo girar en alguna dirección, y apagarlo.
- Mach3 puede encender y apagar los dos tipos de enfriadores.
- Mach3 almacenará las propiedades de hasta 256 herramientas diferentes. Sin embargo, si su máquina tiene un cambiador automático de herramienta o un almacén de herramientas entonces tendrá que controlarlo manualmente. (ARTSOFT, 2013)

#### **2.6.8. CÓDIGO G**

Código- G, es el nombre del lenguaje de programación que se utiliza para el control de máquinas de tipo CNC. Un programa en escrito en este lenguaje es una lista secuencial de instrucciones que son ejecutadas por la máquina. Cada una de estas instrucciones representa un movimiento que debe realizar la máquina y el conjunto total de instrucciones representa todas las órdenes que se realizarán para el mecanizado de una pieza.

Los posibles valores que acompañan a este comando, van de 00 a 99, y cada uno tiene una función determinada, no se describirán a todos puesto que en el propio mach3 encontraremos el código completo en pantalla principal. Entre los más importantes y utilizados tenemos en la Tabla 2.2 (CNC, 2013):

TABLA 2. 2 Código-G

<b>Comando</b>	<b>Descripción</b>
<b>G00</b>	Interpolación Lineal Rápida.
<b>G01</b>	Interpolación lineal a la velocidad programada en el registro <b>F</b> .
<b>G02</b>	Movimiento Circular en el sentido horario Feedrate.
<b>G03</b>	Movimiento Circular en el sentido anti-horario Feedrate.
<b>G04</b>	Es una demora o una pausa con un tiempo específico.
<b>G17</b>	Selección del Plano X-Y
<b>G18</b>	Selección del Plano X-Z
<b>G19</b>	Selección del Plano Y-Z
<b>G40</b>	Compensación anulada, o al centro de la línea de desplazamiento.
<b>G41</b>	Compensación a la Izquierda de la línea de desplazamiento.
<b>G42</b>	Compensación a la Derecha de la línea de desplazamiento.
<b>G70</b>	Unidad de Datos expresados en Pulgadas.
<b>G71</b>	Unidad de Datos expresados en Milímetros.
<b>G90</b>	Desplazamiento en Modo Absoluto.
<b>G91</b>	Desplazamiento en Modo Incremental o Relativo.

**Fuente:** Autor

### 2.6.9. CÓDIGO M

M: es la dirección correspondiente a las funciones auxiliares o complementarias. Se usan para indicar a la máquina herramienta que se deben realizar operaciones tales como parada programada, rotación del husillo a derechas o a izquierdas, cambio de útil, etc. La dirección M va seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta 100 funciones auxiliares diferentes.

En la siguiente FIG. 2.30 se indica el código M que soporta Mach3, esta tabla la podemos ubicar en la ventana principal del programa. (Buenas tareas, 2013)

<i>M-code</i>	<i>Functions</i>
<b>M0</b>	Program stop
<b>M1</b>	Optional program stop
<b>M2</b>	Program end
<b>M3 / M4</b>	Rotate spindle clockwise/counterclockwise
<b>M5</b>	Stop spindle rotation
<b>M6</b>	Tool Change (by two macros)
<b>M7</b>	Mist coolant on
<b>M8</b>	Flood coolant on
<b>M9</b>	All coolant off
<b>M30</b>	Program end and rewind
<b>M47</b>	Repeat program from first line
<b>M48</b>	Enable speed and feed override
<b>M49</b>	Disable speed and feed override
<b>M98</b>	Call subroutine
<b>M99</b>	Return from subroutine/repeat

FIG 2. 30 Código M que soporta Mach3

Fuente: Autor

## 2.7. ANÁLISIS MECÁNICO DEL ESTADO DE LA MÁQUINA NCM - 2000.

La máquina NCM-2000 en un principio se encontraba como muestra la FIG 2.31 totalmente en desuso, en obsolescencia e inoperable por lo que se decidió realizar un análisis mecánico y mantenimiento de todas las partes constitutivas de la máquina para conocer el estado en que se encontraban.



FIG 2. 31 CNC NCM – 2000

**Fuente:** Autor

### **2.7.1. SIMULACIÓN DE PARTES CONSTITUTIVAS MÁQUINA NCM-2000**

Dado la falta de información que se tenía sobre la máquina se realizó la simulación de la máquina en SolidWorks, para generar los planos constructivos de los diferentes elementos constitutivos de la máquina con objetivo de que los estudiantes conozcan y sepan el funcionamiento mecánico y de que piezas está conformado la misma.

### 2.7.1.1. ESTRUCTURA Y COMPONENTES DE LA MÁQUINA NCM-2000

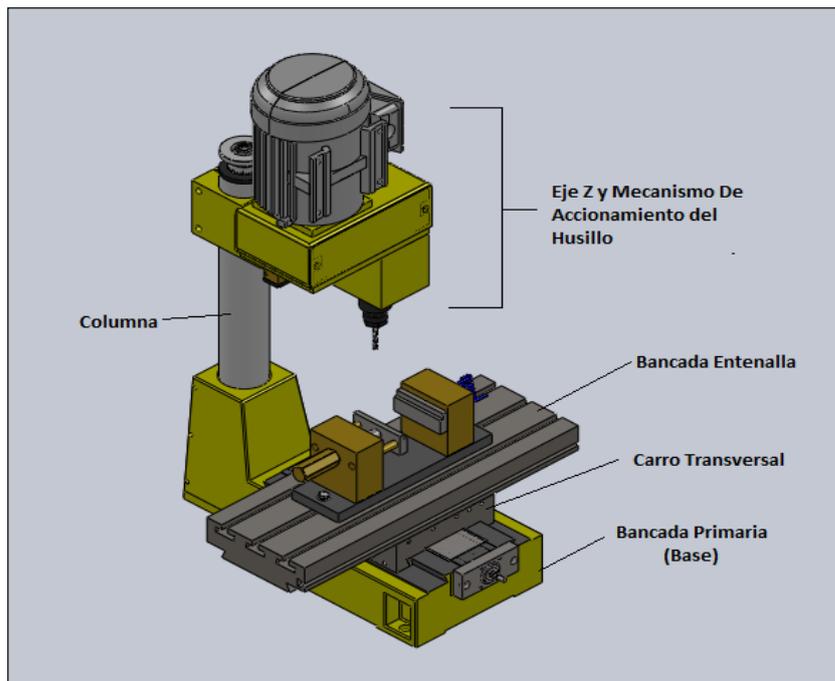


FIG 2. 32 Fresadora – Simulación Solidworks

Fuente: Autor

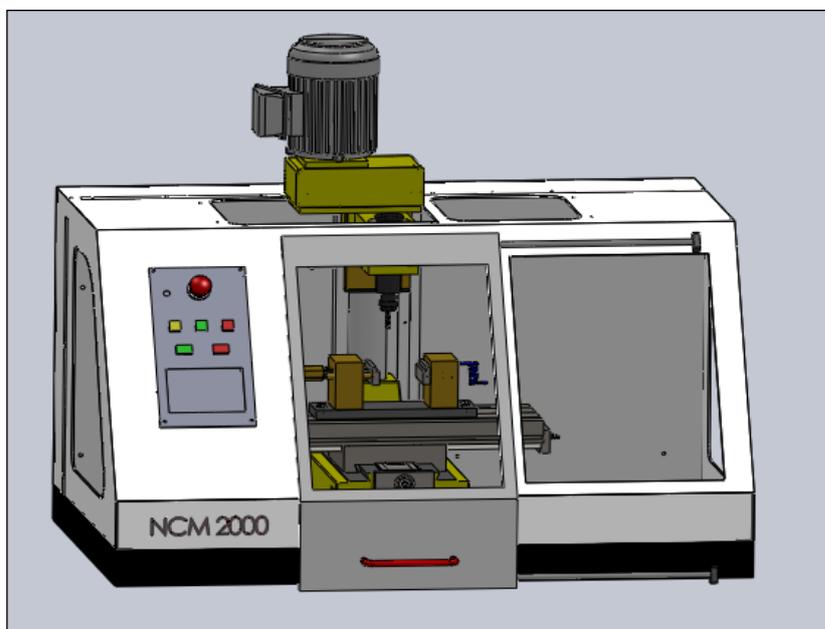


FIG 2. 33 NCM – 2000 – Simulación Solidworks

Fuente: Autor

### 2.7.1.2. BANCADA PRINCIPAL

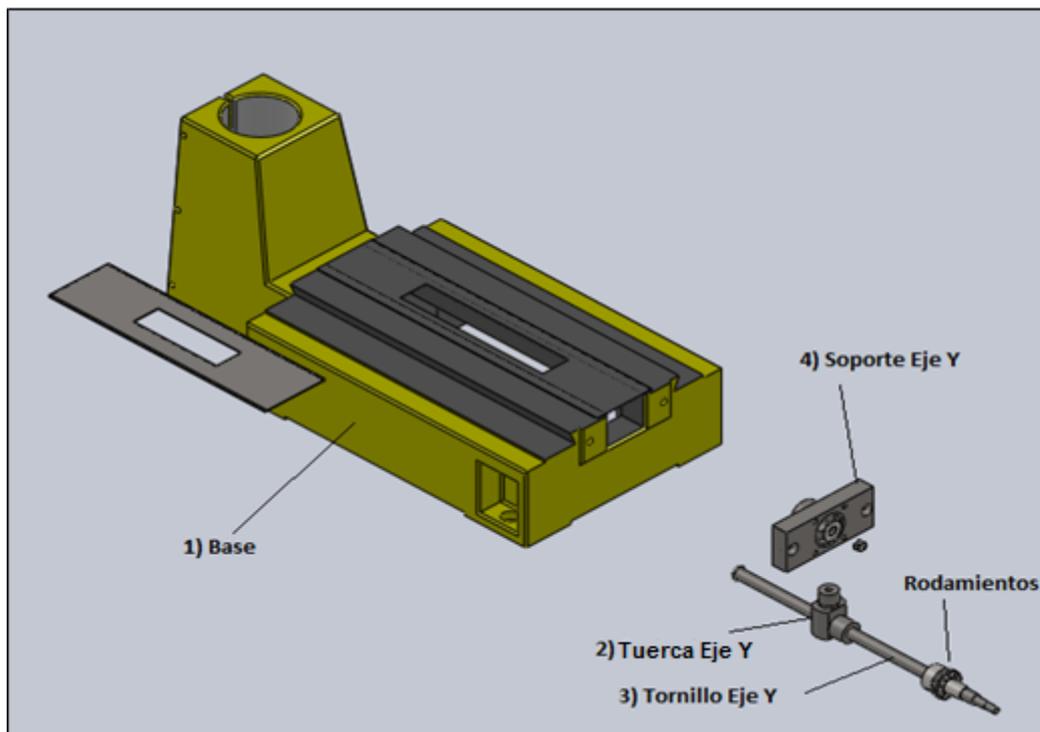


FIG 2. 34 Componentes de Bancada Principal - Vista explosionada

Fuente: Autor

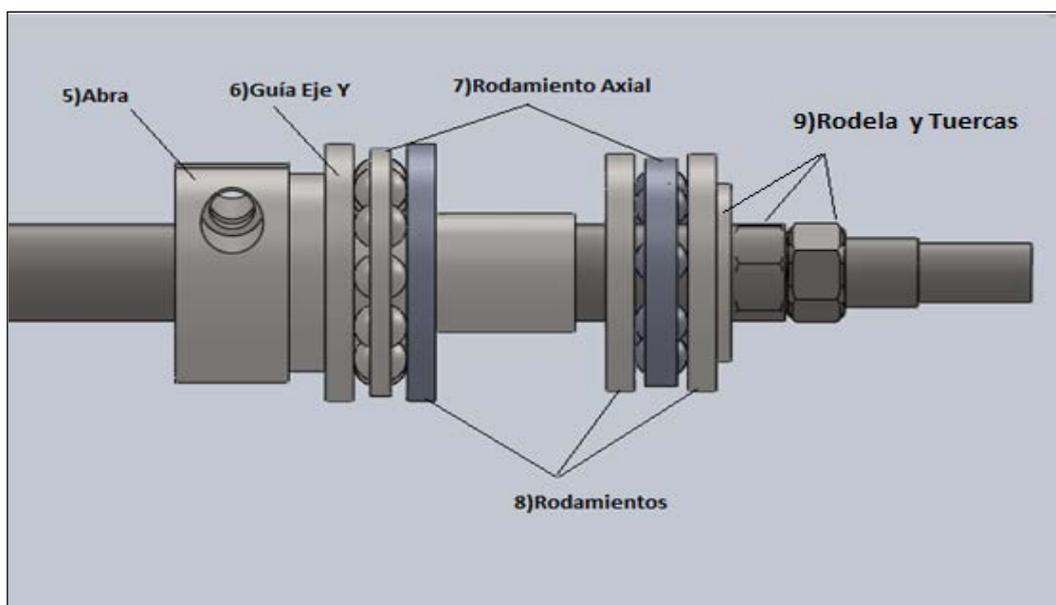


FIG 2. 35 Ensamble Eje Y y sus partes constitutivas

Fuente: Autor

### 2.7.1.3. CARRO TRANSVERSAL

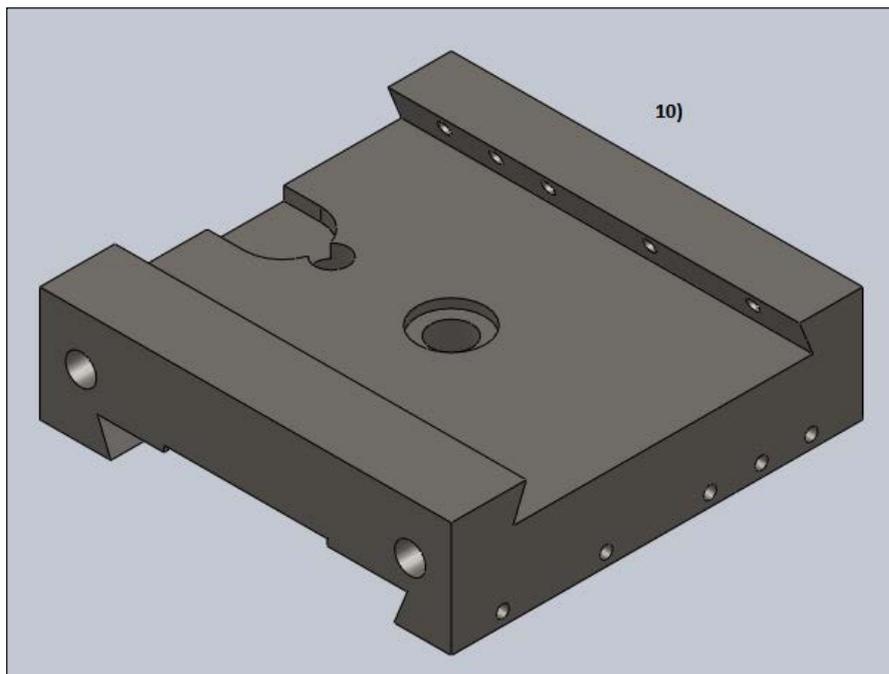


FIG 2. 36 Carro Transversal

Fuente: Autor

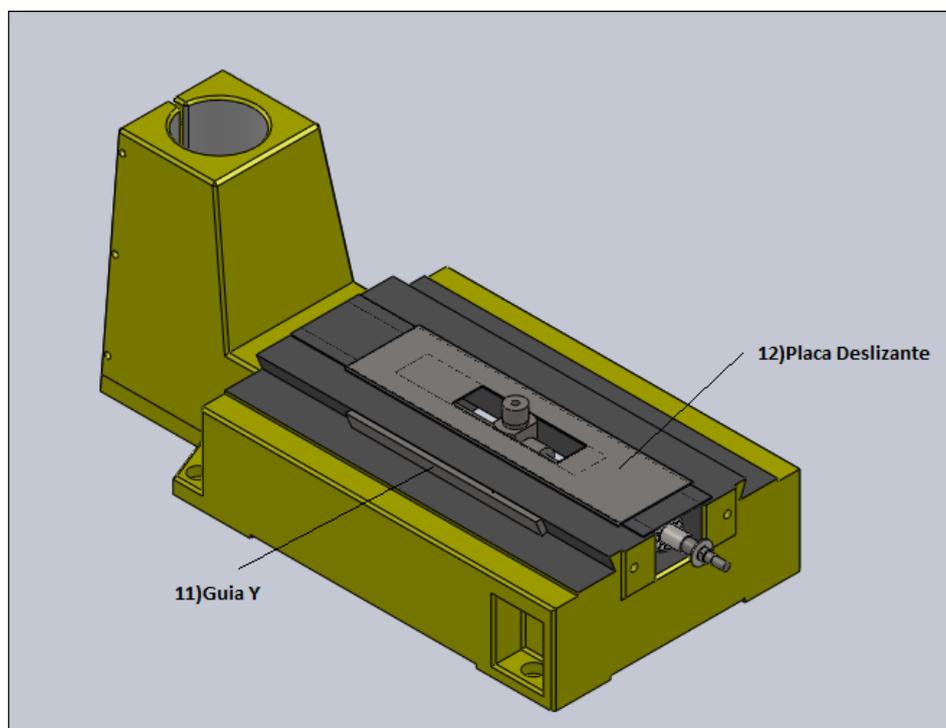


FIG 2. 37 Elementos para instalar Carro Transversal.

Fuente: Autor

### 2.7.1.4. BANCADA ENTENALLA

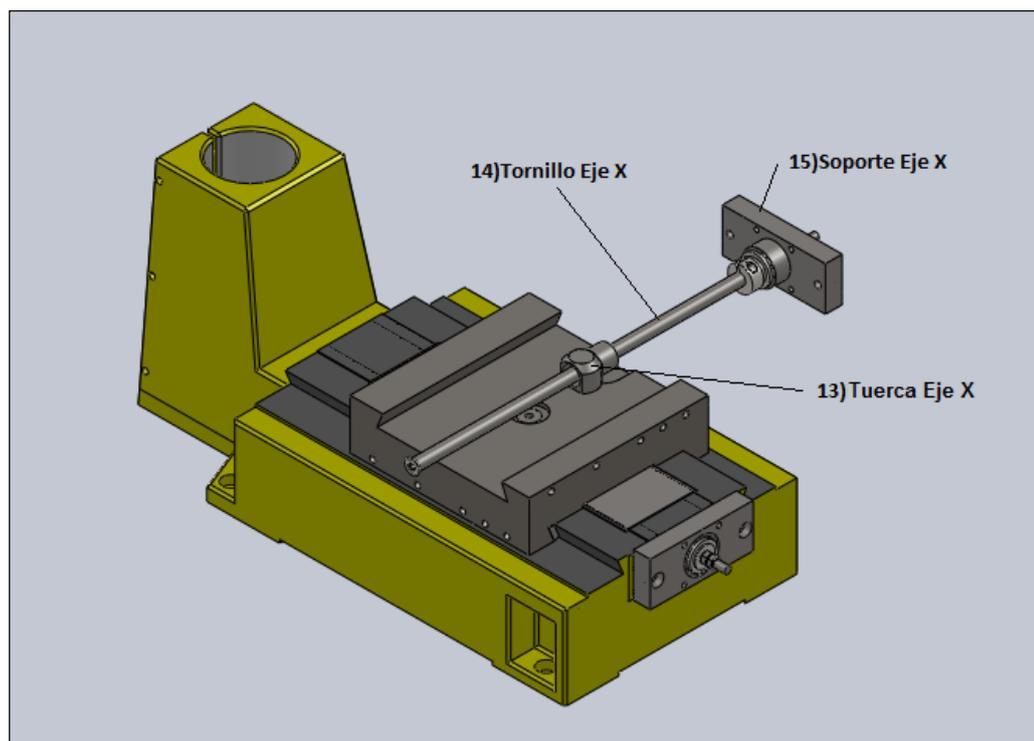


FIG 2. 38 Partes constitutivas Bancada Entenalla

Fuente: Autor

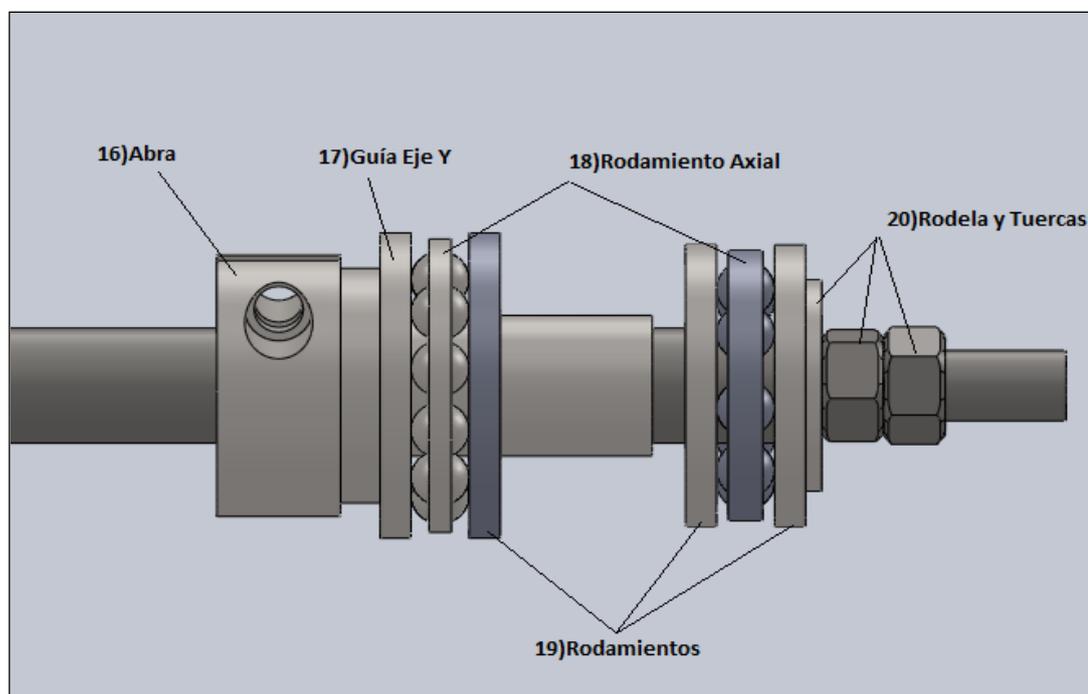


FIG 2. 39 Ensamble Eje X y sus partes constitutivas

Fuente: Autor

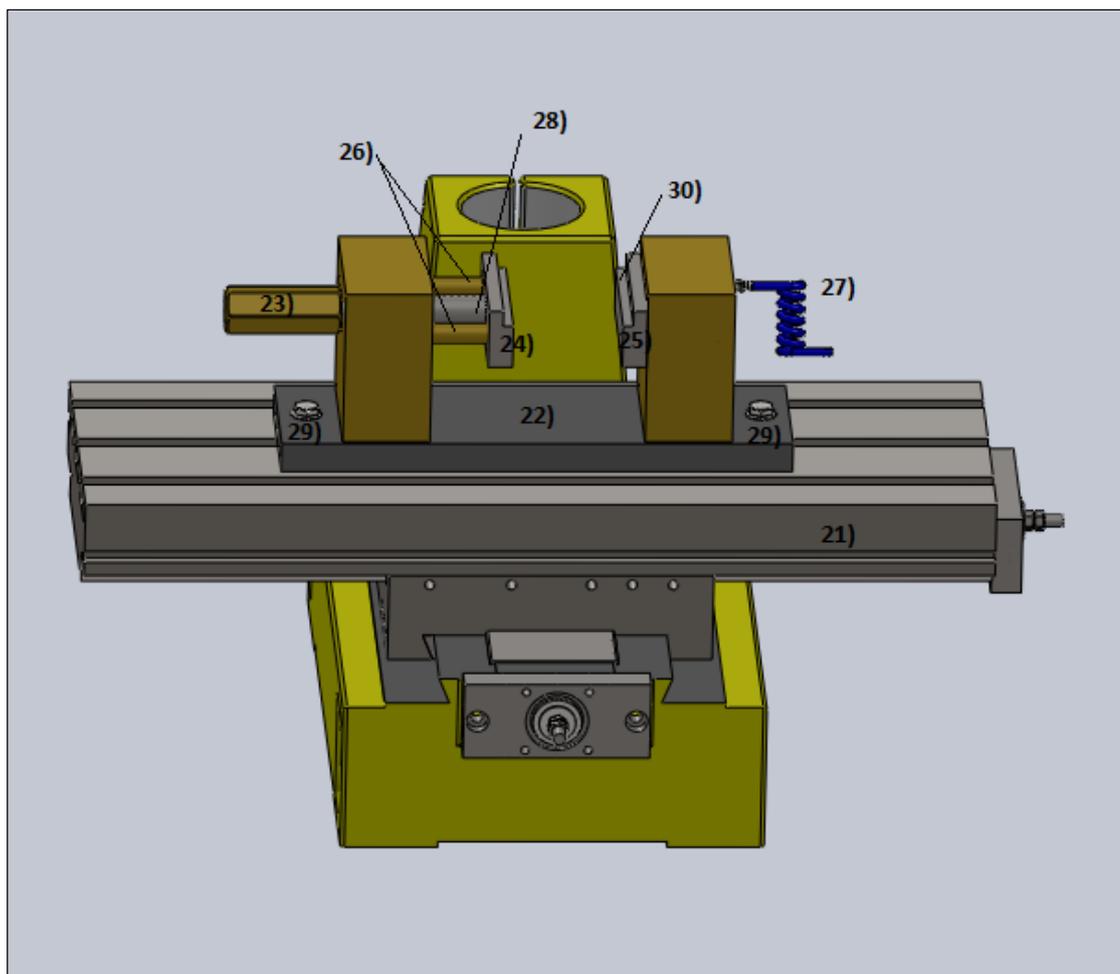


FIG 2. 40 Bancada Entenalla

**Fuente:** Autor

- 21) Bancada Entenalla
- 22) Entenalla
- 23) Agarre y Ajuste Entenalla
- 24) Diente1
- 25) Diente 2
- 26) Guías Diente 1
- 27) Manguera con Tuerca
- 28) Tornillo de Ajuste Diente 1
- 29) Tornillos de ajuste Entenalla.
- 30) Tornillo de Ajuste Diente 2 (Interno)
- 31) Guía X

### 2.7.1.5. COLUMNA

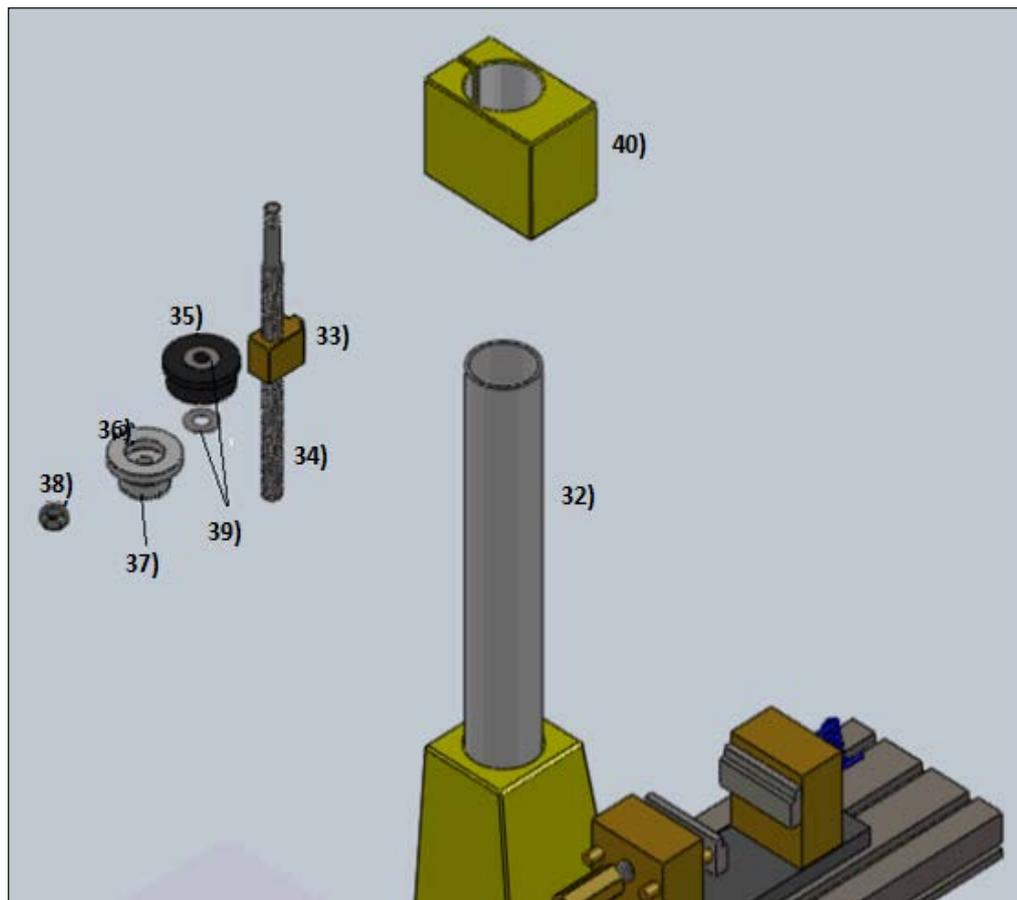


FIG 2. 41 Columna y sus partes constitutivas – Vista explosionada.

**Fuente:** Autor

- 32) Columna
- 33) Tuerca de ajuste
- 34) Tornillo de Ajuste eje Z
- 35) Tapa Tornillo de Ajuste
- 36) Ajuste Tornillo graduador
- 37) Graduador
- 38) Tuerca
- 39) Rodelas
- 40) Soporte eje Z

### 2.7.1.6. BANCADA DE EJE Z Y MECANISMO DE ACCIONAMIENTO DEL HUSILLO

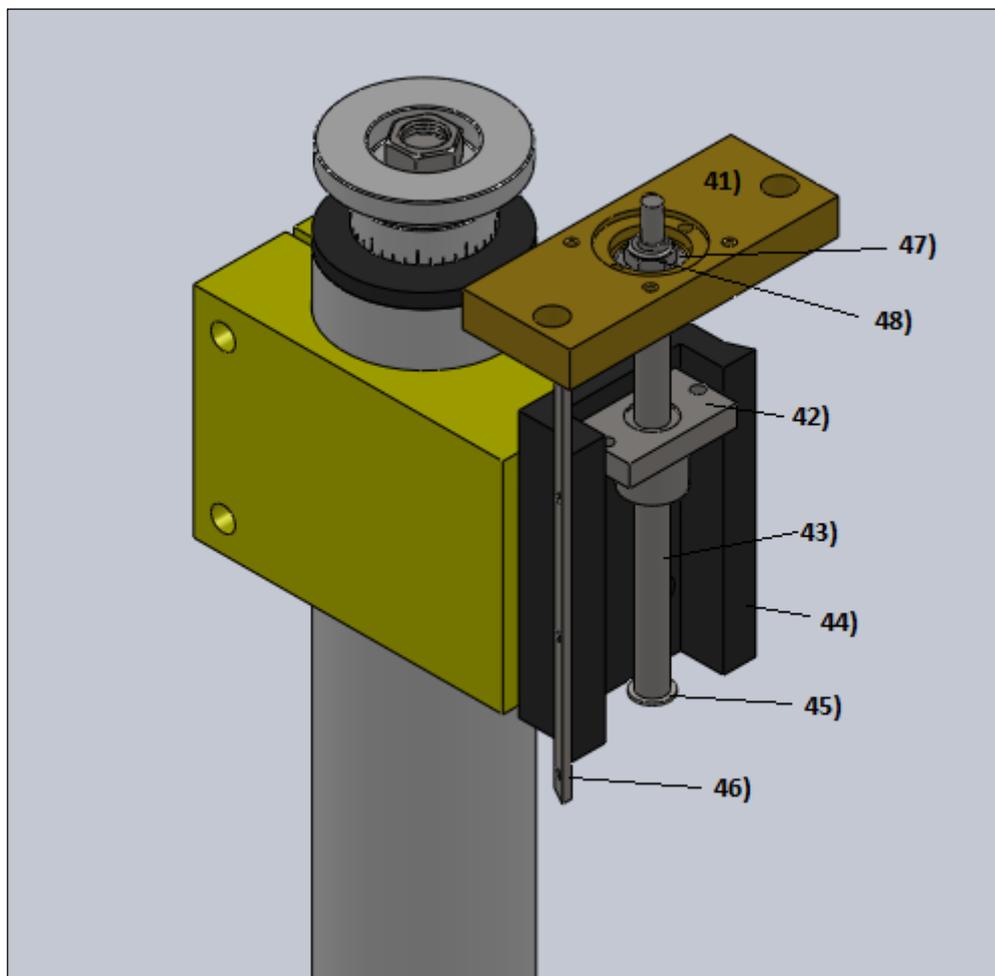


FIG 2. 42 Elementos Bancada Eje Z

**Fuente:** Autor

- 41) Placa Base Eje Z
- 42) Tuerca Eje Z
- 43) Tornillo Eje Z
- 44) Soporte Guía Eje Z
- 45) Rodela de Seguridad
- 46) Guía eje Z
- 47) Rodamiento Eje Z
- 48) Tuerca Tornillo Eje Z
- 49) Placa de Seguridad Eje Z

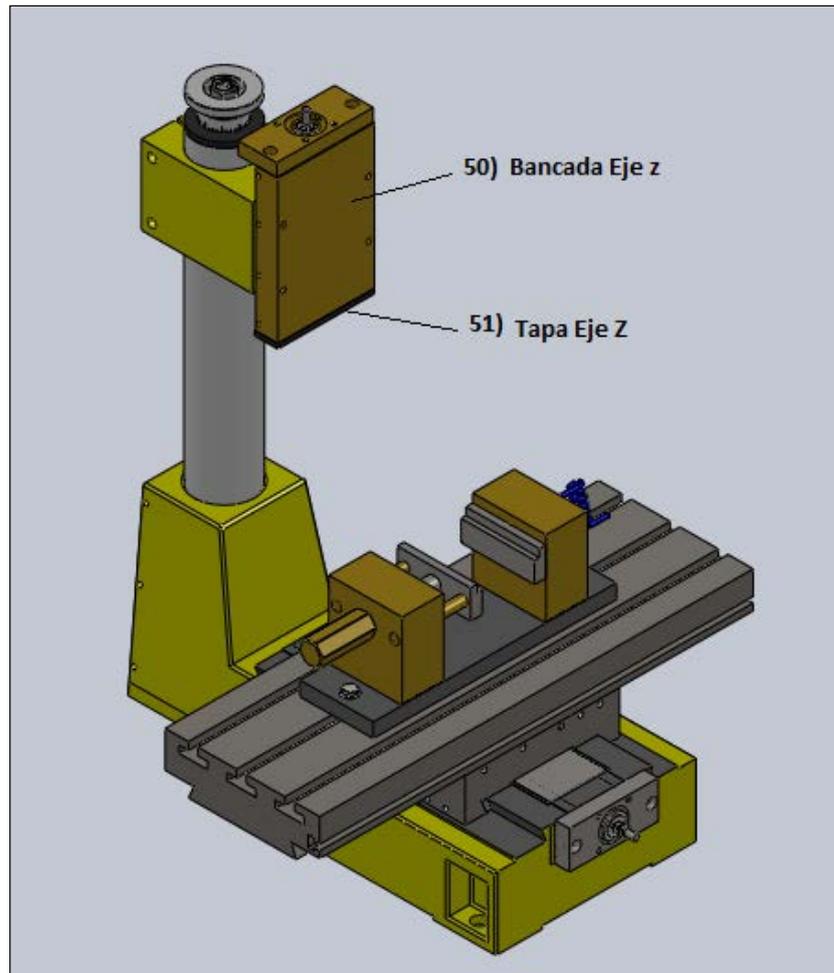


FIG 2. 43 Bancada Eje Z

**Fuente:** Autor

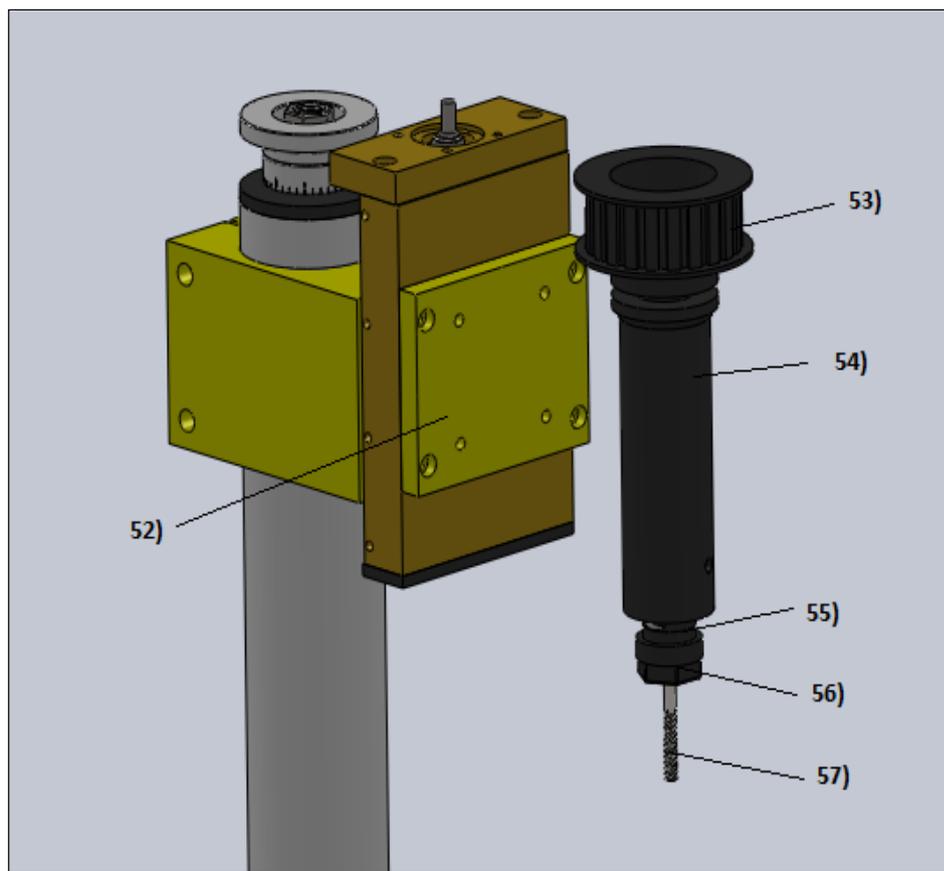


FIG 2. 44 Fresa y sus partes constitutivas

**Fuente:** Autor

- 52) Placa Soporte
- 53) Polea Fresa
- 54) Eje Fresa
- 55) Eje Secundario Fresa
- 56) Porta Fresas
- 57) Fresa

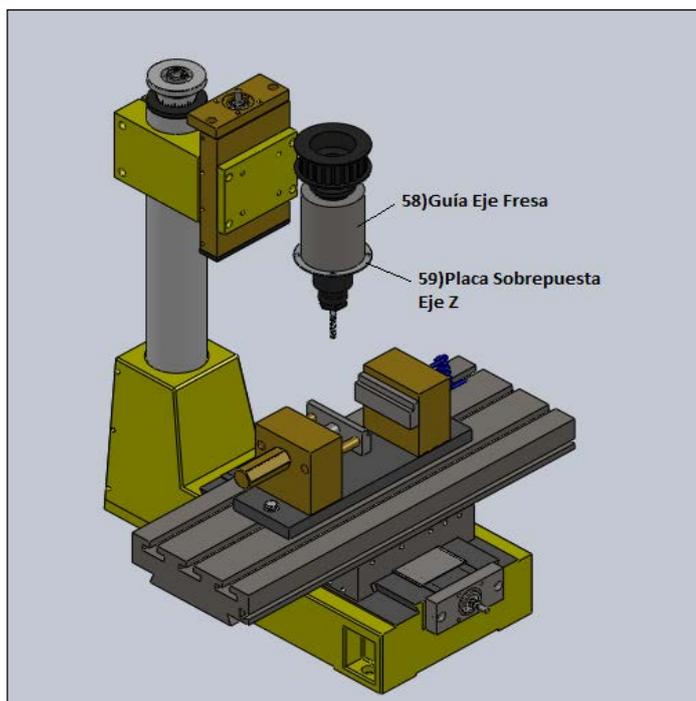


FIG 2. 45 Portaherramientas

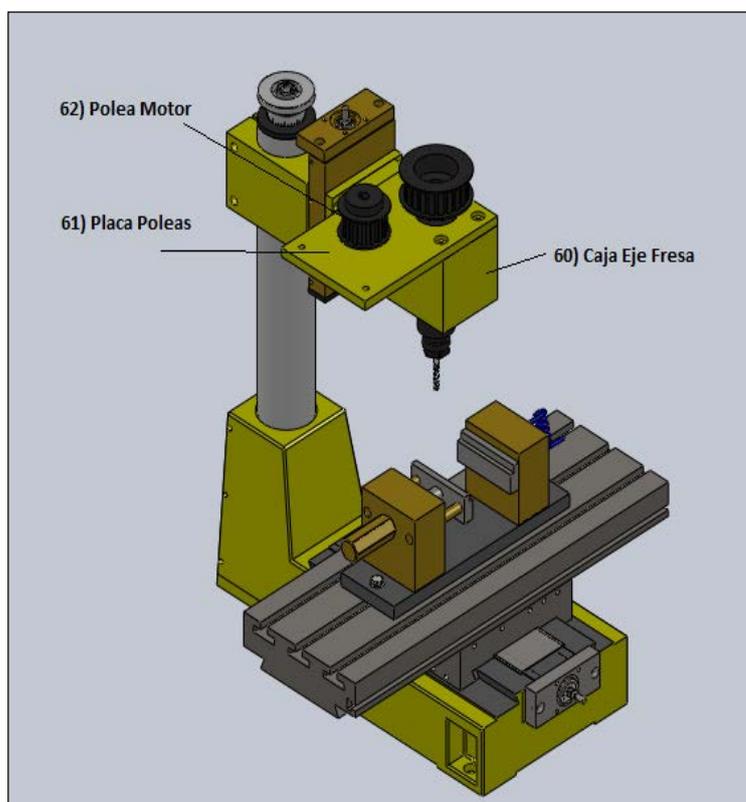
**Fuente:** Autor

FIG 2. 46 Mecanismo de Poleas Motor

**Fuente:** Autor

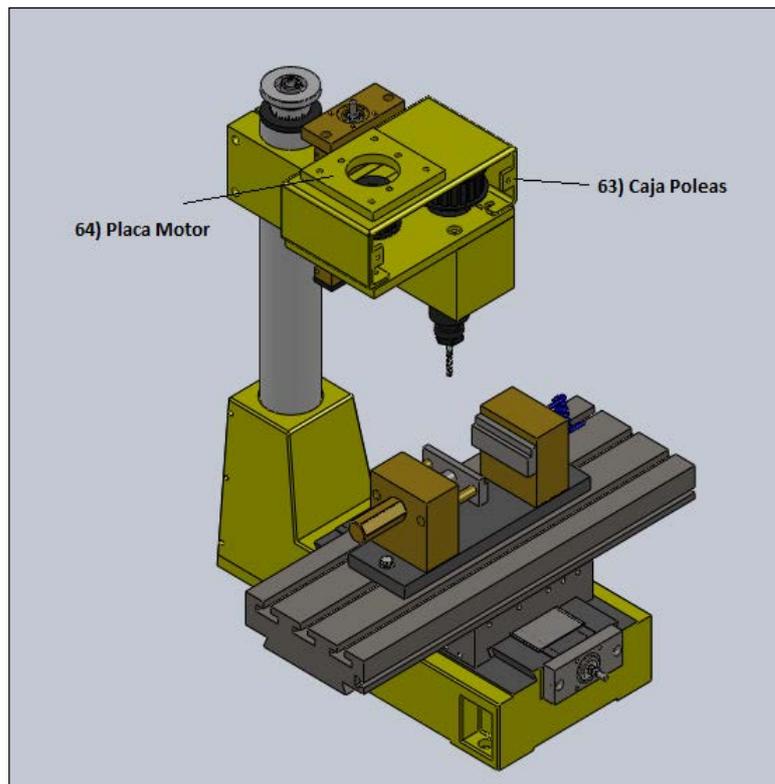


FIG 2. 47 Mecanismo de Poleas Motor

**Fuente:** Autor

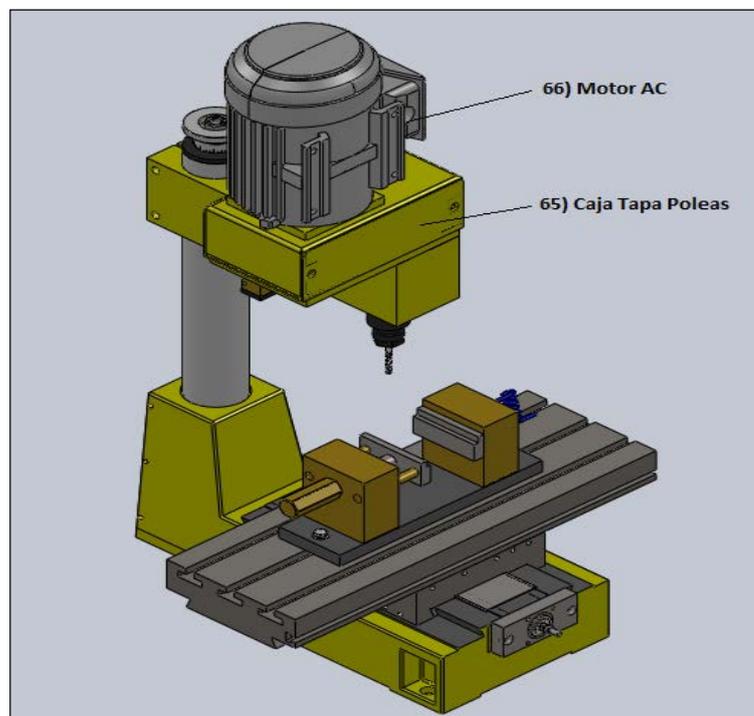


FIG 2. 48 Fresadora Completamente Armada

**Fuente:** Autor

### 2.7.1.7. PARTES CONSTITUTIVAS EXTERNAS

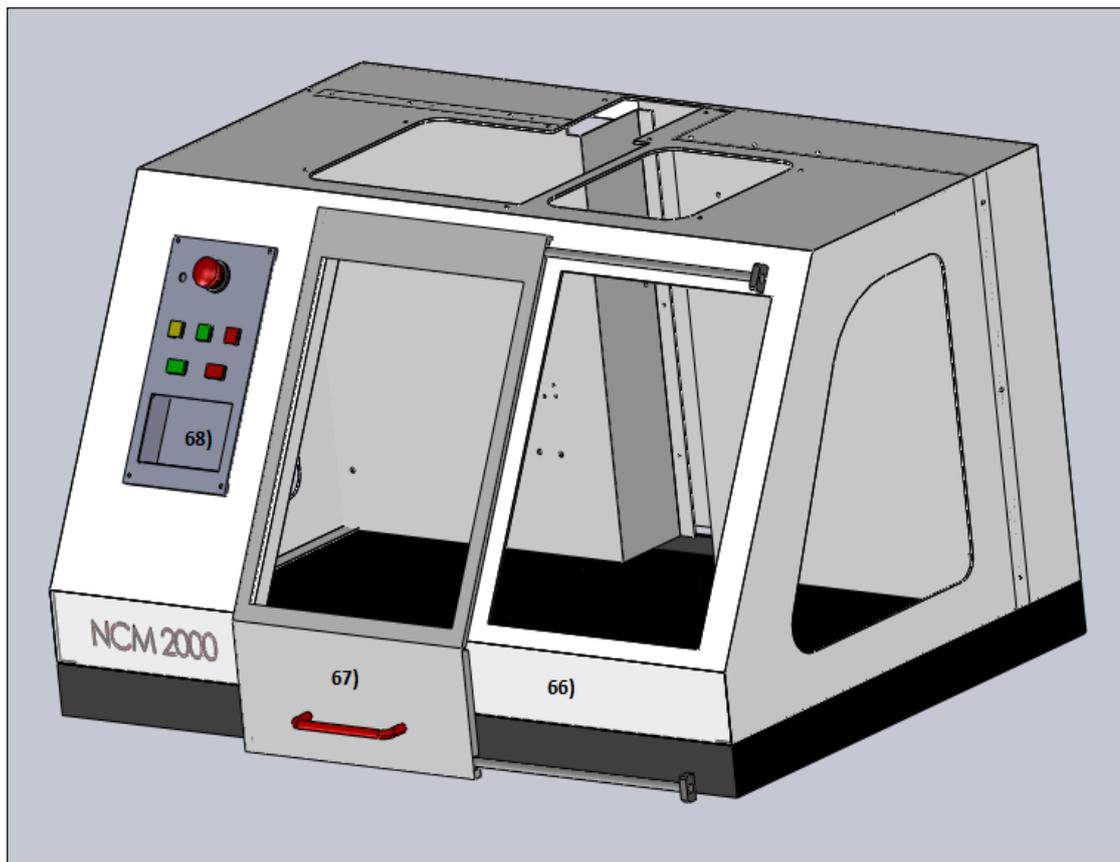


FIG 2. 49 Carcasa NCM – 2000

**Fuente:** Autor

66) Carcasa NCM - 2000

67) Puerta Carcasa NCM – 2000

68) Panel de Control NCM – 2000

### 2.7.2. RESULTADOS

Una vez desarmada la máquina se pudo constatar que la placa deslizante FIG 2.50 se encontraba averiado, sin embargo la máquina NCM-2000 de manera general con respecto a la parte mecánica se encontraba en buen estado y operable después de un intenso mantenimiento.



FIG 2. 50 Placa Deslizante averiada

**Fuente:** Autor

Una vez realizado la inspección, la verificación, el análisis, la reparación y el mantenimiento de las partes constitutivas de la máquina se determinaron las especificaciones técnicas mecánicas y electrónicas de la máquina como dimensiones de la carrera de los ejes, el paso efectivo de los tornillos de bolas, estado en que se encontraba el controlador, estado de los motores y los tipos de alimentación eléctrica que poseía

#### **2.7.2.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

Para partir con la repotenciación y modernización de la máquina se partió por determinar bajo que especificaciones técnicas operaba la misma (TABLA 2.3), debido a que no se cuenta con ningún tipo de manual, catálogo o información.

TABLA 2. 3 Especificaciones Técnicas NCM- 2000

**Especificaciones Técnicas CNC NCM – 2000:**

<b>Controlador</b>	INOPERABLE
<b>Comunicación</b>	NINGUNA
<b>Carrera Eje X</b>	290 [mm]
<b>Carrera Eje Y</b>	205 [mm]
<b>Carrera Eje Z</b>	130 [mm]
<b>Motores Ejes (X,Y,Z)</b>	Servomotores
<b>Velocidad del mandril</b>	1000 RPM
<b>Paso Efectivo Tornillos (X,Y,Z)</b>	2 [mm]
<b>Cambio de Herramienta</b>	Manual
<b>Dimensiones (Ancho/Altura/Profundidad)</b>	1000 x 855 x660 [mm]
<b>Condiciones de Operación</b>	
<b>Fuente de Poder</b>	220V (3 Fases)

**Fuente:** Autor

**2.7.2.2. PLANOS MECÁNICOS**

Los planos constructivos se encuentran adjunto en el ANEXO A.

## CAPITULO 3: DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

En este capítulo se realizara un análisis de las variables que intervienen en la mecánica del proceso de fresado para determinar el tipo de motores eléctricos que se implementara y bajo que especificaciones técnicas para ser capaz de maquinar materiales blandos.

También se realizara un análisis de elementos finitos de las piezas de acople de cada motor para los ejes X, Y, Z con su respectiva interpretación de resultados.

### 3.1. ACTUADORES

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.

En una primera instancia, para seleccionar un actuador existen dos parámetros:

- Si requiere control de posición
- Si debe variar velocidad.

En base a estos dos parámetros podemos fácilmente descartar motores, en nuestro caso serán eléctricos debido a que relativamente necesitaremos una potencia baja. Entonces si se requiere posición, se debe elegir algo entre PAP y servos y si se requiere controlar la velocidad será DC o PAP.

Sin embargo también existen otros parámetros al momento de seleccionar los motores, como son:

- a) Aplicación
- b) Accionamiento
- c) Instalación nueva o ya existente
- d) Condiciones de la red eléctrica
- e) Carga que el motor va a accionar
- f) Condiciones del medio ambiente
- g) Potencia, par y velocidad requeridos.

### **3.2. MOTORES ELÉCTRICOS**

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de campos magnéticos variables electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores.

Estos actuadores se clasifican en tres tipos diferentes:

1. Motores de corriente continua
  - a. Controlados por inducido
  - b. Controlados por excitación
2. Motores de corriente alterna
  - a. Síncronos
  - b. Asíncronos
3. Motores a pasos

Para nuestro proyecto haremos una pre- selección y un estudio sobre servomotores y motores a pasos, que son los actuadores eléctricos que más se adaptan a nuestros requerimientos bajo los parámetros de posición y velocidad.

### 3.2.1. SERVOMOTOR



FIG 3. 1 Servomotores

**Fuente:** [http://www.industrialcontrolrepair.com/servo\\_motor\\_repair.htm](http://www.industrialcontrolrepair.com/servo_motor_repair.htm)

Un servomotor FIG 3.1 es un dispositivo similar a un motor de corriente continua, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición. Está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control. Los servos se utilizan frecuentemente en sistemas de radio control y en robótica, pero su uso no está limitado a estos. Es posible modificar un servomotor para obtener un motor de corriente continua que, si bien ya no tiene la capacidad de control del servo, conserva la fuerza, velocidad y baja inercia que caracteriza a estos dispositivos.

Un servo normal o Standard tiene 3kg por cm. de torque que es bastante fuerte para su tamaño. También potencia proporcional para cargas mecánicas. Un servo, por consiguiente, no consume mucha energía. La corriente que requiere depende del tamaño del servo. Normalmente el fabricante indica cual es la corriente que consume. Eso no significa mucho si todos los servos van a estar moviéndose todo el tiempo. La corriente depende principalmente del par, y puede exceder un amperio si el servo está enclavado.

### 3.2.2. TIPOS DE SERVOMOTORES

Hay tres tipos de servomotores:

- Servomotores de CC
- Servomotores de AC
- Servomotores de imanes permanentes o Brushless.

### 3.2.3. PARTES DE UN SERVOMOTOR

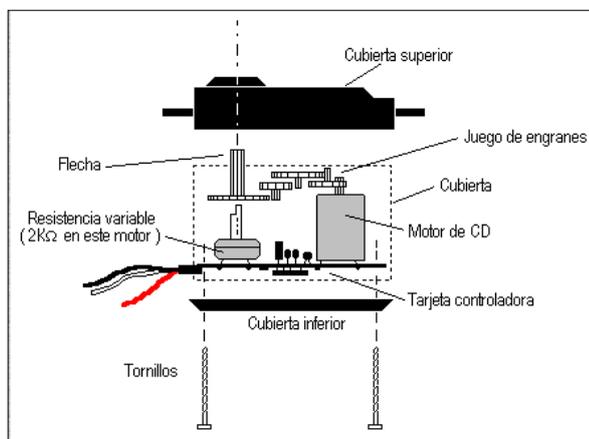


FIG 3. 2 Estructura de un Servomotor.

**Fuente:** <http://www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores.shtml>

- **Motor de corriente continua**

Es el elemento que le brinda movilidad al servo. Cuando se aplica un potencial a sus dos terminales, este motor gira en un sentido a su velocidad máxima. Si el voltaje aplicado sus dos terminales es inverso, el sentido de giro también se invierte.

- **Engranajes reductores**

Se encargan de convertir gran parte de la velocidad de giro del motor de corriente continua en torque.

- **Circuito de control**

Este circuito es el encargado del control de la posición del motor. Recibe los pulsos de entrada y ubica al motor en su nueva posición dependiendo de los pulsos recibidos.

Un servo normal se usa para controlar un movimiento angular de entre 0 y 180 grados y no es mecánicamente capaz de retornar a su lugar, si hay un mayor peso que el sugerido por las especificaciones del fabricante.

Los servomotores tienen 3 terminales FIG 3.3:

- Terminal positivo: Recibe la alimentación del motor.
- Terminal negativo: Referencia tierra del motor (0 voltios)
- Entrada de señal: Recibe la señal de control del motor

Los colores del cable de cada terminal varían con cada fabricante: el cable del terminal positivo siempre es rojo; el del terminal negativo puede ser marrón o negro; y el del terminal de entrada de señal suele ser de color blanco, naranja o amarillo.

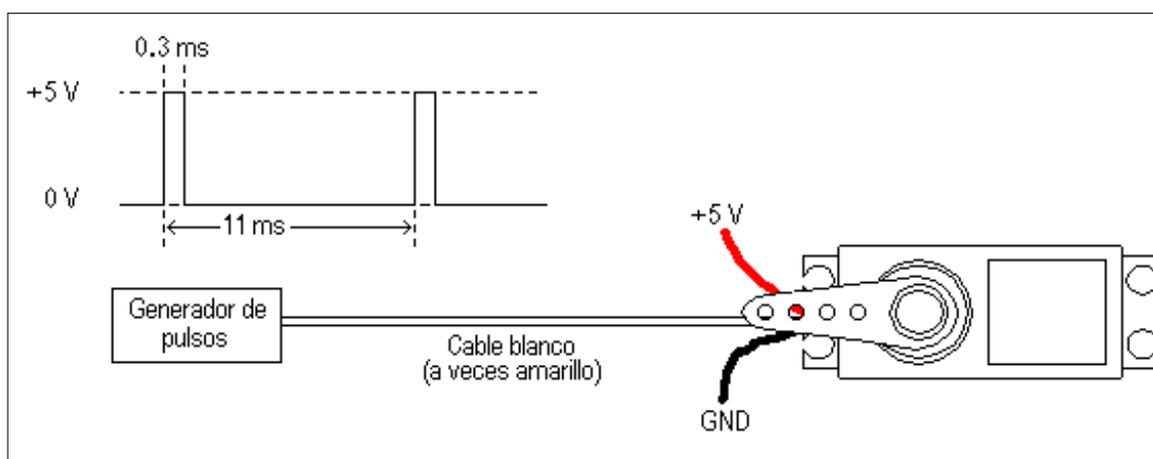


FIG 3. 3 Conexión externa del servo

**Fuente:** <http://www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores.shtml>

### 3.3. MOTORES A PASOS

El motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa es que es capaz de avanzar una serie de grados (paso) dependiendo de sus entradas de control. El motor paso a paso se comporta de la misma manera que un conversor digital-analógica y puede ser gobernado por impulsos procedentes de sistemas lógicos.

Funcionan basados en el principio de repulsión y atracción de polos magnéticos, su rotor consiste de imanes permanentes y su estator de 2 bobinas que actúan como electroimanes, que al interactuar con los imanes del rotor provocan un movimiento circular exacto del rotor de unos cuantos grados.

La cantidad de rotación es directamente proporcional al número de pulsos y la velocidad de rotación es relativa a la frecuencia de dichos pulsos.

#### 3.3.1. TIPOS DE MOTORES PASO A PASO

**Motor de paso de reluctancia variable:** Tiene un rotor multipolar de hierro y un estator devanado laminado, y rota cuando los dientes del rotor son atraídos a los dientes del estator electromagnéticamente energizados. La inercia del rotor de un motor de paso de reluctancia variable es pequeña y la respuesta es muy rápida, pero la inercia permitida de la carga es pequeña. Cuando los devanados no están energizados, el par estático de este tipo de motor es cero. Generalmente, el paso angular de este motor de paso de reluctancia variable es de 15°.

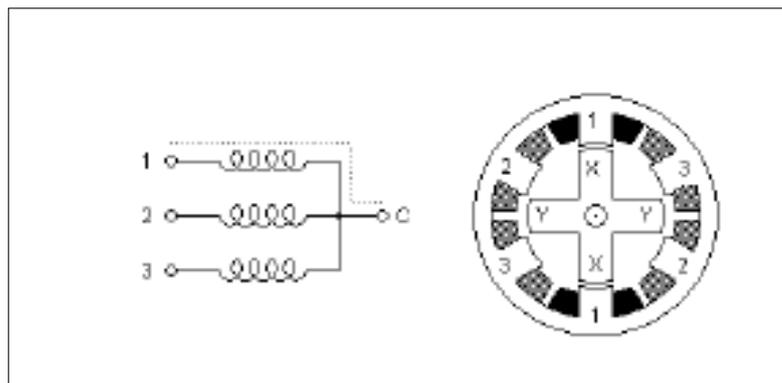


FIG 3. 4 Motor de paso de reluctancia variable

**Fuente:** <http://gabrielnagano.galeon.com/tarea3.htm>

La FIG. 3.4. Muestra un motor de reluctancia variable de  $30^\circ$  por paso. El rotor de este motor tiene 4 dientes y el estator tiene 6 polos. El diente del rotor "X" se encuentra magnetizado por la bobina "1". El motor gira en sentido de las manecillas del reloj cuando "1" se desactiva y "2" se activa, entonces el diente del rotor "Y" es atraído por la bobina "2". La secuencia de activación de un motor de reluctancia variable de  $30^\circ$  por paso con giro en sentido horario, para una vuelta completa, es decir 12 pasos.

**Motor híbrido de paso:** Se caracteriza por tener varios dientes en el estator y en el rotor, el rotor con un imán concéntrico magnetizado axialmente alrededor de su eje. Se puede ver que esta configuración es una mezcla de los tipos de reluctancia variable e imán permanente. Este tipo de motor tiene una alta precisión y alto par y se puede configurar para suministrar un paso angular tan pequeño como  $1.8^\circ$ . su estructura básica se muestra en la FIG. 3.5.

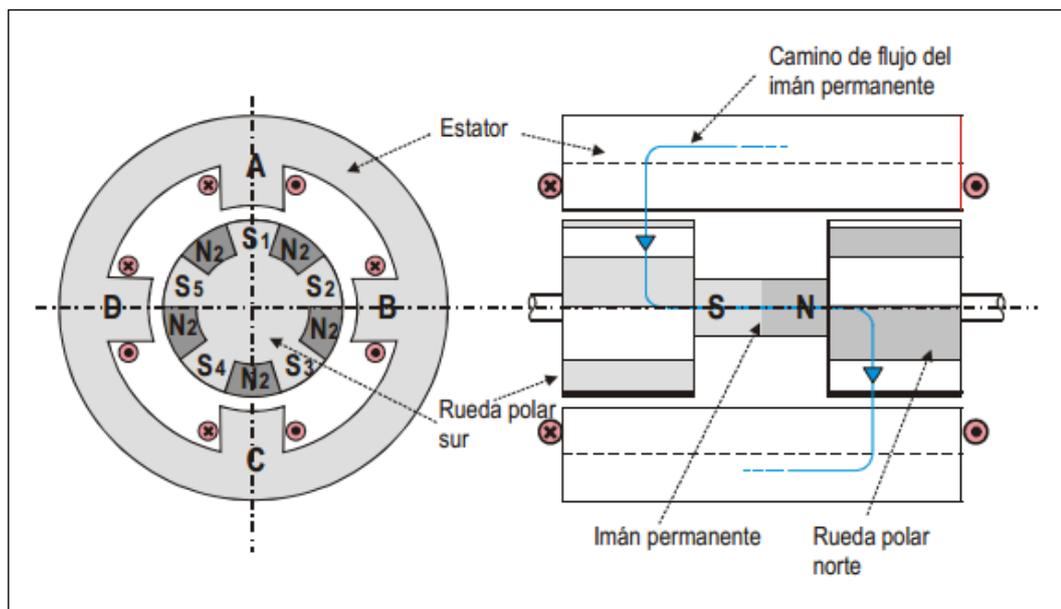


FIG 3. 5 Motor híbrido de paso

**Fuente:** <http://www.ing.unp.edu.ar/asignaturas/maquinelectricas/MOTOR%20PASO%20A%20PASO.pdf>

**Motores paso a paso Bipolares:** Estos tienen generalmente 4 cables de salida. Necesitan ciertos trucos para ser controlados debido a que requieren del cambio de dirección de flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento.

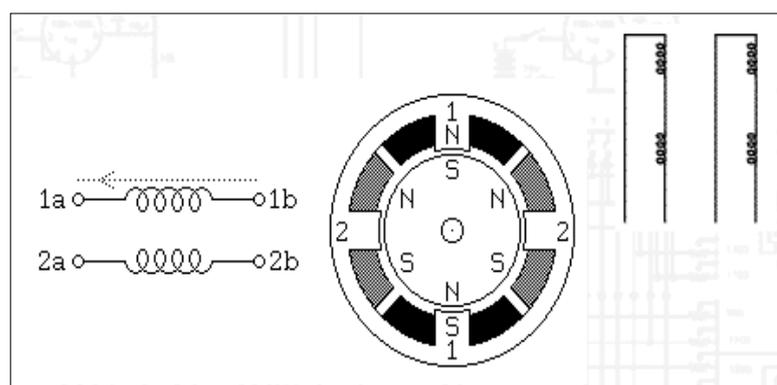


FIG 3. 6 Motor paso a paso Bipolar

**Fuente:** <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lged/2002-03/MotoresPasoPaso/tipos.htm>

La FIG. 3.6 muestra un motor de pasos bipolar de  $30^\circ$  por paso, en el cual como se puede observar, el rotor tiene polaridades fijas, mientras que los 4 dientes del estator deben cambiar su polaridad para atraer al rotor. La secuencia de activación de un motor bipolar de  $30^\circ$  por paso, con giro en sentido horario, para una vuelta completa es decir 12 pasos.

**Motores paso a paso unipolares:** estos motores suelen tener 5 ó 6 cables de salida dependiendo de su conexionado interno. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar, estos utilizan un cable común a la fuente de alimentación y posteriormente se van colocando las otras líneas a tierra en un orden específico para generar cada paso, si tienen 6 cables es porque cada par de bobinas tiene un común separado, si tiene 5 cables es porque las cuatro bobinas tiene un solo común; un motor unipolar de 6 cables puede ser usado como un motor bipolar si se deja las líneas del común al aire.

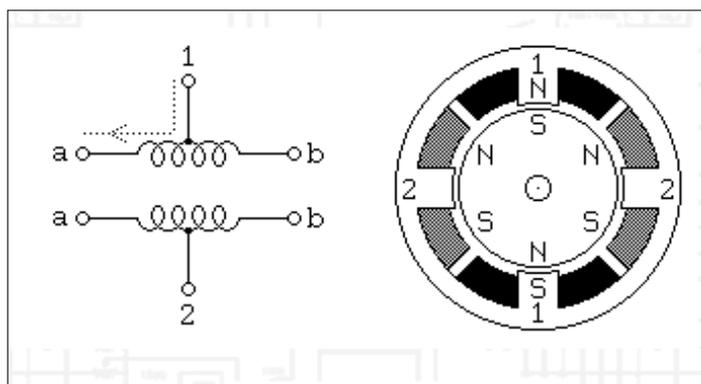


FIG 3. 7 Motor paso a paso unipolar

**Fuente:** <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lged/2002-03/MotoresPasoPaso/tipos.htm>

La FIG.3.7 muestra un motor de pasos bipolar  $30^\circ$  por paso, en el cual como se puede observar, el rotor tiene polaridades fijas, mientras que los 4 dientes del estator deben cambiar su polaridad para atraer al rotor, igual que en un motor bipolar, pero en este caso las bobinas tienen un común, el cual facilita el control del cambio de dirección de la corriente en el devanado, así se pueden unir los comunes y conectarlos a Vcc, con lo cual la secuencia de

activación de un motor bipolar de  $30^\circ$  por paso con giro en sentido horario para una vuelta completa, es decir 12 pasos.

### **3.3.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN MOTOR A PASOS**

Ventajas de un motor a pasos

- Los motores de pasos no tienen escobillas, por lo cual no demandan mayor mantenimiento
- Facilitan un diseño efectivo y un bajo costo
- Presentan alta confiabilidad pero dependiente de la carga
- Posicionamiento en lazo abierto, pues en condiciones de cargas ideales su giro es confiable
- Pueden mantenerse estacionarios, es decir pueden detener un torque externo dentro de los límites de carga.
- Limite conocido al "error de posición dinámica"
- Arranque con carga
- Respuesta favorable a un escalón de arranque, respuesta rápida

Desventajas de un motor a pasos

- Desplazamiento dependiente de la construcción del motor
- Necesitan de un control de PWM cuando se mantiene energizada una bobina para evitar sobrecalentamiento del bobinado.
- Fuerza limitada en comparación a servomotores o motores de corriente continua de igual tamaño.
- Perdida de pasos cuando se excede la carga nominal.

## **3.4. DISEÑO MECÁNICO**

### **3.4.1. ÁREA EFECTIVA DE MAQUINADO**

El área efectiva de maquinado de la fresadora es de:

$$a_{efectiva} = x \cdot y = 80 \text{ (mm}^2\text{)} \quad EC. (3.1)$$

Dónde:

- $x$ , Distancia efectiva de maquinado en el eje  $x$ . 10(mm)
- $Y$ , Distancia efectiva de maquinado en el eje  $y$ . 8 (mm)
- $a_{efectiva}$ , Área efectiva de maquinado (mm<sup>2</sup>)

### 3.4.2. PESO DE CARGA A MAQUINAR

Para determinar el peso de carga se tiene en cuenta las características de los materiales a maquinar y sus dimensiones. Considerando como materiales al acrílico, madera.

A partir de la ecuación de densidad de materiales se tiene que:

$$\delta = \frac{m}{v} \quad EC(3.2)$$

Dónde:

- $\delta$ , densidad del material ( $\frac{kg}{m^3}$ )
- $m$ , masa del material (kg)
- $v$ , volumen del material (m<sup>3</sup>)

El volumen máximo para materiales a maquinar será:

$$v = a \cdot b \cdot c = 4 \times 10^{-7} \text{ (m}^3\text{)} \quad EC. (3.3)$$

Dónde:

- $a$ , longitud del material 0,01(m)
- $b$ , ancho del material 0,008 (m)
- $c$ , espesor del material 0,005 (m)
- $v$ , volumen del material a fresar (m<sup>3</sup>)

La densidad de los materiales a maquinar es:

$$\delta_{acrilico} = 1800 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$\delta_{madera} = 1070 \left( \frac{kg}{m^3} \right) \quad (\text{Considerando una madera fuerte como el roble})$$

Reemplazando la ecuación 3.3 en la ecuación 3.2 se tiene:

$$m_{acrilico} = 0,00072 \text{ (kg)}$$

$$m_{madera} = 0,00043 \text{ (kg)}$$

Debido a que las masas de los materiales son muy pequeñas se las consideraran despreciables para el cálculo del par de torsión necesario para cada eje.

### 3.4.3. VELOCIDAD DE GIRO DE LA HERRAMIENTA.

La velocidad de operación o de giro en el fresado se obtiene a partir de las características de la herramienta y del material a maquinar.

Partiendo de la ecuación de velocidad de corte se determina la velocidad de giro de la herramienta. Esta velocidad es utilizada en el proceso de fresado y se considerará también para el cálculo de las cargas en los ejes X e Y, y en el requerimiento de potencia para la operación del equipo.

La velocidad de giro de la herramienta en el fresado está dado por:

$$n = \frac{V_{corte} \cdot 1000}{D \cdot \pi} \quad EC. (3.4)$$

Dónde:

- $V_{corte}$ , Velocidad de corte ( $m/min$ )
- $D$ , Diámetro de la Herramienta ( $mm$ )
- $n$ , velocidad de giro ( $rpm$ ).

La velocidad de giro de la herramienta calculamos a partir de la reducción de velocidad mediante el sistema de poleas con correa.

$$n_1 \cdot D_1 = n_2 \cdot D_2 \quad EC. (3.5)$$

Dónde:

- $n_1$ , Velocidad de giro polea motor 1380 (*rpm*)
- $D_1$ , Diámetro polea motor 54 (*mm*)
- $n_2$ , Velocidad de giro polea fresa (*rpm*).
- $D_2$ , Diámetro polea fresa (*rpm*)

$$n_2 = 993,6 \text{ (rpm)} \approx 1000 \text{ (rpm)}$$

Entonces conociendo la velocidad máxima de giro de nuestra fresa, se calcula la velocidad de corte máxima a la que podemos trabajar y determinar con que materiales podremos maquinar

$$V_{corte} = \frac{1000 \cdot 5 \cdot \pi}{1000}$$

$$V_{corte} = 15,70 \text{ m/min}$$

#### 3.4.4. POTENCIA DE CORTE

La potencia neta para el proceso de fresado se calcula en base a la expresión:

$$P_{corte} = \frac{a_a \cdot a_r \cdot V_f \cdot k_c}{60 \cdot 102 \cdot 9,81 \cdot 1000} \text{ (kw)} \quad EC. (3.6)$$

Dónde:

- $a_a$ , profundidad de corte axial (*mm*).
- $a_r$ , profundidad de corte radial (*mm*).
- $V_f$ , avance de mesa (*mm/min*).

- $k_c$ , fuerza de corte específica ( $N/mm^2$ ).

$$a_a = 3 \cdot D \quad EC. (3.7)$$

$$a_a = 15 \text{ mm}$$

$a_r$ , Se obtiene de:

$$a_r = 0,5 \cdot D \quad EC. (3.8)$$

$$a_r = 2,5 \text{ mm}$$

$V_f$ , Viene dada por:

$$V_f = f_z \cdot z \cdot n \left( \frac{\text{mm}}{\text{min}} \right) \quad EC. (3.9)$$

Dónde:

- $f_z$ , Avance por diente ( $mm/diente$ )
- $z$ , numero de dientes herramienta
- $n$ , Velocidad d giro ( $rpm$ )

Para los valores de:

$$f_z = 0,0127 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{diente}} \right]$$

$$z = 2$$

$$V_f = 25,4 \text{ [mm/min]}$$

Para el valor de  $k_c$  se tiene:

$$k_c = k_{c1} \cdot h_m^{-z} \quad EC. (3.10)$$

Dónde:

- $k_{c1}$ , fuerza específica de corte para 1 mm  $h_m$  ( $N/mm^2$ )
- $h_m$ , promedio del grosor de la viruta ( $mm$ )
- $z$ , factor de corrección junto promedio del grosor de la viruta

Para calcular  $h_m$ , tenemos la siguiente ecuación:

$$h_m = \frac{f_z \cdot a_r \cdot 360}{D \cdot \pi \cdot \cos^{-1} \left[ 1 - \frac{2 \cdot a_r}{D} \right]} \text{ (mm)} \quad EC. (3.11)$$

Para plástico tenemos un promedio de grosor de viruta de:

$$h_m = 0,46 \text{ mm}$$

Para termoplásticos tenemos  $k_{c1} = 1400 \text{ (N/mm}^2\text{)}$  y  $z = 0,2$

Reemplazando los datos en la ecuación 3.10 tenemos:

$$k_c = 1632,87 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Resolviendo la ecuación 3.6, se obtiene la potencia de corte para el fresado de plástico.

$$P_{corte} = 0,026 \text{ (kw)}$$

### 3.4.5. PAR DE CORTE

Una vez obtenido la potencia de corte, se calcula el par de corte el cual intervendrá para la selección del par total necesario de los motores a pasos para los ejes.

$$M_{corte} = \frac{a_a \cdot a_r \cdot V_f \cdot k_c}{2\pi \cdot n} \text{ (N.mm)} \quad EC. (3.12)$$

Reemplazando los valores antes calculados en la ecuación 3.12 tenemos:

$$M_{corte} = 247,5 \text{ (N.mm)}$$

### 3.4.6. POTENCIA Y FUERZA DE TALADRADO

Para el cálculo de la potencia de taladrado es necesario obtener la fuerza de corte específica por hilo, la misma que para el taladrado está definida por la ecuación:

$$K_{cfz} = k_c \cdot \left( \frac{0,4}{f_z \cdot \text{sen}(kr)} \right) \cdot 0,29 \left[ \frac{N}{\text{mm}^2} \right] \quad EC. (3.13)$$

Dónde:

- $k_c$ , fuerza específica de corte 1632,87 ( $N/\text{mm}^2$ )
- $k_r$ , ángulo de filo de la herramienta 45(°)
- $f_z$ , avance por filo 0,1 ( $\text{mm}/\text{filo}$ )

Reemplazando estos valores en ecuación 3.13 se tiene:

$$K_{cfz} = 2226,02 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

La potencia de taladrado está dada por la ecuación

$$P_{\text{taladrado}} = \frac{D_c \cdot f_n \cdot V_c \cdot k_{cfz}}{240 \cdot 10^3} \text{ (kw)} \quad EC. (3.14)$$

Dónde:

- $D_c$ , Diámetro de la broca ( $\text{mm}$ )
- $f_n$ , Avance de la herramienta 0,2 ( $\text{mm}/\text{rev}$ )
- $V_c$ , Velocidad de corte para el taladrado de plástico 15 ( $\text{m}/\text{min}$ )

Reemplazando estos valores en ecuación 3.14 se tiene:

$$P_{\text{taladrado}} = 0,139 \text{ [kw]}$$

$$P_{taladrado} = \frac{0,139}{n} = 0,173 [kw]$$

Dónde:

- $n$ , eficiencia de la máquina =0,8

Y para la fuerza de taladrado se expresa con la siguiente ecuación:

$$F_{taladrado} = 11,4 \cdot K \cdot D \cdot (100 \cdot f_n)^{0,85} (N) \quad EC. (3.15)$$

Dónde:

- $k$ , factor del material =0,6

$$F_{taladrado} = 436,41 (N)$$

### 3.4.7. PAR DE TORSION

Los tornillos de potencia de bolas que posee la máquina para los ejes X, Y, Z presentan un rozamiento entre rosca y bolas de cojinetes como se observa en la FIG 3.8, esta característica disminuye la fricción que existe entre éstos elementos elevando considerablemente la eficiencia del sistema.

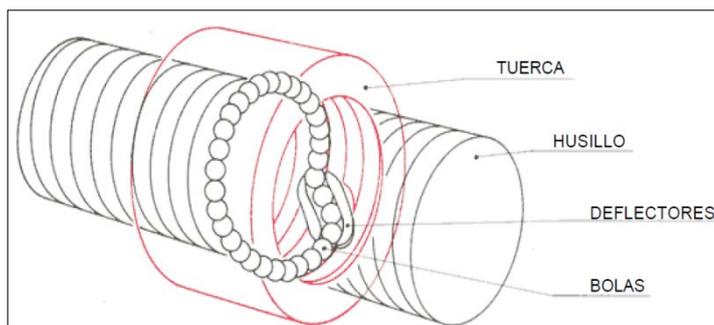


FIG 3. 8 Esquema de un tornillo de potencia de bolas

**Fuente:** [http://www.niasa.es/backend/catalogos/husillos\\_es.pdf](http://www.niasa.es/backend/catalogos/husillos_es.pdf). Husillos de bolas. Español.

Tomando en cuenta que el tipo de rosca es un dato esencial para realizar el cálculo del par de torsión necesario para las cargas que actúan sobre los mismos, se realizó un análisis y se determinó que el perfil de rosca que más se asemeja es el de rosca ACME, se asumió este parámetro debido a que no se posee ningún catalogo o manual de la máquina y tampoco existe el distribuidor de las misma debido a que son máquinas elaboradas en el año 1994. Los tornillos de bolas, se componen básicamente de cuatro elementos de acción: el husillo y la tuerca son las pistas interior y exterior de movimiento, las bolas, los cuerpos de rodadura y transmisión, y los deflectores como las piezas de transferencia.

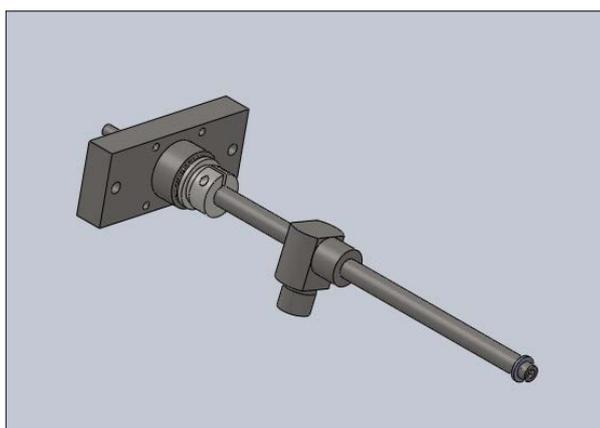


FIG 3. 9 Tornillo de bolas Eje Y, Máquina NCM- 2000.

**Fuente:** Autor

El par de torsión necesario para mover las cargas sobre el tornillo de potencia, es un valor esencial para seleccionar la potencia del motor y diseñar el sistema de transmisión del mismo.

Para determinar la ecuación del par de torsión se debe tomar a la rosca del tornillo como un plano inclinado, que se ha enroscado alrededor de un cilindro, creando una hélice. Si se desenroscara una revolución de la hélice, se visualizaría como la FIG 3.10, que muestra un bloque que representa la tuerca en deslizamiento hacia arriba del plano inclinado de una rosca Acme.

También se muestran las fuerzas que actúan sobre la rosca como un diagrama de cuerpo libre. Por supuesto, la fuerza de fricción siempre se opone al desplazamiento. La inclinación se conoce como el ángulo de avance  $\lambda$ , establecido por la expresión:

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi d_p} \quad EC. (3.16).$$

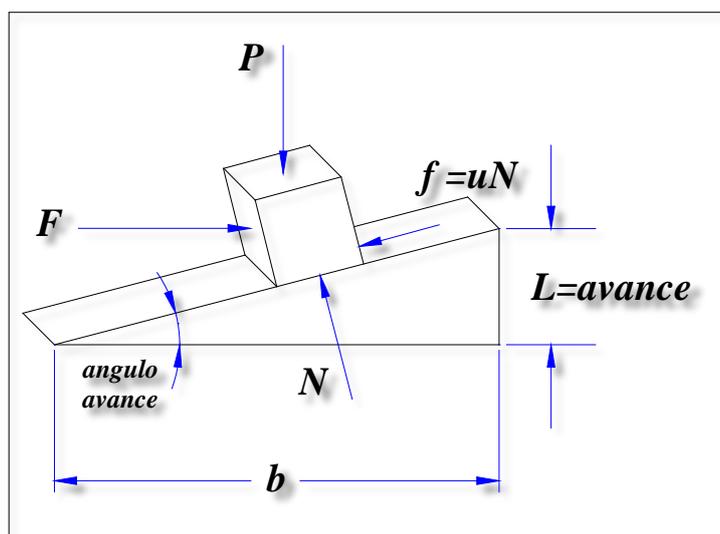


FIG 3. 10 Diagrama de cuerpo libre tuerca-tornillo de una rosca ACME.

Fuente: Autor

De la FIG 3.10 se tiene que  $b = \pi d_p$  de la expresión respectiva del ángulo de avance. Para determinar el par de torsión necesario para mover una carga axial y perpendicular, se plantea la ecuación de par de torsión:

$$T = F \frac{d_p}{2} \quad EC. (3.17)$$

Dónde:

- $F$ , Carga a mover.
- $d_p$ , Diámetro de paso del tornillo de potencia.
- $\mu$  Coeficiente de rozamiento

Para hallar la expresión equivalente de  $F$  y por ende la expresión del par de torsión se realiza el diagrama del cuerpo libre partiendo de la FIG 3.10. Hay que tomar en cuenta que el ángulo radial de una rosca Acme introduce un factor adicional en la ecuación del par de torsión.

La fuerza normal entre tornillo y tuerca se presenta en ángulo en dos planos, en el ángulo de avance  $\lambda$  según se muestra en la FIG 3.11 y también en el ángulo de  $\alpha = 14,5^\circ$  de la rosca Acme, según se muestra en la FIG 3.12.

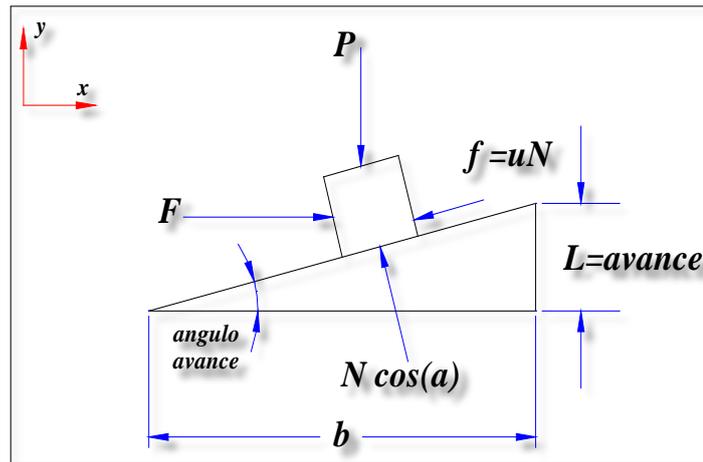


FIG 3. 11 Diagrama de cuerpo libre para rosca ACME en el plano x-y.

**Fuente:** Autor

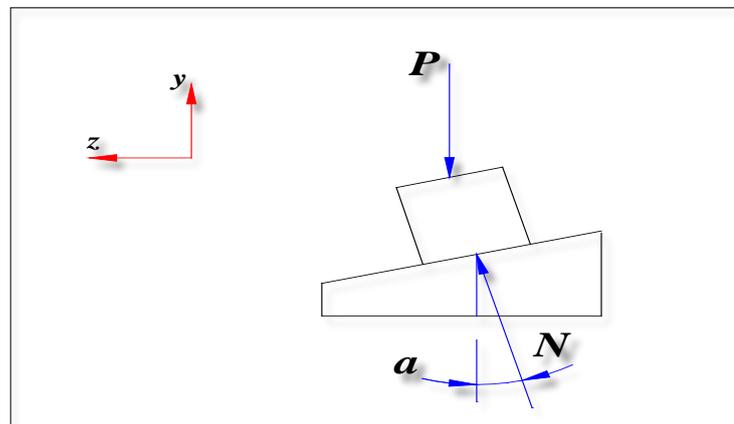


FIG 3. 12 Diagrama de cuerpo libre para rosca ACME en el plano y-z.

**Fuente:** Autor

Partiendo de la FIG 3.11 se plantea las ecuaciones de equilibrio para las fuerzas en las direcciones x e y.

$$\sum F_x = 0$$

$$F - f \cos \lambda - N \cos \alpha \sin \lambda = 0$$

$$F - uN \cos \lambda - N \cos \alpha \sin \lambda = 0 \quad EC. (3.18)$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$N \cos \lambda \cos \alpha - f \sin \lambda - P = 0$$

$$= 0 \quad EC. (3.19) \quad N \cos \lambda \cos \alpha - uN \sin \lambda - P$$

Donde  $u$  es el coeficiente de fricción entre el tornillo y el tren de bolas recirculantes pertenecientes a la tuerca. Despejando la  $F$  de la ecuación 3.18 obtenida de la  $\sum F_x$  y la  $N$  de la ecuación 3.19 obtenida de la  $\sum F_y$ , se tiene:

$$F = N(\mu \cos \lambda + \cos \alpha \sin \lambda) \quad EC. (3.20)$$

$$N = \frac{P}{(\cos \lambda \cos \alpha - \mu \sin \lambda)} \quad EC. (3.21)$$

Reemplazando la ecuación 3.21 de la  $N$  en la ecuación 3.20 de la  $F$ , se obtiene la siguiente expresión:

$$F = P \frac{(\mu \cos \lambda + \cos \alpha \sin \lambda)}{(\cos \lambda \cos \alpha - \mu \sin \lambda)} \quad EC. (3.22)$$

Por tanto el par de torsión requerido para lograr la carga de tracción necesaria en función de las características de la rosca del tornillo, está definido reemplazando la ecuación 3.22 en la ecuación 3.17 teniendo:

$$T = \frac{Pd_p}{2} \frac{(\mu \cos \lambda + \cos \alpha \sin \lambda)}{(\cos \lambda \cos \alpha - \mu \sin \lambda)} \quad EC. (3.23)$$

Resulta más conveniente expresar la ecuación anterior en función del avance  $L$  en vez del ángulo de avance  $\lambda$ , por lo que se divide el numerador y el denominador de la ecuación del par requerido entre  $\cos \lambda$  y se sustituye  $\frac{L}{\pi d_p}$  por  $\tan \lambda$  y su vez teniendo en cuenta que es una carga perpendicular, a este valor se lo debe multiplicar por el valor del coeficiente de rozamiento entre el husillo y el tren de bolas recirculantes, para introducirlo en la ecuación 3.23 correspondiente al par de torsión para una carga axial para obtener la ecuación del par de torsión requerido para una carga perpendicular.

Teniendo:

$$T = \frac{P \mu_1 d_p (\mu \pi d_p + L \cos \alpha)}{2 (\pi d_p \cos \alpha - \mu L)} \quad EC. (3.24)$$

En la tabla 3.3 se muestran algunos coeficientes de fricción para pares de materiales comunes. A través de la misma se selecciona el coeficiente de fricción más acercado a la realidad, seleccionando el coeficiente de fricción de cojinetes de bolas de  $\mu = 0,03$ .

TABLA 3. 1 Datos típicos de tornillos de potencia.

Datos típicos de tornillos de potencia			
Material	e=eficiencia	Material	$\mu$ =coef. Fricción
Tuerca de bolas	0,80-0,90	Acero en acero	0,58
Acme con tuerca plástica	0,65	Acero en acero (lubricado)	0,15
Acme con tuerca metálica	0,4	Teflón en acero	0,04
		Cojinetes de bolas	0,03

**Fuente:** Fuente: SHIGLEY J. Diseño e ingeniería Mecánica. Ed, Mc Graw-Hill. p 46

Con el valor del diámetro nominal  $d$  y el paso  $l$ , se calcula el diámetro de paso del tornillo partiendo de la siguiente ecuación, para el posterior cálculo del par de torsión requerido.

$$d_r = d - \frac{p}{2} \quad EC.(3.25)$$

$$d_p = \frac{d + d_r}{2} \quad EC.(3.26)$$

Dónde:

- $d_r$ , Diámetro de raíz.
- $d_p$ , Diámetro de paso.
- $d$ , Diámetro nominal.
- $p$ , Paso del tornillo de potencia.

Se calcula del diámetro de raíz del tornillo con la ecuación 3.25:

$$d_r = 9,7 - \frac{2}{2}$$

$$d_r = 8,7(mm)$$

Para el diámetro de paso en la ecuación 3.26, se tiene:

$$d_p = \frac{9,7 + 8,7}{2}$$

$$d_p = 9,2 (mm)$$

Para determinar la fuerza de fricción es necesario determinar las cargas perpendiculares sobre en los tornillo X, Y y Z, que se muestran en la tabla 3.4, 3.5. Obtenidas de las propiedades físicas de cada elemento en *SolidWorks® Office Profesional*.

TABLA 3. 2. Cargas perpendiculares sobre el tornillo Y de potencia.

Elemento	Masa	Peso
	(gr)	(N)
Bancada Entenalla	17795,76	174,4
Carro Transversal	5030,54	49,3
Guía Eje X	77,62	0,76
Guía Eje Y	77,64	0,76
Eje Y	752,96	7,38
Entenalla y sus partes	7069,54	69,28
Placa Deslizante	100,24	0,98
Rodamiento Eje Y	106,21	1,04
<b>Total</b>		<b>303,9</b>

**Fuente:** Autor

TABLA 3. 3 Cargas perpendiculares sobre el tornillo X de potencia.

Elemento	Masa	Peso
	(gr)	(N)
Bancada Entenalla	17795,76	174,40
Rodamiento Eje X	82,99	0,81
Entenalla	7069,54	69,28
<b>Total</b>		<b>244,49</b>

**Fuente:** Autor

El coeficiente de rozamiento es determinado a través de la tabla 3.6, en donde se muestra la relación entre algunos materiales.

TABLA 3. 4 Coeficientes de fricción para pares roscados.

Material del tornillo	Material de la tuerca			
	Acero	Bronce	Latón	Fundición de hierro
Acero, seco	0,15-0,25	0,15-0,23	0,15-0,19	0,15-0,25
Acero, aceite para máquina	0,11-0,17	0,10-0,16	0,10-0,15	0,11-0,17
Bronce	0,08-0,12	0,04-0,06	-	0,06-0,09

**Fuente:** Fuente: SHIGLEY J. Diseño e ingeniería Mecánica. Ed, Mc Graw-Hill. p 465.

Seleccionando el valor de  $\mu_1 = 0,17$  que es el valor más acercado a la realidad, entre acero y acero lubricado con aceite de máquina, ya que las guías, la bancada y el carro transversal como tal se encuentran fabricados de acero AISI 1020.

### EJE Y

Una vez que se tienen todos los datos procedemos a remplazar en la ecuación 3.12 y calculamos el par de torsión.

$$T = \frac{303,90 \cdot 0,17 \cdot 0,0092}{2} \frac{(0,03 \cdot \pi \cdot 0,0092 + 0,002 \cdot \cos 14,5^\circ)}{(\pi \cdot 0,0092 \cdot \cos 14,5^\circ - 0,03 \cdot 0,002)}$$

$$T_{Carga perpendicular} = 24 \text{ (Nmm)}$$

### EJE X

$$T = \frac{244,49 \cdot 0,17 \cdot 0,0092}{2} \frac{(0,03 \cdot \pi \cdot 0,0092 + 0,002 \cdot \cos 14,5^\circ)}{(\pi \cdot 0,0092 \cdot \cos 14,5^\circ - 0,03 \cdot 0,002)}$$

$$T_{Carga perpendicular} = 19 \text{ (Nmm)}$$

## EJE Z

El par de torsión de rotación requerido para convertir el movimiento de rotación del husillo de bolas en movimiento recto para el eje Z se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

Durante la aceleración hacia arriba

$$T_{k1} = T_1 + T_3 \quad EC. (3.27)$$

Dónde:

- $T_{k1}$ , Torque rotacional requerido durante la aceleración hacia arriba ( $N.mm$ )
- $T_1$ , Torque de fricción debido a carga externa durante el movimiento uniforme hacia arriba ( $N.mm$ )
- $T_3$ , Torque requerido para la aceleración ( $N.mm$ )

Durante el movimiento uniforme hacia arriba

$$T_{t1} = T_1 \quad EC. (3.28)$$

Durante la desaceleración hacia arriba

$$T_{g1} = T_1 - T_3 \quad EC. (3.29)$$

Durante la aceleración hacia abajo

$$= T_2 - T_3 \quad EC. (3.30) \quad T_{k2}$$

Dónde:

- $T_2$ , Torque requerido durante el movimiento uniforme hacia abajo ( $N.mm$ )

Durante el movimiento uniforme hacia abajo

$$T_{t2} = T_2 \quad EC. (3.31)$$

Durante la desaceleración hacia abajo

$$T_{g2} = T_2 + T_3 \quad EC. (3.32)$$

Cálculo del torque de fricción debido a una carga externa

Durante el movimiento uniforme hacia arriba

$$T_1 = \frac{F_a \cdot P_h}{2\pi \cdot n} \cdot A \quad EC. (3.33)$$

Dónde:

- $F_a$ , Carga aplicada (N)
- $P_h$ , Paso del husillo de bolas 2 (mm)
- $n$ , Eficiencia del husillo de bolas (0,9 a 0,95)
- $A$ , Proporción de reducción: 1

TABLA 3. 5 Cargas sobre el Eje Z.

Elemento	Masa (gr)	Peso (N)
Sistema de Accionamiento del husillo	15000	147
Fuerza Taladrado		436,41
	<b>Total</b>	<b>583,41</b>

Fuente: Autor

Reemplazando el valor de carga aplicada sin tomar en cuenta la fuerza de taladrado se tiene:

$$T_1 = 51,9 \text{ (N. mm)}$$

Durante el movimiento uniforme hacia abajo

$$T_2 = \frac{F_a \cdot P_h}{2\pi \cdot n} \cdot A \quad EC. (3.34)$$

$$T_2 = 206,3 \text{ (N. mm)}$$

Para el cálculo del torque de fricción requerido para la aceleración se tiene:

$$T_3 = J \cdot \omega' \cdot 10^3 \text{ (N. mm)} \quad EC. (3.35)$$

Dónde:

- $J$ , Momento de inercia ( $kg \cdot m^2$ )
- $\omega'$ , Aceleración angular ( $rad/s^2$ )

El momento de inercia vienen dado por:

$$J = m \left( \frac{P_h}{2\pi} \right) \cdot A^2 \cdot 10^{-6} + J_s \cdot A^2 \text{ (N. mm)} \quad EC. (3.36)$$

Dónde:

- $J_s$ , Momento de inercia del eje de husillo ( $kg \cdot m^2$ )

Tomando  $J_s = 9,5 \times 10^{-7} \text{ (kg m}^2\text{)}$  calculada en la sección 3.5.9.

Por lo tanto resolviendo la ecuación 3.36:

$$J = 1,98 \times 10^{-5} \text{ (kg m}^2\text{)}$$

La aceleración angular:

$$\omega' = 102,48 \text{ (rad/ s}^2\text{)}$$

Los respectivos cálculos de la aceleración angular se muestran en la sección del Torque 3.4.9.

Por lo tanto el torque requerido para la aceleración, de la ecuación 3.35 es:

$$T_3 = 2,03 \text{ (N. mm)}$$

Así entonces, se tiene los siguientes resultados:

- Torque requerido durante la aceleración hacia arriba.

$$T_{k1} = 53,93 \text{ (N. mm)}$$

- Torque requerido durante el movimiento uniforme hacia arriba.

$$T_{t1} = 51,9 \text{ (N. mm)}$$

- Torque requerido durante la desaceleración hacia arriba.

$$T_{g1} = 49,87 \text{ (N. mm)}$$

- Torque requerido durante la aceleración hacia abajo.

$$T_{k2} = 204,27 \text{ (N. mm)}$$

- Torque requerido durante el movimiento uniforme hacia abajo.

$$T_{t2} = 206,3 \text{ (N. mm)}$$

- Torque requerido durante la desaceleración hacia abajo.

$$T_{g2} = 208,33 \text{ (N. mm)}$$

Por lo tanto, el mayor torque obtenido en el eje Z, se presenta en la desaceleración hacia abajo con un valor de 208,33 N.mm. Este valor servirá más adelante para la selección del motor que proporcionará el movimiento al eje.

### 3.4.8. VELOCIDAD CRÍTICA

Es importante que el husillo de bolas funcione a velocidad inferior a la de su frecuencia natural de vibración, en que aparecen fuerzas desequilibrantes. Por lo que aparece el fenómeno de velocidad crítica, a la cual el tornillo tiende a vibrar o agitarse sobre su eje, y posiblemente alcance amplitudes peligrosas. En consecuencia se recomienda que la velocidad de funcionamiento del husillo sea menor que 0.8 veces la velocidad crítica.

Un estimado de la velocidad crítica, sugerido por Roton Products, Inc y Niasa Products se representa en la ecuación 3.37.

$$n_c = \frac{4,76 \times 10^6 \cdot d_r \cdot K_s}{SF \cdot La^2} \quad EC. (3.37)$$

Dónde:

- $n_c$ , Velocidad crítica ( $min^{-1}$ ).
- $d_r$ , Diámetro de raíz del tornillo ( $in$ ).
- $K_s$ , Factor de empotramiento de extremos.
- $La$ , Longitud entre los soportes ( $in$ ).

- $SF$ , Factor de seguridad.

El factor de empotramiento de extremos,  $K_s$ , depende de la forma de soportar los extremos del tornillo; las posibilidades se visualizan en la FIG 3.13:

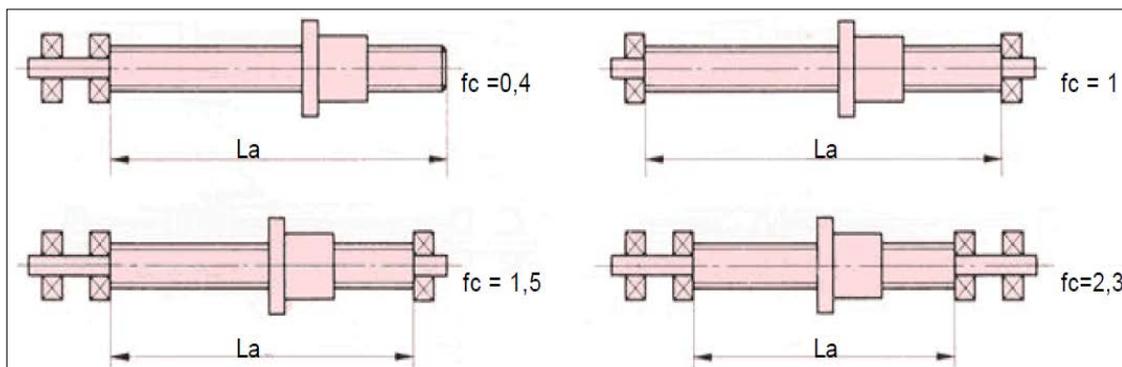


FIG 3. 13 Representación del factor de empotramiento en los extremos  $K_s$  .

**Fuente:** [http://www.niasa.es/backend/catalogos/husillos\\_es.pdf](http://www.niasa.es/backend/catalogos/husillos_es.pdf). Husillos de bolas. Español. p 9.

- Simplemente apoyado en cada extremo, con un cojinete:  $K_s = 1$ .
- Empotrado en cada extremo, con dos cojinetes que evitan rotación en el apoyo:  $K_s = 2,3$ .
- Empotrado en un extremo y simplemente en el otro:  $K_s = 1,5$ .
- Empotrado en un extremo y libre en el otro:  $K_s = 0,4$ .

De acuerdo a las necesidades del sistema y selección del tornillo de bolas, el tornillo de potencia se empotrará en un extremo y el otro libre, por lo que el factor empotramiento  $K_s = 0,4$ .

Del diseño del par de torsión necesario para los tornillos de bolas, se tiene los siguientes datos:

**EJE Y**

- $d_r = 8,7 \text{ (mm)} = 0,342 \text{ (in)}$ .
- $K_s = 0,4$
- $La = 245 \text{ (mm)} = 9,645 \text{ (in)}$
- $SF = 3$

$$n_c = \frac{4,76 \times 10^6 \cdot 0,342 \cdot 0,4}{3 \cdot 9,645^2}$$

$$n_c = 2333,282 \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

**EJE X**

- $d_r = 8,7 \text{ (mm)} = 0,342 \text{ (in)}$ .
- $K_s = 0,4$
- $La = 325 \text{ (mm)} = 12,795 \text{ (in)}$
- $SF = 3$

$$n_c = \frac{4,76 \times 10^6 \cdot 0,342 \cdot 0,4}{3 \cdot 12,795^2}$$

$$n_c = 1325,84 \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

**EJE Z**

- $d_r = 8,7 \text{ (mm)} = 0,342 \text{ (in)}$ .
- $K_s = 0,4$
- $La = 140 \text{ (mm)} = 5,52 \text{ (in)}$
- $SF = 3$

$$n_c = \frac{4,76 \times 10^6 \cdot 0,342 \cdot 0,4}{3 \cdot 5,52^2}$$

$$n_c = 7123,5 \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

La velocidad máxima permitida antes de provocar fuerzas desequilibrantes, está dada por la ecuación 3.38, proporcionado por la empresa Niasa Products.

$$n_{ad} = n_c \cdot K_s \cdot 0,8 \quad EC. (3.38)$$

Dónde:

- $n_{ad}$ , Velocidad máxima permitida ( $min^{-1}$ ).
- $n_c$ , Velocidad crítica ( $min^{-1}$ ).
- $K_s$ , Factor de corrección de apoyos.

De la ecuación 3.38 se obtiene el valor de velocidad máxima permitida de giro, de donde:

#### EJE Y

- $n_c = 2333,282 \text{ min}^{-1}$ .
- $K_s = 0,4$

$$n_{ad} = 2333,282 \cdot 0,4 \cdot 0,8 = 746,65 \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

$$n_{ad} = 118,83 \text{ RPM}$$

#### EJE X

- $n_c = 1325,84 \text{ (min}^{-1}\text{)}$ .
- $K_s = 0,4$

$$n_{ad} = 1325,84 \cdot 0,4 \cdot 0,8 = 424,27 \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

$$n_{ad} = 67,52 \text{ RPM}$$

#### EJE Z

- $n_c = 7686,501 \text{ (min}^{-1}\text{)}$ .
- $K_s = 0,4$

$$n_{ad} = 7123,5 \cdot 0,4 \cdot 0,8 = 2279,5 \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

$$n_{ad} = 362,7 \text{ RPM}$$

### 3.4.9. TORQUE POR INERCIA

Para seleccionar el torque del motor adecuado además de los anteriormente calculados, es necesario conocer la cantidad de inercia a vencer para producir el movimiento y generar la fuerza de tracción.

Tomando en cuenta que el torque para vencer la inercia generada por la carga perpendicular ya se calculó, se procede a calcular el torque necesario para vencer la inercia del tornillo como tal.

Considerando al tornillo de potencia como un cilindro macizo, se tiene que:

$$I = \frac{mr^2}{2} \quad EC. (3.39)$$

Dónde:

- $I$ , Inercia para un cilindro macizo ( $kg \cdot m^2$ ).
- $m$ , Masa del cilindro macizo ( $kg$ ).
- $r$ , Radio del cilindro macizo ( $m$ ).

Para conocer la masa del tornillo de potencia de bolas, se pesó el mismo sin el sistema de rodamientos, obteniendo un peso de:

**EYE Y**

$$m = 150,52(gr)$$

**EJE X**

$$m = 202,33(gr)$$

**EJE Z**

$$m = 79,98(\text{gr})$$

Conociendo que el diámetro nominal del tornillo para los 3 ejes es de 9,7 (mm) y el valor de su masa calculada anteriormente, se aplica la ecuación 3.39

**EJE Y**

$$I = \frac{0,15052 \cdot (4,85 \times 10^{-3})^2}{2}$$

$$I = 1,77 \times 10^{-6} (\text{kg m}^2)$$

**EJE X**

$$I = \frac{0,20233 \cdot (4,85 \times 10^{-3})^2}{2}$$

$$I = 2,38 \times 10^{-6} (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$$

**EJE Z**

$$I = \frac{0,07998 \cdot (4,85 \times 10^{-3})^2}{2}$$

$$I = 9,5 \times 10^{-7} (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$$

Para obtener el par de momento necesario para vencer la inercia del tornillo de potencia calculada, se plantea la siguiente ecuación:

$$\sum M = \sum I\alpha \quad \text{EC. (3.40)}$$

Dónde:

- $M$ , Momento ( $Nm$ ).
- $I$ , Inercia de los elementos a considerar ( $kg \cdot m^2$ ).
- $\alpha$ , Aceleración angular ( $\frac{rad}{s^2}$ ).

Teniendo en cuenta que la aceleración angular está definida por la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \quad EC. (3.41)$$

Dónde:

- $\alpha$ , Aceleración angular ( $\frac{rad}{s^2}$ ).
- $\omega$ , Velocidad angular ( $\frac{rad}{s}$ ).
- $t$ , Tiempo de duración ( $s$ ).

Tomando la velocidad angular crítica de la sección 3.4.8 como el valor máximo que puede tomar los motores a pasos, se tiene que:

### EJE Y

$$\omega = 746,65 \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

$$\omega = 746,65 \frac{rad}{min} \cdot \frac{1min}{60s}$$

$$\omega = 12,44 \left( \frac{rad}{s} \right)$$

### EJE X

$$\omega = 424,27 \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

$$\omega = 424,27 \frac{\text{rad}}{\text{min}} \cdot \frac{1\text{min}}{60\text{s}}$$

$$\omega = 7,07 \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

**EJE Z**

$$\omega = 2279,5 (\text{min}^{-1})$$

$$\omega = 2279,5 \frac{\text{rad}}{\text{min}} \cdot \frac{1\text{min}}{60\text{s}}$$

$$\omega = 37,9 \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

Asumiendo que en un tiempo de 1 segundos, el motor alcanza el valor de  $31,11 \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$ ; por tanto reemplazando en la ecuación 3.41, se tiene que:

**EJE Y**

$$\alpha = \frac{12,44}{1}$$

$$\alpha = 12,44 \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right)$$

**EJE X**

$$\alpha = \frac{7,07}{1}$$

$$\alpha = 7,07 \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right)$$

**EJE Z**

$$\alpha = \frac{37,9}{1}$$

$$\alpha = 37,9 \left( \frac{rad}{s^2} \right)$$

Remplazando los valores encontrados de aceleración angular e inercia del tornillo de bolas en la ecuación 3.40, se tiene que:

**EJE Y**

$$\sum M = 1,77 \times 10^{-6} \cdot 12,44$$

$$\sum M = 2 \times 10^{-5} \text{ (N.m)}$$

**EJE X**

$$\sum M = 2,38 \times 10^{-6} \cdot 7,07$$

$$\sum M = 1,68 \times 10^{-5} \text{ (N.m)}$$

**EJE Z**

$$\sum M = 9,5 \times 10^{-7} \cdot 37,9$$

$$\sum M = 3,6 \times 10^{-5} \text{ (N.m)}$$

### 3.4.10. TORQUE TOTAL REQUERIDO

Para hallar el torque total necesario para el motor, se plantea la siguiente ecuación:

$$T_{motor} = \frac{T_{teorico}}{n} \quad EC.(3.42)$$

Dónde:

- $n$ , eficiencia del motor a pasos = 0,9

#### EJE Y

$$T = T_{Carga\ perpendicular} + T_{Tornillo} + T_{corte}$$

$$T = 24 + 0,022 + 247,5$$

$$T = \frac{271,52}{0,9} = 301,69 \text{ (N. mm)}$$

#### EJE X

$$T = T_{Carga\ perpendicular} + T_{Tornillo} + T_{corte}$$

$$T = 19 + 0,0168 + 247,5$$

$$T = \frac{266,51}{0,9} = 296,13 \text{ (N. mm)}$$

#### EJE Z

$$T = T_{g2} + T_{Tornillo}$$

$$T = \frac{208,36}{0,9} = 231,51 \text{ (N.mm)}$$

### 3.4.11. POTENCIA

La potencia requerida para el par de torsión calculado, está definido por:

$$P = \omega T \quad EC.(3.43)$$

Dónde:

- $P$ , Potencia ( $W$ ).
- $\omega$ , Velocidad angular  $\left(\frac{rad}{s}\right)$ .
- $T$ , Torque ( $Nm$ ).

Reemplazando los valores de cada uno de los ejes encontrados anteriormente en la ecuación 3.43, tenemos:

#### EJE Y

$$P = 12,44 \cdot 0,3$$

$$P = 3,75 \text{ (W)}$$

#### EJE X

$$P = 7,07 \cdot 0,29$$

$$P = 2,05 \text{ (W)}$$

#### EJE Z

$$P = 37,9 \cdot 0,23$$

$$P = 7,5 (W)$$

Tomando en cuenta que el pico de corriente del motor a pasos a carga máxima es de 4,2 (A) (Co., 2010) y para asegurar que el estator del mismo no sufra daños por la corriente generada al momento del arranque del motor cuando el mismo vence la inercia del sistema a una velocidad baja, se multiplica la potencia del motor por un factor de seguridad el cual es el valor de corriente máxima del mismo.

#### **EJE Y**

$$P = 3,75 \cdot 4,2$$

$$P = 15,7 (W)$$

#### **EJE Y**

$$P = 2,05 \cdot 4,2$$

$$P = 8,61 (W)$$

#### **EJE Z**

$$P = 7,5 \cdot 4,2$$

$$P = 31,5 (W)$$

### 3.4.12. NÚMERO DE PASOS DEL MOTOR

De parámetros de la máquina se tiene que la precisión será de 0.01 mm, y un avance de 2 mm entonces partiendo de eso calculamos el número de pasos del motor:

$$N_p = \frac{l}{a} \quad EC. (3.44)$$

Dónde:

- $N_p$ , Número de pasos de motor ( $p/rev$ ).
- $l$ , paso del tornillo ( $mm$ ).
- $a$ , avance ( $mm$ ).

$$N_p = \frac{2}{0,01}$$

$$N_p = 200 \quad (p/rev)$$

## 3.5. ANALISIS COMPARATIVO Y SELECCIÓN ENTRE SERVOMOTOR Y MOTOR A PASOS

Hay varios factores que deben evaluarse antes de decidir qué tipo de motor se debe utilizar, los cuales son velocidad, par, bucle, resolución, precio y mantenimiento, lo cual analizaremos en la siguiente tabla 3.1.

TABLA 3. 6. Análisis Comparativo Motores PAP y Servomotor

PARÁMETRO/ MOTOR	PAP	SERVOMOTOR
VELOCIDAD	Hay una relación inversa entre velocidad y par en los motores por pasos. Cuando la velocidad se incrementa, el par decrece.	Los motores servo tienen un par constante hasta la velocidad nominal.
PAR	Los motores por pasos no tienen la capacidad de producir un par pico en cortos periodos de tiempo.	Los servomotores tienen la capacidad de producir un par pico en cortos periodos de tiempo que es hasta 8 veces su par nominal continuo.
BUCLE	Los motores por pasos son de bucle abierto.	Los servos son de bucle cerrado.
RESOLUCIÓN	Los motores por pasos tienen 200 pasos por revolución. El driver/amplificador puede configurarse a medio paso del motor (400 pasos/rev) o incluso micro pasos (ej. 1600 pasos/rev y hasta 25000 pasos/rev).	El servomotor se basa en un codificador con valores típicos 500, 1000, 2000 pasos/rev. Si usamos un codificador de cuadratura, la resolución se multiplica por cuatro.
PRECIO	Los motores por pasos tienden a ser un 10-20 % más baratos	Costo Alto
MANTENIMIENTO	Los motores por pasos no tienen escobilla y por tanto no necesitan mantenimiento.	Necesitan que sus escobillas se cambien periódicamente, para evitar esto pueden usarse servomotores sin escobillas.

Fuente: Autor

### 3.5.1. VELOCIDAD

Los motores servo tienen un par constante hasta la velocidad nominal. Como criterio general, por encima de 1000 rpm, debe seleccionarse servo. Si la velocidad está por debajo de 500 rpm que es nuestro caso, los motores por pasos son una buena elección porque producen un par más alto que el servomotor de tamaño equivalente.

### 3.5.2. PAR

En cuanto a la capacidad de producir un par pico en cortos periodos de tiempo que es hasta 8 veces su par nominal continuo, esto es particularmente útil cuando la resistencia del movimiento no es constante.

### **3.5.3. BUCLE**

El bucle es un enlace de retroalimentación que controla que el motor esté trabajando correctamente. En algunos casos que requieren la alta velocidad, alta aceleración o aplicaciones críticas, el bucle cerrado es importante. Esto sería fundamental por ejemplo cuando se trabaja con accesorios caros en los que los fallos no son aceptables, el cual no es nuestro caso.

### **3.5.4. RESOLUCION**

Para la precisión de 0,01 mm que queremos para la maquina NCM – 2000 ambos tipos de motores nos ayudaría alcanzar dicho parámetro, sin embargo entran otros parámetros como mantenimiento y precio.

### **3.5.5. PRECIO**

En cuanto al precio lo motores a pasos son considerablemente más económicos, siendo estos un 10-20% más barato con respecto a los servomotores.

### **3.5.6. MANTENIMIENTO**

Los motores por pasos no tienen escobilla y por tanto no necesitan mantenimiento. Los servos necesitan que sus escobillas se cambien periódicamente sin embargo para evitar esto pueden usarse servomotores sin escobillas.

Una vez realizado el análisis comparativo de entre motores PAP y Servomotores, se realizara una matriz de decisión (Tabla 3.2) para determinar mediante el factor de ponderación cual es la mejor opción.

TABLA 3. 7 Matriz de decisión motor PAP – Servomotor

Factor	Factor de Ponderación	MOTOR PAP	SERVOMOTOR
VELOCIDAD	1	7 0,7	9 0,9
PAR	2	7 1,4	9 1,8
BUCLE	1	6 0,6	9 0,9
RESOLUCIÓN	2	9 1,8	8 1,6
PRECIO	3	9 2,7	6 1,8
MANTENIMIENTO	1	9 0,9	8 0,8
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>8,1</b>	<b>7,8</b>

**Fuente:** Autor

Por lo expuesto y explicado, se escogerán motores a pasos debido a que cumple con los parámetros requeridos ya sea de velocidad, par, bucle, resolución, precio, mantenimiento y de esta manera no sobredimensionar nuestro proyecto.

### 3.6. ADQUISICION DE MOTORES A PASOS

En la FIG.3.14 podemos observar características similares a los motores PITTMAN EXPRESS - GM9413h635 que funcionaba en la maquina NCM-2000, los cuales se encuentran descontinuados en el mercado. Dichos motores poseen un torque de 0.961 N.m como Torque máximo continuo y un torque pico de 2,3 N.m.

Reduction Ratio	Maximum Continuous Torque		No-Load Speed	Peak Torque (Stall)	Torque Constant	Back EMF Constant	Resistance $\Omega$	Inductance mH	Rated Voltage V	Encoder	Outline Drawing Page Number	Part Number
	oz-in (Nm)	rpm (rad/s)	oz-in (Nm)	oz-in/A (Nm/A)	V/krpm (V/rad/s)							
19.7:1 19.7:1	153 (1.081)	236 (24.7)	860 <sup>1,2</sup> (6.074)	3.25 (0.023)	2.4 (0.023)	0.71	0.66	12	500 CPR	PE-11	GM9236S019 <sup>3</sup>	
19.7:1 19.7:1	153 (1.081)	236 (24.7)	860 <sup>1,2</sup> (6.074)	6.49 (0.046)	4.8 (0.046)	2.49	2.63	24	None	PE-11	GM9236S020 <sup>3</sup>	
19.7:1 19.7:1	153 (1.081)	236 (24.7)	860 <sup>1,2</sup> (6.074)	6.49 (0.046)	4.8 (0.046)	2.49	2.63	24	500 CPR	PE-11	GM9236S021 <sup>3</sup>	
65.5:1 65.5:1	480 (3.39)	71 (7.4)	2585 <sup>1,2</sup> (18.257)	3.25 (0.023)	2.4 (0.023)	0.71	0.66	12	None	PE-11	GM9236S024 <sup>3</sup>	
65.5:1 65.5:1	480 (3.39)	71 (7.4)	2585 <sup>1,2</sup> (18.257)	3.25 (0.023)	2.4 (0.023)	0.71	0.66	12	500 CPR	PE-11	GM9236S025 <sup>3</sup>	
65.5:1 65.5:1	480 (3.39)	71 (7.4)	2585 <sup>1,2</sup> (18.257)	6.49 (0.046)	4.8 (0.046)	2.49	2.63	24	None	PE-11	GM9236S026 <sup>3</sup>	
65.5:1 65.5:1	480 (3.39)	71 (7.4)	2585 <sup>1,2</sup> (18.257)	6.49 (0.046)	4.8 (0.046)	2.49	2.63	24	500 CPR	PE-11	GM9236S027 <sup>3</sup>	
5.9:1 5.9:1	15 (106)	474 (49.6)	36 <sup>1</sup> (.254)	5.6 (0.040)	4.14 (0.040)	8.33	6.17	12	None	PE-11	GM9413-1	
19.7:1 19.7:1	45 (.318)	142 (14.9)	109 <sup>1</sup> (.770)	5.6 (0.040)	4.14 (0.040)	8.33	6.17	12	None	PE-11	GM9413-2	
65.5:1 65.5:1	136 (.961)	43 (4.5)	326 <sup>1,2</sup> (2.302)	5.6 (0.040)	4.14 (0.040)	8.33	6.17	12	None	PE-11	GM9413-3	
218.4:1 218.4:1	175 (1.24)	13 (1.4)	973 <sup>1,2</sup> (6.872)	5.6 (0.040)	4.14 (0.040)	8.33	6.17	12	None	PE-11	GM9413-4	
728.1:1 728.1:1	175 (1.24)	4 (0.4)	2913 <sup>1,2</sup> (20.573)	5.6 (0.040)	4.14 (0.040)	8.33	6.17	12	None	PE-11	GM9413-5	
75.1:1 75.1:1	265 (1.87)	82 (8.6)	1580 <sup>1</sup> (11.159)	5.17 (0.037)	3.82 (0.037)	2.96	2.51	24	None	*	GM9634S002 <sup>3</sup>	
144.0:1 144.0:1	900 (3.51)	43 (4.5)	3033 <sup>1,2</sup> (21.421)	5.17 (0.037)	3.82 (0.037)	2.96	2.51	24	None	*	GM9634S003 <sup>3</sup>	

FIG 3. 14 Catálogo de motores PITTMAN EXPRESS

Fuente: <http://www.ametektip.com/Ametek/PublicPDF/PittmanExpress.pdf>

Como requerimiento para la máquina y los parámetros técnicos de los motores a pasos, se tiene los siguientes requerimientos:

- Motores a pasos mayor o igual de 301,69 (N.mm) de torque
- 31,5 (W) de potencia.

De acuerdo a estos requerimientos, se seleccionó para los 3 ejes los motores a pasos **LONGS MOTOR NEMA 23HS9442 CON EJE SIMPLE**



FIG 3. 15 Longs motor nema 23hs9442 con eje simple.

**Fuente:** [http://www.longs-motor.com/productinfo/detail\\_12\\_25\\_114.html](http://www.longs-motor.com/productinfo/detail_12_25_114.html)

TABLA 3. 8 Especificaciones Técnicas Motor a Pasos Nema 23HS9442

<b>Modelo</b>	<b>23HS9430</b>
Número de pasos (p/rev)	200
Longitud motor (mm)	112
Corriente nominal (A)	4,2
Voltaje nominal (V)	6,3
Resistencia ( $\Omega$ )	0,9
Inductancia (mH)	3,8
Torque (N.m)	2,8
Inercia rotor (g.cm <sup>2</sup> )	800
# Cables	4
Peso (g)	1400

**Fuente:** [http://www.longs-motor.com/productinfo/detail\\_12\\_25\\_114.html](http://www.longs-motor.com/productinfo/detail_12_25_114.html)

Analizando las especificaciones técnicas observamos que cumplen con los requerimientos antes analizados para los ejes X e Y, sin embargo para el eje z la potencia requerida sobrepasa a la de 26,46 (W) que brindan

los motores, por lo cual se hizo pruebas en la máquina para determinar si existía problemas en el estator por la corriente generada al momento del arranque o problemas de movimientos o recalentamiento del mismo pero no se encontró ningún inconveniente y el motor trabajo de excelente manera.

### **3.7. DISEÑO DEL ACOPLER MOTOR - EJE**

Es de gran importancia analizar los esfuerzos y desplazamientos que existirán en el sistema de acople - motor y el soporte de cada eje, cuando tenga que soportar el peso de cada motor.

Para determinar los esfuerzos puntuales en una parte mecánica es necesario en primera instancia identificar sus reacciones en los puntos de apoyo o sujeciones, posteriormente determinar esfuerzos cortantes y normales, aplicar el criterio de Mohr para determinar los esfuerzos normales principales y esfuerzos cortantes principales, y por último aplicar la teoría de Von Misses (Teoría de la energía de distorsión máxima) para materiales dúctiles que fallen por carga estática.

Para calcular los esfuerzos que se generan en la pieza de acople y además de sus desplazamientos se utilizó el programa computacional *SolidWorks® Office Profesional*.

Para la ejecución de este tipo de herramientas computacionales es primordial determinar los puntos de apoyo y donde se aplicará la fuerza, así como el material del cual está fabricado el sistema, para poder realizar dichos análisis como se muestra en la FIG.3.16

Tomando en cuenta que el acople se va a manufacturar en acero, el material que se va a definir es Acero AISI 1020 y la fuerza viene dada por la gravedad de su peso y la torsión que ejerce el motor. Una limitación de la simulación es que solo se puede hacer el análisis de esfuerzos de una pieza

y no de un ensamble de piezas por lo que se va simular de tal manera y con un solo tipo de material, el cual se indicó previamente.

Los puntos de apoyo serán los agujeros donde se insertarán los tornillos y la fuerza de aplicación será en la parte superior del motor en su centro de gravedad y la fuerza ejercida por el par de torsión del motor. El procedimiento será el mismo para los 3 ejes.

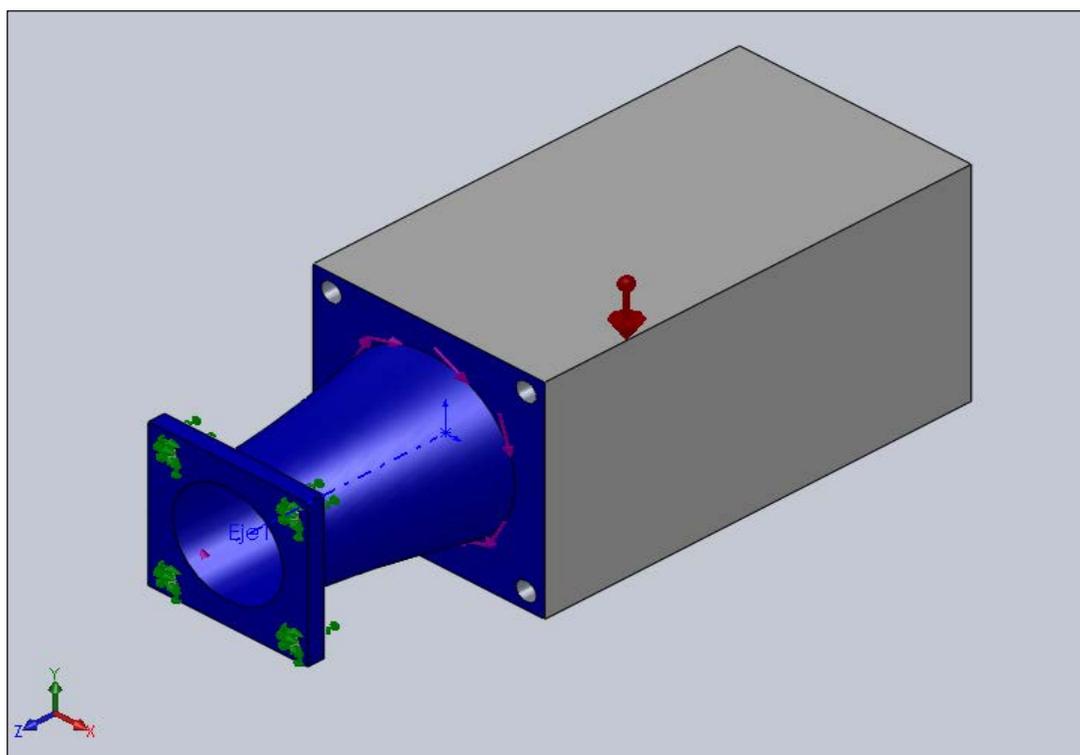


FIG 3. 16 Definición de puntos de apoyo y fuerzas.

**Fuente:** Autor

### 3.7.1. ANALISIS DE ESFUERZOS

La siguiente Fig. 3.17. Muestra el análisis de esfuerzos a través de elementos finitos, el cual indica que en la parte que se determinó como sujeciones soporta un esfuerzo de  $9534186,0 \frac{N}{m^2}$ . El esfuerzo de fluencia del

material al cual ha sido analizado para el acero AISI 1020 es de  $205 \times 10^6 \left(\frac{N}{m^2}\right)$  y aplicando la fórmula de factor de seguridad, se tiene:

$$n = \frac{205 \times 10^6}{9534186,0}$$

$$n = 21,5$$

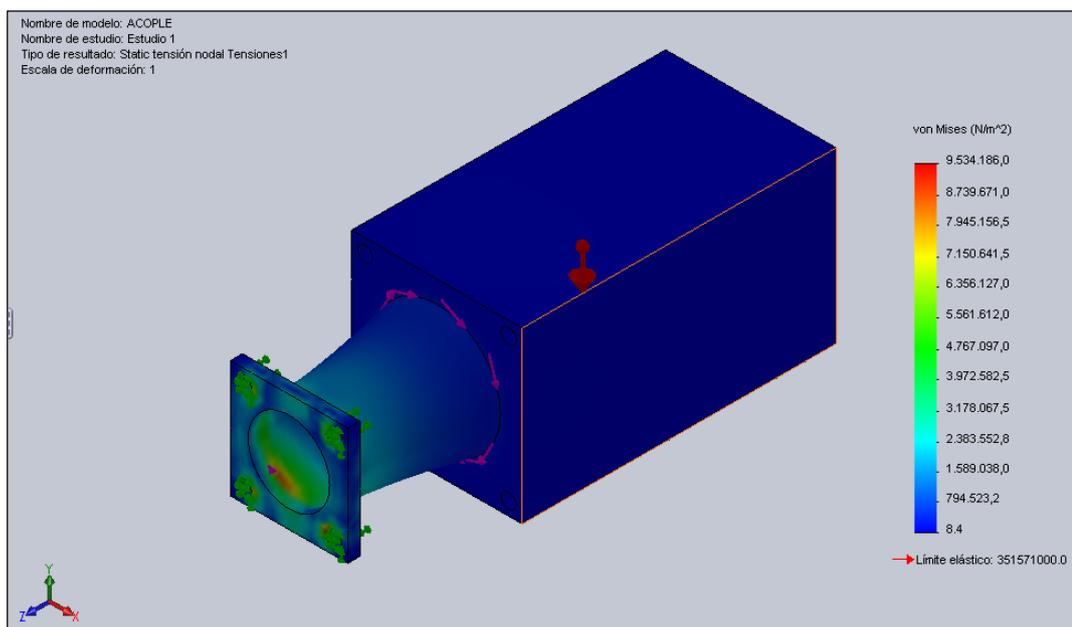


FIG 3. 17 Análisis de esfuerzos que soporta el acople del motor

**Fuente:** Autor

### 3.7.2. ANALISIS DE DEFORMACIÓN

En la FIG 3.18 muestra el desplazamiento que soporta la pieza de acople.

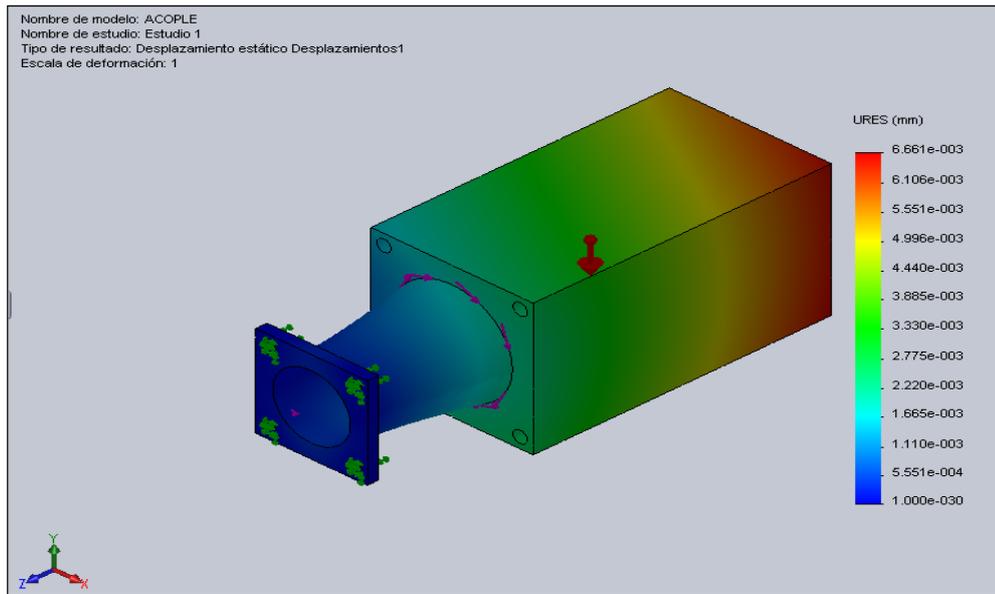


FIG 3. 18 Análisis de deformación en la pieza de acople del motor.

**Fuente:** Autor

Los puntos que sufren mayor desplazamiento es la parte final del motor, sin embargo la parte de interés para analizar, es la pieza de acople del motor con el eje el cual tiene un color celeste indicando un desplazamiento de  $1,665 \times 10^{-3}$  (mm)

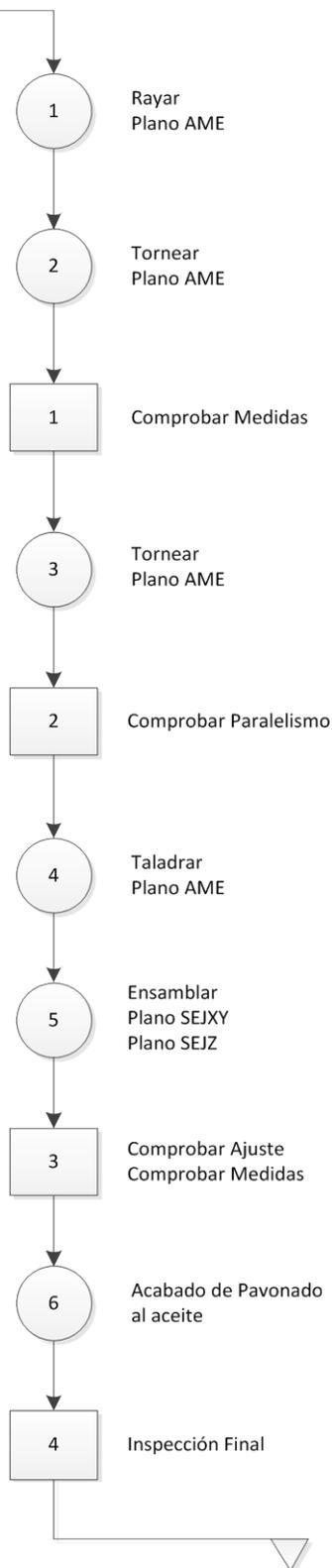
### 3.7.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez hecho el análisis se determinó que el factor de seguridad de esfuerzos sobre la parte de sujeción del acople es de 21,5 un valor considerablemente alto y que la deformación más grande a la que está expuesta el apoyo del acople del motor con el eje es de 0,001 (mm), la cual se puede considerar despreciable, entonces se concluye que la nueva pieza para adaptar los nuevos motores en maquina NCM-2000 cumple con los requerimientos.

Los planos mecánicos se encuentran adjunto en el ANEXO B

### 3.7.4. DIAGRAMA DE PROCESO

ACOPLE DE MOTORES PAP  
Cilindro diam. 60mm



### 3.7.5. MONTAJE DE ACTUADORES



FIG 3. 19 Juego de Matrimonio para Motor y Tornillo de Potencia para cada eje

**Fuente:** Autor

El juego de matrimonios como comúnmente se los conoce, se adaptó de los anteriores motores a los nuevos haciendo un trabajo de desbaste muy pequeño para que se acoplen al nuevo diámetro de los ejes. Para cada motor se manufacturo los acoples de Acero SAE 1020, el cual previamente echo los análisis y estudio de esfuerzos resulto apto y se los instalo en la máquina con 4 tornillos con cabeza allen, cada uno en cada esquina, como se muestra en las siguientes imágenes.



FIG 3. 20 Acople Motor- Soporte Eje X

**Fuente:** Autor



FIG 3. 21 Acople Motor- Soporte Eje Y

**Fuente:** Autor

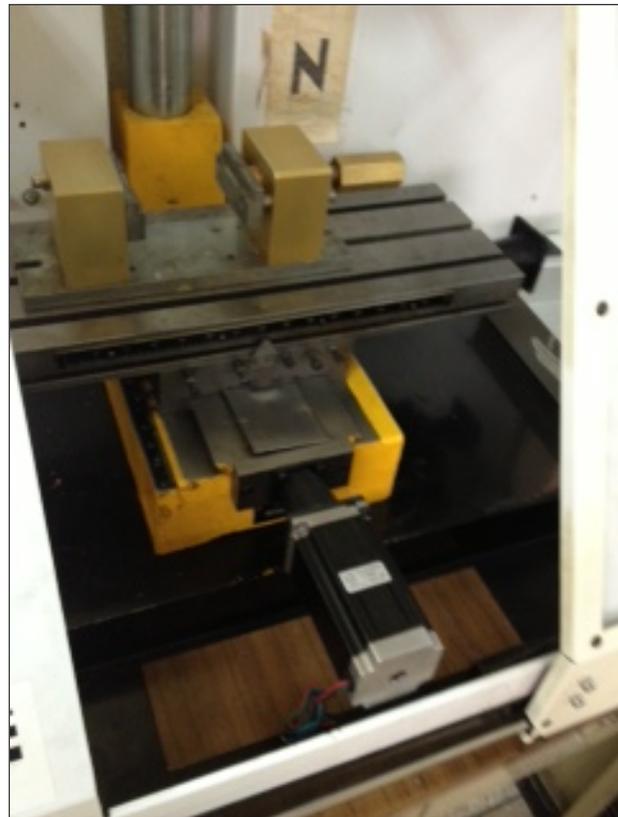


FIG 3. 22 Acople Motor- Soporte Eje X Instalado en la Máquina

**Fuente:** Autor

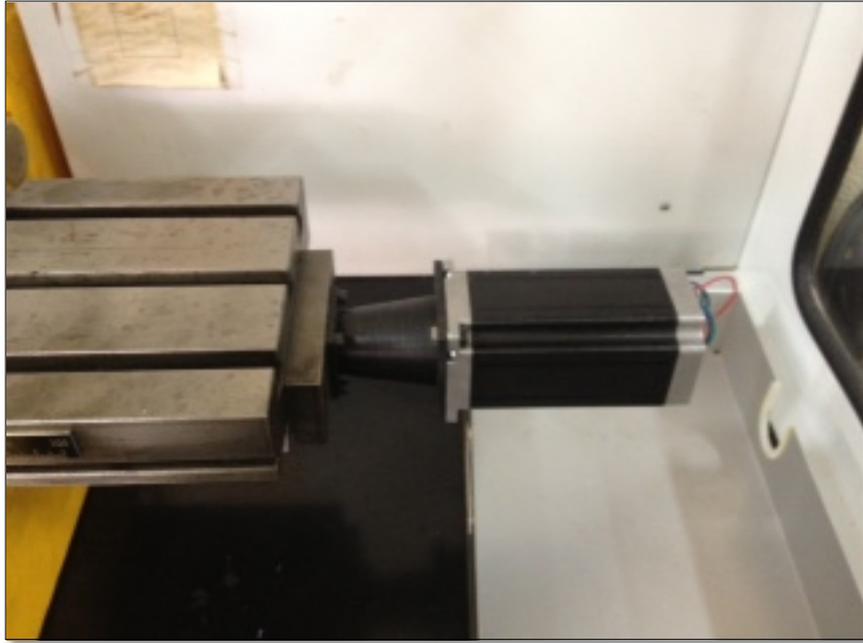


FIG 3. 23 Acople Motor- Soporte Eje Y Instalado en la máquina

**Fuente:** Autor



FIG 3. 24 Acople Motor- Soporte Eje Z Instalado en la Máquina

**Fuente:** Autor

## **CAPÍTULO 4: DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO**

En este capítulo se realizara el diseño del sistema de control, la selección y adquisición de los componentes para la construcción de la interfaz de control y monitoreo para la máquina NCM-2000 con sus respectivos diagramas eléctricos de conexión e instalación.

### **4.1. DISEÑO INTERFAZ DE CONTROL Y MONITOREO**

El sistema de control de la fresadora está dividido en siguientes partes:

- Controlador de posición y avance de los motores de paso, que a su vez transmiten movimiento a los ejes X, Y, Z.
- Control de encendido/apagado y cambio de giro del husillo motorizado,
- Control General de operación, en los que constan:
  - Finales de carrera
  - Electroválvula de aire para refrigerante y ajuste de entenalla.
  - Panel de control (interruptores, botones, indicadores)

### **4.2. ANÁLISIS DE LA INTERFAZ DE CONTROL Y MONITOREO**

Previo al diseño y construcción de la interfaz, se realizó una matriz de decisión TABLA 4.1 para conocer las ventajas y desventajas que representaba realizar la interfaz por cuenta propia o recurrir a interfaces

existentes en el mercado. Para la selección de la interfaz se consideran los siguientes factores:

**Costo:** Entiéndase como la cantidad que se puede llegar abaratar los costos de fabricación de la interfaz para la máquina NCM-2000 utilizando nuevas tecnologías.

**Tiempo:** Entiéndase, como el menor tiempo utilizado para la fabricación de la interfaz de la maquina NCM-2000.

**Fiabilidad:** Probabilidad de que la interfaz funcione adecuadamente durante un período de tiempo determinado bajo condiciones operativas específicas.

**Rendimiento:** Compatibilidad y comunicación con mach 3 vía USB y control de variables que intervienen en el proceso de fresado.

TABLA 4. 1. Matriz de decisión entre Interfaz Comercial e Interfaz fabricada

Factor	Factor de Ponderación	Interfaz comercial	Interfaz fabricada
<b>Tiempo</b>	3,5	9 2,7	6 1,8
<b>Fiabilidad</b>	3	9 2,7	5 1,5
<b>Costo</b>	2,5	9 2,25	6 1,5
<b>Rendimiento</b>	1	9 1,35	8 1,2
<b>TOTAL</b>	10	9	6

**Fuente:** Autor

De los factores seleccionados el de mayor ponderación es el factor tiempo, el cual indica que es mucho más conveniente la compra de una interfaz en el mercado, dado que se haría uso de menos tiempo, el cual se podría utilizar para la familiarización de la tarjeta adquirida y optimizar la repotenciación y modernización de la máquina NCM-2000.

Como segundo factor se tiene la fiabilidad, la cual resulta más conveniente en una interfaz comercial porque estas ya han sido probadas por diversos usuarios de pequeñas y medianas industrias con resultados muy favorables.

El tercer factor es el costo, el cual indica que es mucho más barato adquirir una interfaz comercial, dado que no se necesitan hacer pruebas de simulación, pruebas de fabricación, pruebas de funcionamiento y entre otros gastos que aumentarían el valor agregado al momento de fabricar una interfaz.

El cuarto y último factor no es de gran peso y no tiene mucha variación entre las dos opciones a comparar, dado que el rendimiento al fin del proyecto tiene que ser el mismo independientemente de cual sea la interfaz.

#### **4.2.1. ADQUISICIÓN DE LA INTERFAZ**

Una vez analizado las ventajas que representa adquirir una interfaz existente en el mercado industrial, se procederá a realizar una matriz de decisión (TABLA 4.2) mediante parámetros técnicos entre las tarjetas **3 axis usb interface card-UC326 (FIG 4.1)** y **CNC USB Motion Controller for Mach3 GX-USB (FIG 4.2)**.

Estas tarjetas actualmente son las más utilizadas dentro del campo de automatización de fresadoras, poseen un microcontrolador ATMEL AT91SAM7S64 y un CPLD ALTERA EPM240 para la comunicación y control de las variables que intervienen en el proceso.

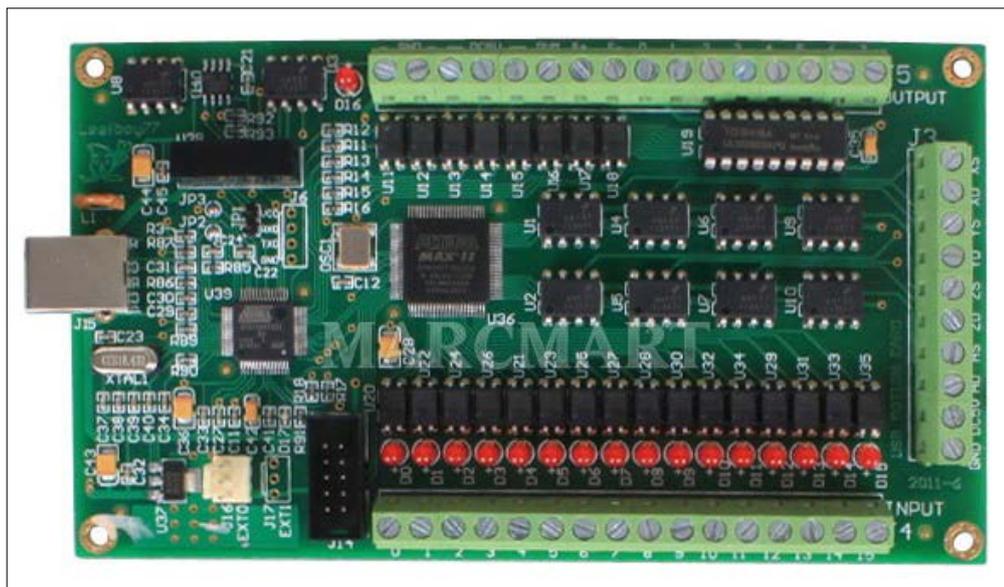


FIG 4. 1 3 axis usb interface card-uc326

**Fuente:** [http://www.ebay.com/itm/CNC-3-Axis-USB-MACH3-Breakout-Interface-Card-for-engraving-spindle-controller-/261225272892?pt=LH\\_DefaultDomain\\_0&hash=item3cd23d563c](http://www.ebay.com/itm/CNC-3-Axis-USB-MACH3-Breakout-Interface-Card-for-engraving-spindle-controller-/261225272892?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item3cd23d563c)

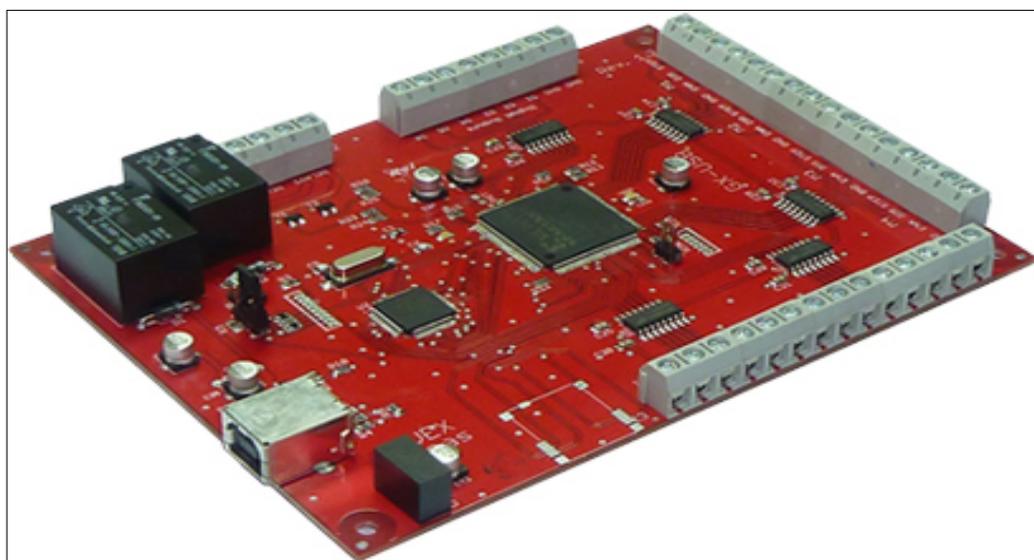


FIG 4. 2 CNC USB Motion Controller for Mach3 GX-USB

**Fuente:** [http://www.ebay.com/itm/CNC-3-Axis-USB-MACH3-Breakout-Interface-Card-for-engraving-spindle-controller-/261225272892?pt=LH\\_DefaultDomain\\_0&hash=item3cd23d563c](http://www.ebay.com/itm/CNC-3-Axis-USB-MACH3-Breakout-Interface-Card-for-engraving-spindle-controller-/261225272892?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item3cd23d563c)

Para la selección de la tarjeta principal se consideran los siguientes factores:

**Comunicación:** Tipo de comunicación entre la PC con el programa Mach 3 y la tarjeta de interfaz de control y monitoreo.

**Compatibilidad con Mach3:** Nivel de compatibilidad con las versiones actuales y anteriores de Mach3

**Compatibilidad con Windows:** Nivel de compatibilidad con las versiones actuales y anteriores de Windows.

**Ejes de Control:** Capacidad de cuantos ejes es capaz de controlar.

**Número de Entradas Digitales:** Número de entradas que el interfaz, adquiere y codifica de forma comprensible para la CPU.

**Número de Salidas Digitales:** Número de salidas que la interfaz controla de forma inversa a las entradas, es decir, decodifica las señales procedentes de la CPU, y las amplifica y controla los dispositivos.

**Frecuencia de Paso Máxima:** Número máximo de impulsos de control por segundo que la tarjeta puede enviar a los controladores de los motores PAP.

**Control de Husillo:** Control de velocidad del husillo.

**Compatibilidad con motores PAP:** Capacidad de controlar motores a pasos

**Costo:** Entiéndase como la cantidad, en que se puede llegar abaratar los costos por la compra de la tarjeta de interfaz, sin perjudicar el rendimiento del mismo.

TABLA 4. 2. Matriz de decisión 3 axis usb interface card-UC326 vs CNC Usb Motion Controller for Mach3 GX-USB

Parámetros Técnicos	F.P.	3 Axis Usb interface card-UC326	CNC Usb Motion Controller for Mach3 GX-USB
<b>Comunicación</b>	1	10 1 USB	10 1 USB
<b>Compatibilidad con MACH3</b>	2	10 2 Todas las versiones, incluyendo Mach3 R3.042.040	9 1,8 Compatible con R3.042.040 Mach3
<b>Compatibilidad con Windows</b>	1	10 1 Windows2000/XP/Vista/Windows7.	10 1 Windows XP/Vista/Windows 7
<b>Ejes de Control</b>	2	10 2 3 Ejes (X-Y-Z)	10 2 3 Ejes (X-Y-Z)
<b>Número de Entradas Digitales</b>	0,5	9 0,45 16	7 0,35 12
<b>Número de Salidas Digitales</b>	0,5	9 0,45 8	7 0,35 6
<b>Frecuencia de Paso Máximo</b>	1	10 1 200 khz	10 1 200 khz
<b>Control de husillo</b>	0,5	10 0,5 Para Motor DC	10 0,5 Para Motor DC
<b>Compatibilidad con motor PAP</b>	0,5	10 0,5 SI	10 0,5 SI
<b>Costo</b>	1	9 0,9 Bajo	5 0,5 Medio
<b>TOTAL</b>	10	9,8	9

**Fuente:** Autor

De los factores seleccionados el de mayor ponderación es el factor compatibilidad con Mach3 y ejes de control, los cuales indican que en el caso de las 2 tarjetas son compatibles y son capaces de controlar 3 ejes.

La ponderación final de las dos tarjetas son altas dado que sus prestaciones técnicas son parecidas, sin embargo la decisión final se basó en los siguientes factores:

- Factor de número de entradas: la tarjeta 3 axis usb interface card-UC326 ofrece mayor número de entradas, las cuales servirán para la implementación de finales de carrera y mandos de control.
- Factor de número de salidas digitales: de igual manera la tarjeta 3 axis usb interface card-UC326 ofrece mayor número de salidas, las cuales servirán para la implementación del control de refrigerante, control del husillo, cambio de herramienta si fuese el caso, etc.
- Factor costo: la prioridad es para la tarjeta 3 axis usb interface card-UC326 debido a su bajo costo

Una vez expuesto los resultados y analizado los parámetros técnicos se seleccionó **3 axis usb interface card-UC326**.

#### **4.2.2. CARACTERISTICAS TÉCNICAS TARJETA DE INTERFAZ CON USB DE 3 EJES PARA MACH3 UC326**

- Soporte Mach3 versiones de todos, incluyendo la última versión de Mach3 R3.042.040.
- Soporta todas las versiones de Windows, incluyendo la última versión de Windows 7.
- Puerto USB sin necesidad de instalar drivers, todas las versiones de Windows Plug and Play.
- Soporta 4 ejes X,Y,Z,A
- Soporte para cambio de herramientas automático, volante manual electrónico, límites por software.
- Velocidad 48M sin la intervención del PC.

- Salida de 200 KHz hacia el controlador del motor pasó a paso.
- Indicadores de estado, 16 entradas digitales
- 8 salidas digitales
- Control manual de velocidad de avance de los motores para los ejes
- Fuente de 5V con alimentación aislada

#### 4.2.2.1. SALIDAS DE CONTROL DE EJES

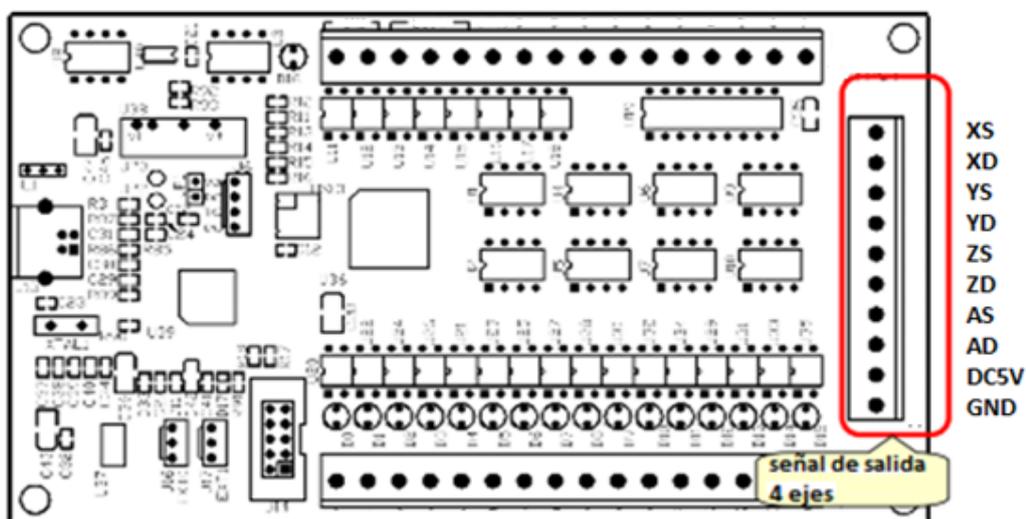


FIG 4. 3 Salidas de Control de Ejes

Fuente: Catálogo 3 axis usb interface card-UC326 Pág. 33

TABLA 4. 3 Pines de salidas de Control de Ejes de la Tarjeta UC326

J3			
PIN	Función	Características Eléctricas	Descripción
GND	Señal de Tierra	GND	Señal de Tierra común
DC5 V	Salida de 5V	Max: 120 mA	Salida Aislada de 5v
AD	Eje de Salida de dirección (Adir)	5V/13 mA	Control de Dirección del motor del Eje A
AS	Eje de Salida de posición (Astep)	5V/13 mA	Control de Posición del motor del Eje A
ZD	Eje de Salida de dirección (Zdir)	5V/13 mA	Control de Dirección del motor del Eje Z
ZS	Eje de Salida de posición (Zstep)	5V/13 mA	Control de Posición del motor del Eje Z
YD	Eje de Salida de dirección (Ydir)	5V/13 mA	Control de Dirección del motor del Eje Y
YS	Eje de Salida de posición (Ystep)	5V/13 mA	Control de Posición del motor del Eje Y
XD	Eje de Salida de dirección (Xdir)	5V/13 mA	Control de Dirección del motor del Eje X
XS	Eje de Salida de posición (Xstep)	5V/13 mA	Control de Posición del motor del Eje X

Fuente: Autor

## 4.2.2.2. ENTRADAS DIGITALES

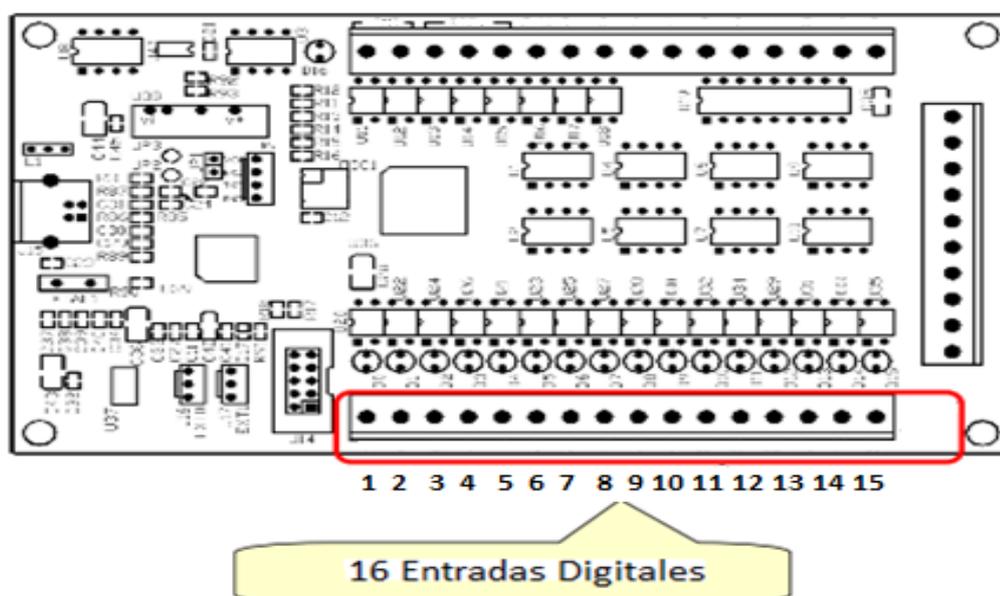


FIG 4. 4 Entradas Digitales Tarjeta UC326

Fuente: Catálogo 3 axis usb interface card-UC326 Pág. 31

16 entradas, con resistencias de 330 ohmios conectados al acoplador óptico de entrada

TABLA 4. 4 Pines de entradas Digitales de la Tarjeta UC326

<b>J4</b>			
<b>PIN</b>	<b>Función</b>	<b>Características Eléctricas</b>	<b>Descripción</b>
0			
1	Entrada General/ Entrada para Joystick	5v/7mA Canales de Entrada	Se puede utilizar como entrada de uso general, o como una entrada de Joystick
2	Entrada Universal		En MACH3 ir a Config=>Ports and Pins y configurar las entradas pa pulsadores,interruptores y finales de carrera
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

**Fuente:** Catálogo 3 axis usb interface card-UC326 Pág. 33

### 4.2.2.3. SALIDAS DIGITALES

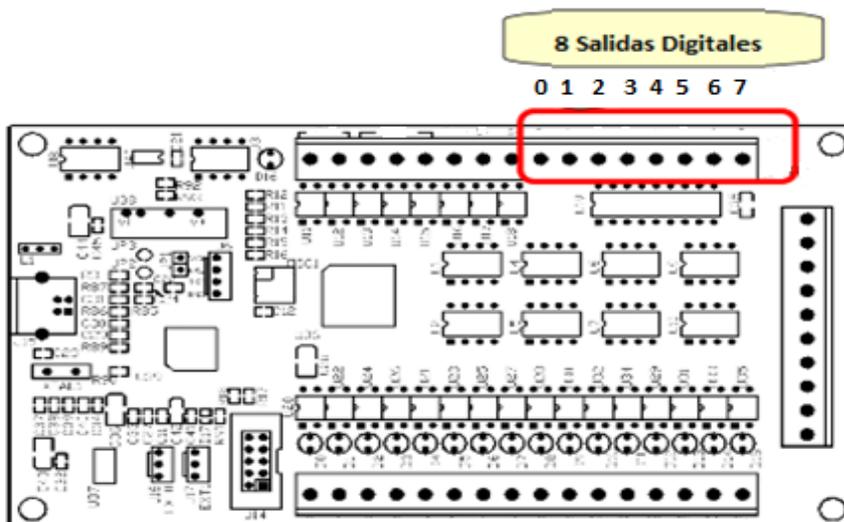


FIG 4. 5 Entradas Digitales Tarjeta UC326

Fuente: Catálogo 3 axis usb interface card-UC326 Pág. 32

TABLA 4. 5 Pines de salidas Digitales de la Tarjeta UC326

J5			
PIN	Función	Características Eléctricas	Descripción
GND	Señal de Tierra	GND	Señal de Tierra común
GND	Señal de Tierra	GND	Señal de Tierra común
DC5V	Salida de 5V	Max: 120 mA	Salida Aislada del módulo eléctrico
DC5V	Salida de 5V	Max: 120 mA	Salida Aislada del módulo eléctrico
DC5V	Salida de 5V	Max: 120 mA	Salida Aislada del módulo eléctrico
PWM	PWM Analógica	OC, 12V/13 mA	Control de velocidad
S+	Señal de entrada Velocidad de giro +	6 mA	LED (ánodo)
S-	Señal de entrada Velocidad de giro -	6 mA	LED (Cátodo)
0			
1			
2	8 salidas de propósito general (colector abierto)	CA, 24 V/500 mA	En MACH3 ir a Config=>Ports and Pins y configurar las salidas
3			
4			
5			
6			
7			

Fuente: Catálogo 3 axis usb interface card-UC326 Pág. 34

Nota.- CA, salida a colector abierto

Máxima tensión de control de 24v con baja salida de corriente de 500 mA.

#### 4.2.2.4. INSTALACIÓN Y CONEXIÓN

ANEXO C

### 4.3. SISTEMA DE CONTROL PARA LOS EJES X,Y, Z

Sistema a lazo abierto para motores PAP



FIG 4. 6 Sistema de Lazo Abierto

**Fuente:** Autor

Para la adquisición de los drivers se toma en cuenta que estos sean capaces de controlar la dirección, la posición y variar la velocidad del motor.

#### 4.3.1. ADQUISICIÓN DE LOS DRIVERS

Para la adquisición de los drivers se tomaron en cuenta las señales de salida de la tarjeta UC326 y la compatibilidad con los motores PAP, por lo que se adquirió el driver **LONGS MOTOR STEPPER DRIVER DM542A** (FIG 4,7), el cual es un tipo de controlador de dos fases, la tensión de accionamiento es de 18VDC a 50VDC y a no menos de 4.2 A de corriente de fase.



FIG 4. 7 Controlador Motores PAP LONGS MOTOR DM542A

**Fuente:** <http://www.ebay.com/itm/2-4-phase-Nema23-Stepper-motor-driver-128micsteps-4-2A-DM542A-Longs-Motor-/271115223142?hash=item3f1fba0066>

El circuito que adopta es similar al circuito de un servo control que permite que el motor funcione sin problemas, casi sin ruido y sin vibración, tiene alta precisión de posicionamiento y es ampliamente utilizado en dispositivos de tamaño medio y grande de control numérico tales como máquina de curvar, máquinas de bordar por ordenador, máquinas de embalaje y entre otras.

### 4.3.2. ESPECIFICACIONES TECNICAS DRIVER DM542A

TABLA 4. 6 Especificaciones Técnicas Driver DM542A

Parámetro	Capacidad
Voltaje de alimentación	18-50 VDC
Corriente de entrada	< 4A
Temperatura	-40 ~85°C
Humedad	No condensación
Control	Posición y Dirección
Ajustes	4 canales de ajuste del Pico de corriente desde 1 A hasta 4.2 A
	4 canales de resolución de paso desde 400 puls/rev hasta 25600 puls/rev

**Fuente:** [http://www.longs-motor.com/productinfo/detail\\_12\\_25\\_114.html](http://www.longs-motor.com/productinfo/detail_12_25_114.html)

Para conectar los drivers junto con la tarjeta de interfaz UC326 lo hacemos tomando en cuenta las siguientes indicaciones:

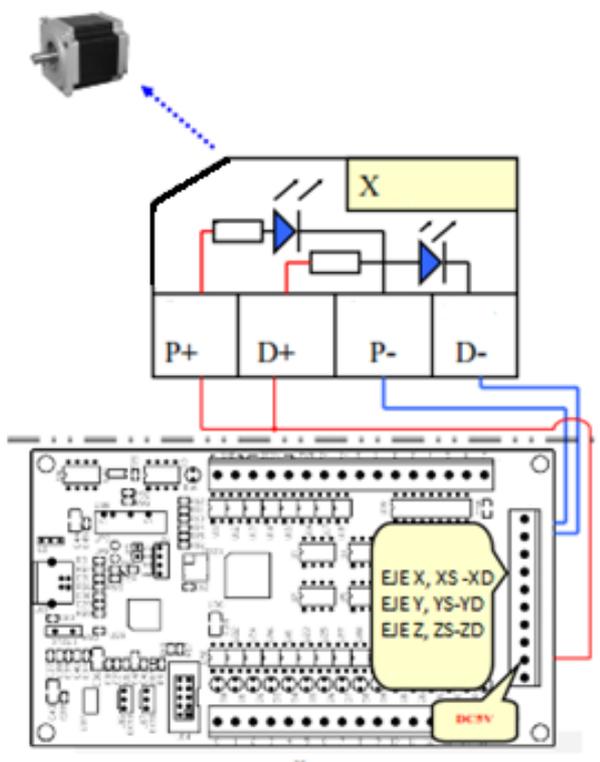


FIG 4. 8 Conexión Tarjeta UC326 Y Driver DM542A

**Fuente:** Catálogo 3 axis usb interface card-UC326 Pág. 35

Existen 2 tipos de conexiones para el puerto de entradas del driver y son conexión positiva FIG.4.9 y negativa FIG 4.10.

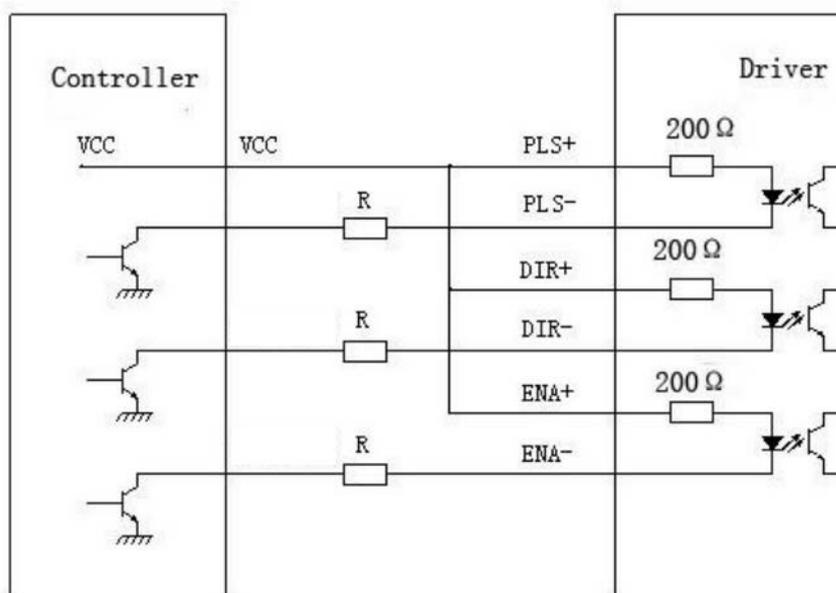


FIG 4. 9 Puerto de Entrada del Drive DM542A (conexión positiva)

**Fuente:** [http://www.longs-motor.com/productinfo/detail\\_12\\_80\\_131.html](http://www.longs-motor.com/productinfo/detail_12_80_131.html)

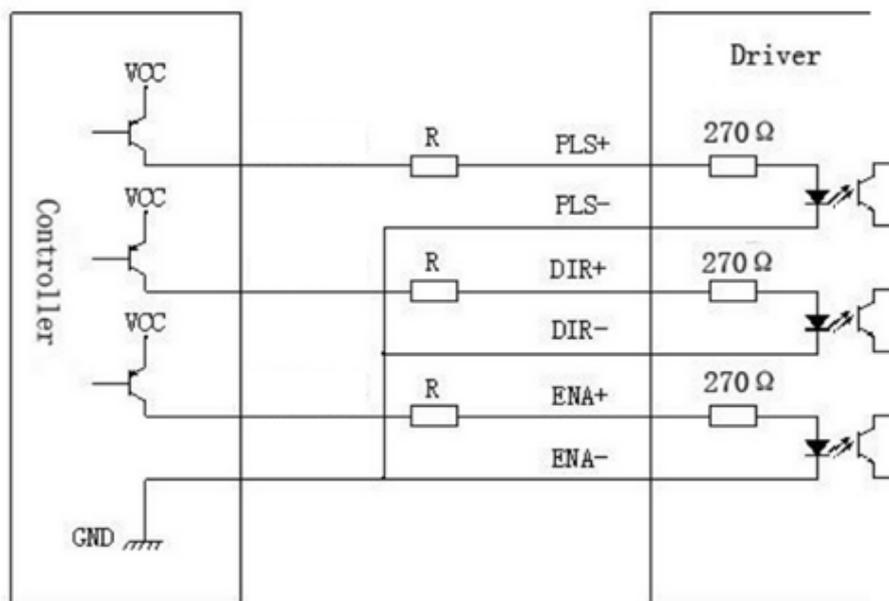


FIG 4. 10 Puerto de Entrada del Drive DM542A (conexión negativa)

**Fuente:** [http://www.longs-motor.com/productinfo/detail\\_12\\_80\\_131.html](http://www.longs-motor.com/productinfo/detail_12_80_131.html)

Para las 2 conexiones el fabricante LONGS MOTOR designa el valor de las resistencias de acuerdo al valor de voltaje de salida del controlador:

Cuando

- VCC=5V, R=0
- VCC=12V, R=1K, > 1/8W
- VCC=24V, R=2K, > 1/8W

En nuestro caso no será necesario utilizar resistencias dado que la salida de nuestro controlador es de 5v.

#### **4.3.3. INSTALACIÓN Y CONEXIÓN**

ANEXO C

#### 4.4. PLACA DE ACONDICIONAMIENTO DE SALIDAS DIGITALES DE LA TARJETA PRINCIPAL UC326

Se realizó el diseño y construcción de una placa (FIG 4.11) que sea capaz de acondicionar las salidas digitales a colector abierto provenientes de la tarjeta UC326.

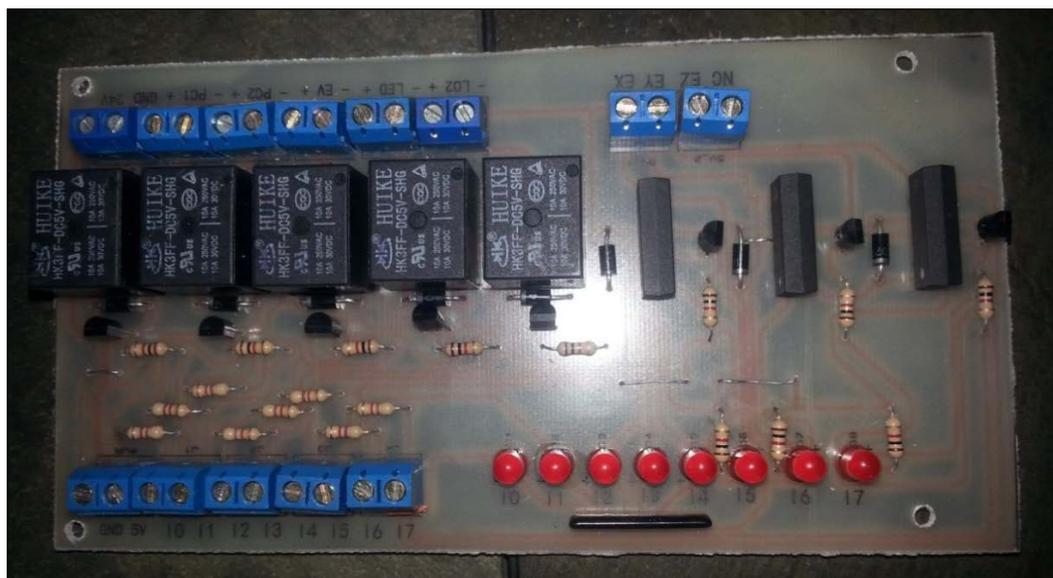


FIG 4. 11 Placa de Acondicionamiento de Señales

Fuente: Autor

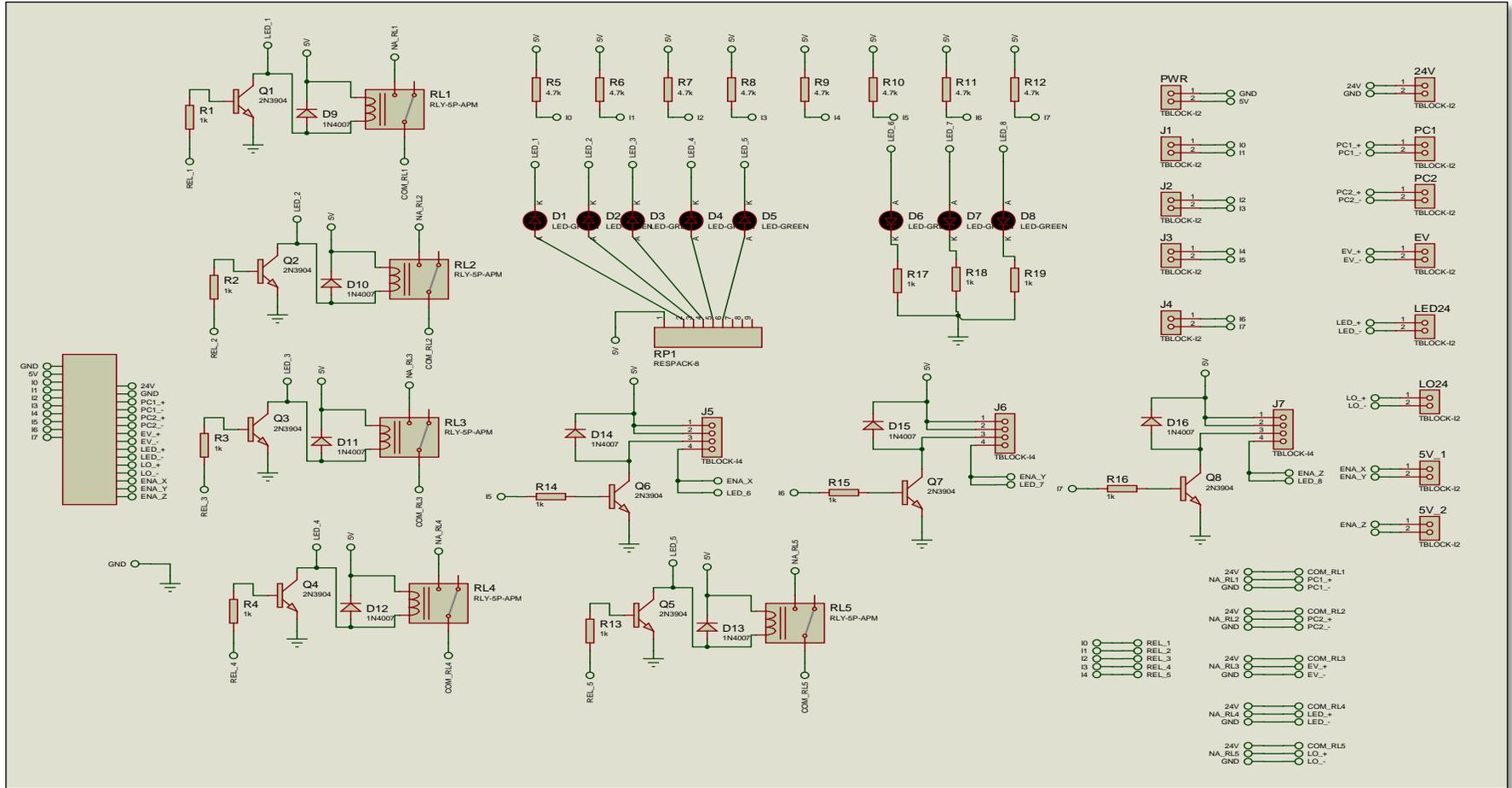


FIG 4. 12 Simulación de la Placa de Acondicionamiento

Fuente: Autor

#### 4.4.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Acondicionamiento de la señal de control de cambio de giro del motor trifásico mediante 2 relés de 24VDC – 10A.
  - Relé de activación/desactivación del contactor C1 (24VDC-10A) para generar el movimiento del motor trifásico en sentido horario
  - Relé de activación/desactivación del contactor C2(24VDC-10A) para generar el movimiento del motor trifásico en sentido anti horario
- Acondicionamiento de señal de control para activación y desactivación de electroválvulas de 24VDC, una para refrigerante y otra para el ajuste de la entenalla (FIG 4.13)

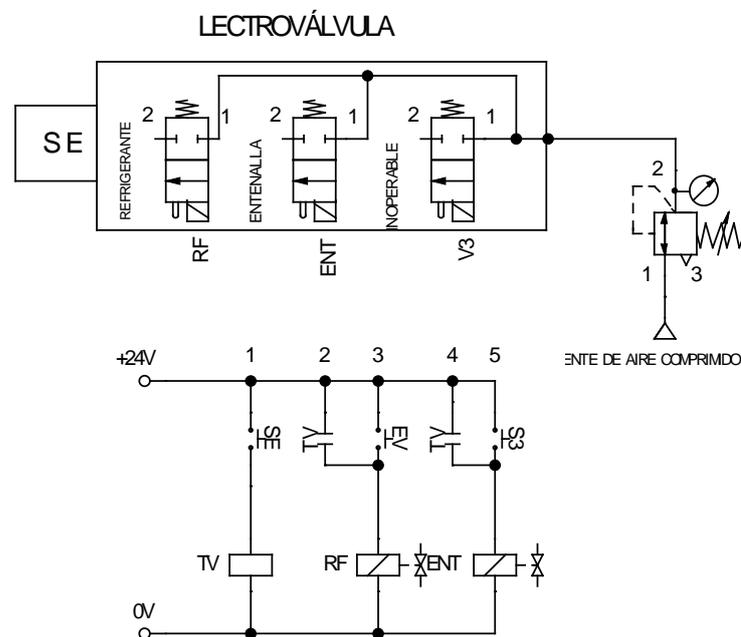
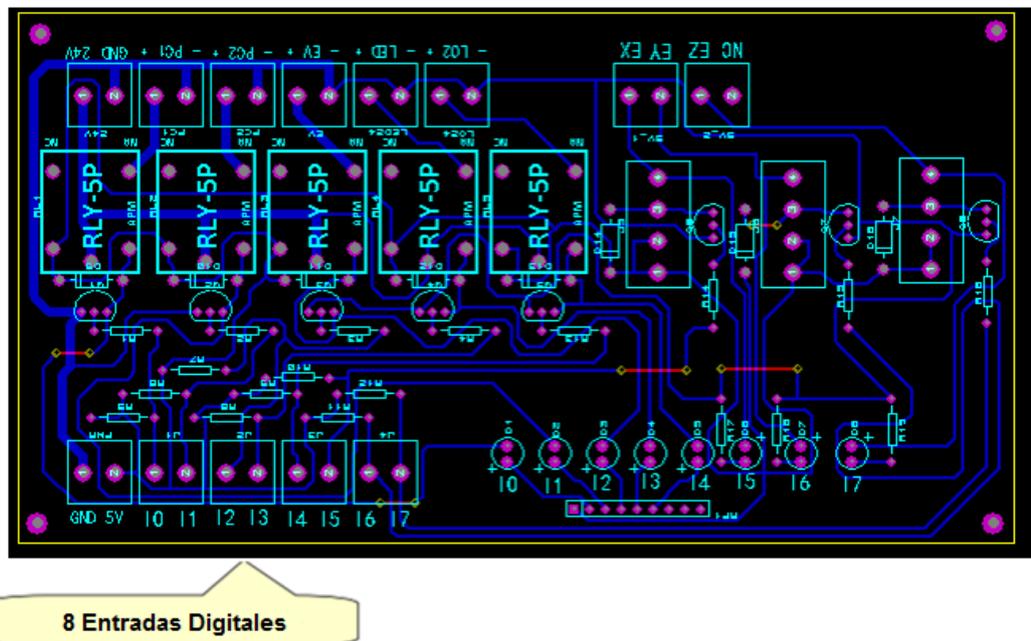


FIG 4. 13 Simulación de Alimentación de aire comprimido para refrigerante y ajuste de Entenalla

Fuente: Autor

- Acondicionamiento de señal para encendido y apagado de 2 focos de 24VDC, el uno como indicador de error y el otro como indicador que la CNC esta maquinando.
- Acondicionamiento de señal para activación y desactivación de los drivers de los motores a PAP que controlan los 3 ejes X,Y,Z (5V)

#### 4.4.1.1. ENTRADAS



8 Entradas Digitales

FIG 4. 14 Entradas Digitales Placa de Acondicionamiento de salidas digitales de la tarjeta UC326

**Fuente:** Catálogo 3 axis usb interface card-UC326 Pág. 32

TABLA 4. 7 Pines de entrada de Placa de Acondicionamiento de salidas digitales de la tarjeta UC326

PIN	Función	Características Eléctricas	Descripción
GND	Señal de Tierra	GND	Señal de Tierra común
DC5V	Alimentación de 5V	120 mA	Entrada de Alimentación de 5V
10	Relé M03	Entrada Colector Abierto	Activación Relé M03
11	Relé M04	Entrada Colector Abierto	Activación Relé M04
12	Relé Electroválvula	Entrada Colector Abierto	Activación Relé de Electroválvula
13	Foco Error	Entrada Colector Abierto	Activación Relé Foco de Error
14	Foco On Line	Entrada Colector Abierto	Activación Relé Foco de On line
15	Acondicionamiento Señal Digital	Entrada Colector Abierto	Señal de Salida de la tarjeta principal
16	Acondicionamiento Señal Digital	Entrada Colector Abierto	Señal de Salida de la tarjeta principal
17	Acondicionamiento Señal Digital	Entrada Colector Abierto	Señal de Salida de la tarjeta principal

Fuente: Autor

4.4.1.2. SALIDAS

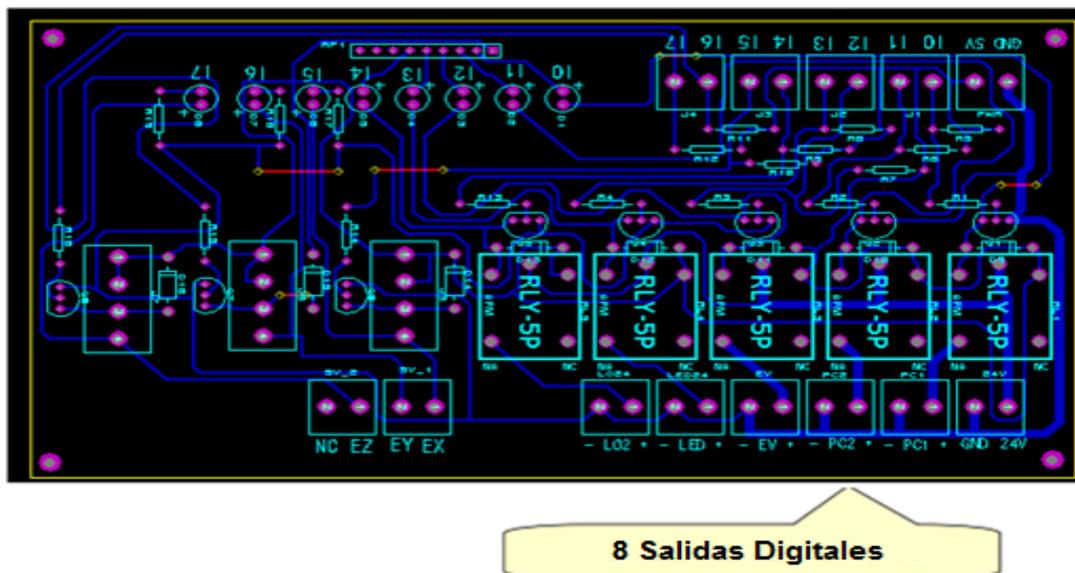


FIG 4. 15 Salidas Digitales Placa de Acondicionamiento de salidas digitales de la tarjeta UC326

Fuente: Autor

TABLA 4. 8 Pines de salidas de la placa de acondicionamiento de salidas digitales de la Tarjeta UC326

<b>PIN</b>	<b>Función</b>	<b>Características Eléctricas</b>	<b>Descripción</b>
GND	Señal de Tierra	GND	Señal de Tierra común
DC24V	Alimentación 24v	10A	Entrada de Alimentación de 24V
PC1	Contactador C1	24V doble bornera: +/-	Mov. Sentido horario Motor Husillo
PC2	Contactador C2	24V doble bornera: +/-	Mov. Sentido anti horario Motor Husillo
EV	Alimentación 24v	24V doble bornera: +/-	Activación electroválvula para refrigerante
LE24	Indicador de Error	24V doble bornera: +/-	Alimentación Led de Error
LO24	Indicador On line	24V doble bornera: +/-	Alimentación Led de On Line
ENA X	Activación enable driver X	5V	Activación de enable del driver eje X
ENA Y	Activación enable driver Y	5V	Activación de enable del driver eje Y
ENA Z	Activación enable driver Z	5V	Activación de enable del driver eje Z

**Fuente:** Autor

#### 4.4.1.3. INSTALACIÓN Y CONEXIÓN

Conexiones de la placa de acondicionamiento de salidas de la tarjeta UC326 conjuntamente con la interfaz se encuentra adjuntada en el ANEXO C

Diagrama de control del motor trifásico ANEXO E y diagrama de fuerza del motor trifásico ANEXO F

#### 4.5. SENSORES FINALES DE CARRERA PARA LOS EJES

Para los sensores como finales de carrera se realizó una matriz de decisión entre las prestaciones que brindaba un final de carrera de tipo mecánico y un sensor inductivo tomando en cuenta que son lo más utilizados para este tipo de aplicación.

TABLA 4. 9 Matriz de decisión Finales de Carrera Mecánicos y Sensores Inductivos

Parámetros Técnicos	F.P.	Final de Carrera Mecánico	Sensor Inductivo
<b>Costo</b>	4	10 4	Bajo 5 Alto 2
<b>Tamaño</b>	2	10 2	Pequeño 7 Mediano 1,4
<b>Sensibilidad</b>	2	6 1,2	Baja 10 Alta 2
<b>Complejidad en la Instalación</b>	1	10 1	Fácil 8 Mediana 0,8
<b>Vida útil</b>	1	5 0,5	Baja 8 Media 0,8
<b>TOTAL</b>	10	8,7	7

**Fuente:** Autor

Una vez realizado la matriz de decisión se seleccionó finales de carrera de tipo mecánico tomando en cuenta sus ventajas de bajo costo, facilidad de operación, alta repetitividad, capacidad de conmutar cargas eléctricas más elevadas que otras tecnologías de detección (5 A a 24 V DC ó 10 A a 120 V AC en versiones típicas, comparables con menos de 1 A en interruptores de proximidad o fotoeléctricos), inmunidad a la interferencia de ruido eléctrico, ausencia de corriente de fuga, pérdidas de voltaje mínimas, operación sencilla basada en las características de N. A. y/o N. C.

Y a pesar de sus desventajas como su vida útil debido al desgaste mecánico de las partes móviles y la sensibilidad, el factor que mayor peso y por el cual se decidió utilizar estos finales de carrera son el factor económico y tamaño debido a la falta de espacio en la máquina para instalarlos.

#### 4.5.1. MONTAJE DE FINALES DE CARRERA

La elección de la posición de montaje de los interruptores se determinó tomando factores como: mantenerlos alejados de la viruta y el polvo, y tener que usar un tendido de cables flexible. De igual manera la distancia de detección es totalmente configurable debido a que se acoplo topes mecánicos variables como muestra en la FIG 4.16.

Para mayor flexibilidad en la cambio de los interruptores en el caso de fallas técnicas, se acoplo conectores en los terminales.

Los interruptores de límite de carrera son conectados a la lógica externa (al controlador electrónico) y esta lógica desconecta el controlador cuando se alcanza el límite. Los interruptores de referencia se conectan a las entradas a Mach3.



FIG 4. 16 Finales de Carrera Montados en la Máquina

**Fuente:** Autor

## **4.5.2. INSTALACIÓN Y CONEXIÓN**

ANEXO C

## **4.6. FUENTE DE PODER**

Parámetros de selección de la fuente de poder para los motores a pasos

### **4.6.1. VOLTAJE**

Los accionamientos de conmutación trabajan prendiendo y apagando el voltaje a los terminales del motor mientras supervisan la corriente para alcanzar un nivel exacto de corriente de fase. Para hacer esto eficiente y silenciosamente, seleccionaremos una fuente de poder con un voltaje de por lo menos unas cinco veces el voltaje del motor. Depende de cuán rápido vamos hacer funcionar el motor. El único límite superior es el voltaje nominal máximo del accionamiento 50V DC.

Si se elige una fuente de poder no regulada, no debemos exceder 30 V DC. Esto es porque las fuentes no reguladas son definidas por la corriente de carga completa. En cargas pequeñas, como cuando el motor no se está moviendo, el voltaje real puede ser hasta 1,4 veces el voltaje en la etiqueta de la fuente de poder.

### **4.6.2. CORRIENTE**

La corriente máxima de la fuente que se necesitará dependerá de las condiciones del tipo del voltaje, de la velocidad y de la carga del motor.

Recomendaciones para el procedimiento de selección:

1. Seleccionar una fuente de poder con por lo menos dos veces la corriente nominal de la fase del motor.

2. Si se selecciona una fuente de poder regulada nos podemos encontrar un problema con la corriente de protección (foldback). Cuando se energiza por primera vez el accionamiento, aparecerá la corriente de inrush de ambas fases del motor por algunos milisegundos mientras que se está estableciendo el campo del estator. Después, los amplificadores comienzan a conmutar y se drenara mucho menos corriente de la fuente de poder. Si la fuente de poder tiene corriente inrush, inicialmente puede bajar la tensión. El voltaje vuelve a su normalidad, solamente después del primer paso del motor y queda bien después de eso. En ese sentido, las fuentes de poder no reguladas son mejores, menos costosas.

Entonces según lo explicado, se seleccionó una fuente de poder no regulable de 24v DC (FIG.4.16) con una corriente de 10 A debido a que la corriente nominal de los motores adquiridos es de 4,2 A.



FIG 4. 17 Fuente de Poder 24v DC. 10 A

**Fuente:** [http://www.ebay.com/itm/New-AC-to-DC-24V-10A-240W-Regulated-Switching-Power-Converter-Supply-Silver-/170855720740?pt=LH\\_DefaultDomain\\_0&hash=item27c7cb6724](http://www.ebay.com/itm/New-AC-to-DC-24V-10A-240W-Regulated-Switching-Power-Converter-Supply-Silver-/170855720740?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item27c7cb6724)

Con lo que respecta a la fuente para la etapa de control, alimentación de sensores finales de carrera, drivers utilizaremos la misma fuente de poder de 5V de la tarjeta principal.

## 4.7. ANALISIS DE RESULTADOS

La CNC NCM-2000 después de la implementación de la interfaz de control y monitoreo fue capaz de maquinando materiales blandos como acrílico, plásticos y materiales blandos en general como se muestra en la FIG 4.18



FIG 4. 18 Máquina NCM-2000 maquinando

**Fuente:** Autor

### 4.7.1. SISTEMA MECÁNICO

Finalizando la implementación del sistema mecánico se realizaron las pruebas de funcionamiento de los carros en las coordenadas X,Y,Z ajustando las respectivas guías, calibrando los movimientos de los mismos a través de los motores.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Reparación y verificación del estado de las partes constitutivas mecánicas.
- Movimientos precisos
- Uniformidad en los movimientos
- Movimientos libre de ruido y vibraciones

#### 4.7.2. SISTEMA ELECTRÓNICO Y DE CONTROL

Para ver los resultados del fresado se realizó varias pruebas de funcionamiento entre ellas piezas de figuras geométricas como círculos, cuadrados (FIG 4.19).

Y para la comprobación de las especificaciones técnicas planteadas previamente con respecto a la maquinación y en especial en la parte de control, se realizó una esfera y una leva de acuerdo al diseño previo realizado y simulado.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Compatibilidad y excelente comunicación con el programa Mach3
- Óptimo funcionamiento en el proceso de fresado, bajo condiciones establecidas por el operador.
- Calibración y ajustes en la precisión.
- Precisión de 0,01 mm en el posicionamiento.
- Repetitividad en el proceso de fresado.
- Control de parámetros mediante Interfaz de control y monitoreo.
- Sistema eficaz en sus funciones y estéticamente presentable.



FIG 4. 19 Resultados Obtenidos con la Máquina NCM-2000

**Fuente:** Autor

## **CAPÍTULO 5: MANUALES DE USUARIO, OPERACIÓN MANTENIMIENTO Y ANALISIS ECONÓMICO**

Dado la falta de información sobre la máquina NCM-2000 en este capítulo se realizara los respectivos manuales que permitirán al operario inicializar y manejar el sistema.

De igual forma es importante realizar un análisis económico para determinar los costos directos e indirectos hechos y de esta manera poder conocer que tan factible podría ser repotenciar y modernizar otras máquinas con las mismas características dentro del campus de la ESPE.

### **5.1. MANUAL DE USUARIO PARA DESMONTAJE MÁQUINA NCM – 2000**

#### **5.1.1. HERRAMIENTAS PARA DESMONTAJE**



FIG 5. 1 Juego de llaves hexagonales.

**Fuente:** Autor



FIG 5. 2 Juego de rachas.

**Fuente:** Autor



FIG 5. 3 Llave de Pico.

**Fuente:** Autor



FIG 5. 4 Martillo (caucho).

**Fuente:** Autor



FIG 5. 5 Destornilladores.

**Fuente:** Autor

## 5.1.2. DESCRIPCION DE LOS PROCESOS

### 5.1.2.1. DESCONEJIÓN ELÉCTRICA.

Retirar la energía de la máquina, (conexión 220V motor trifásico y 24v fuente dc para la etapa de control).

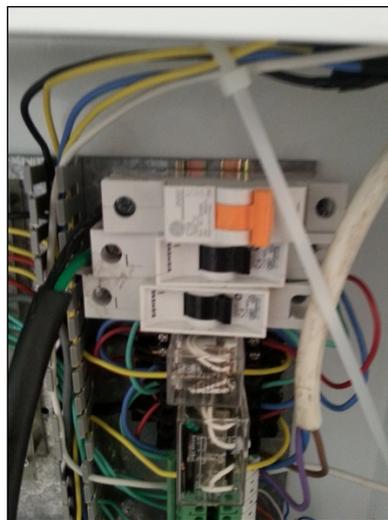


FIG 5. 6 Conexión 220V motor trifásico

**Fuente:** Autor

Una vez habiendo retirado la energía existen 3 cables importantes que van hacia los motores a pasos X Y y Z, los mismos están etiquetados para poder conectarlos nuevamente como muestra la FIG 5.7.

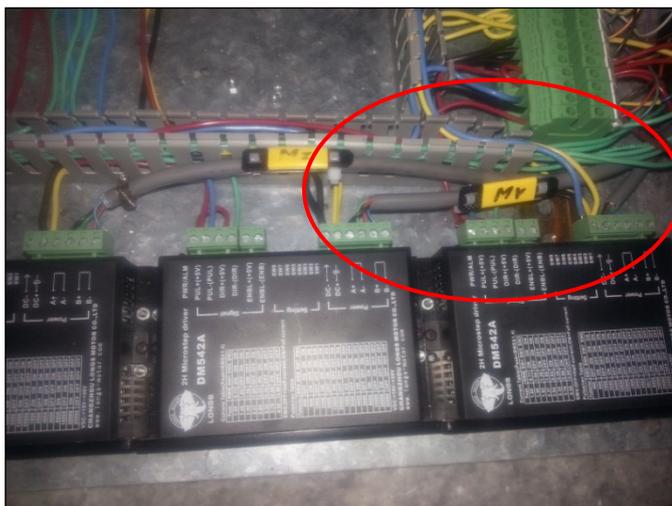


FIG 5. 7 Conexión Motores PAP

**Fuente:** Autor

Por último disponemos de una electroválvula simple que lleva el flujo de aire hacia el proceso. La manguera amarilla es la alimentación, la manguera azul es la que va a la bancada como se observa en la FIG 5.8.



FIG 5. 8 Electroválvula

**Fuente:** Autor

### 5.1.2.2. DESMONTAJE DE LA CARCASA

Una vez desconectados todos los cables de alimentación, se procede a desmontar la carcasa de la CNC.

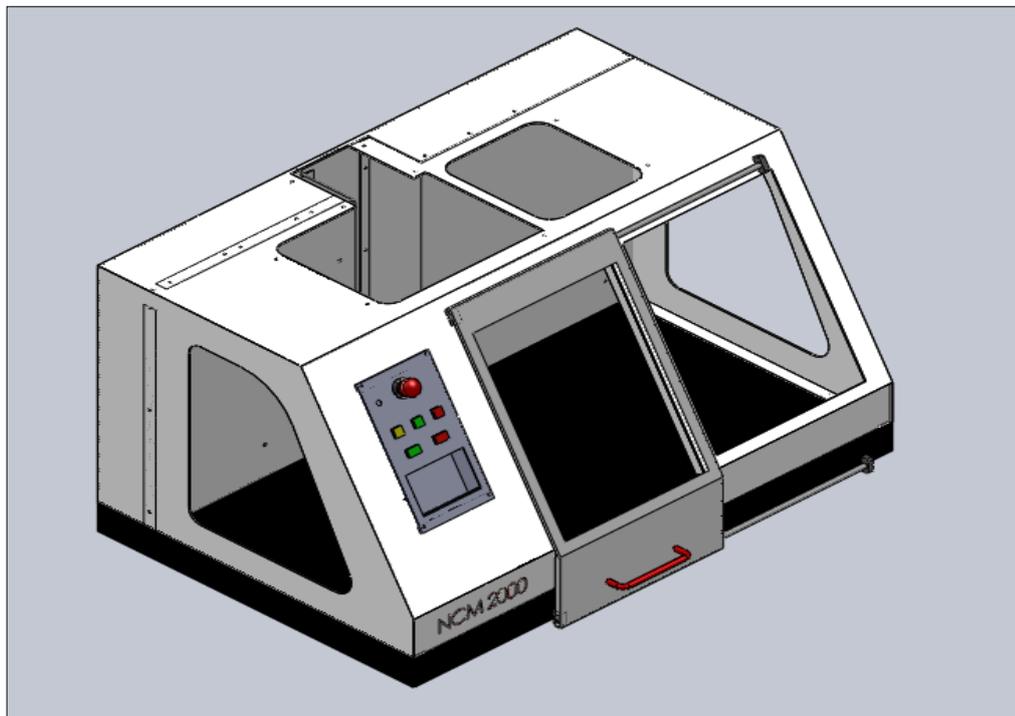


FIG 5. 9 Carcasa Máquina NCM-2000

**Fuente:** Autor

Primero se retira la puerta, para esto se desmontan los ejes por donde recorre la misma. Es necesario desarmar los soportes de los lados y así podremos retirar la puerta. Posteriormente se retira la caja del panel de control, simplemente retirando los tornillos y quedara de la siguiente manera FIG 5.10:

Nota: Tener mucho cuidado de no perder las tuercas y los tornillos de la misma.

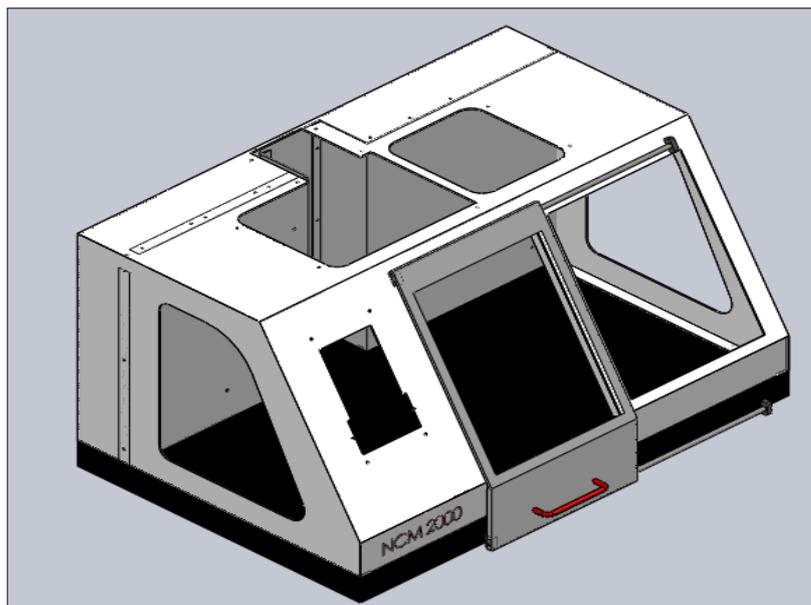


FIG 5. 10 Carcasa CNC sin Panel de control

**Fuente:** Autor

A continuación retiramos las tapas posteriores simplemente destornillando y separamos la carcasa blanca protectora de la base negra.

Nota: Tener cuidado a la hora de destornillar ya que algunos de los tornillos pueden estar aislados,, para esto es necesario utilizar penetrante o herramientas especializadas. No forzar a los tornillos ya que se pueden romper o se pueden dañar las herramientas.

### **5.1.2.3. DESMONTAJE DE LOS MOTORES**

Tenemos 3 motores a pasos que dan el movimiento a los ejes y un motor trifásico que hace girar el husillo. Los motores se presentan de la siguiente manera FIG. 5.11:

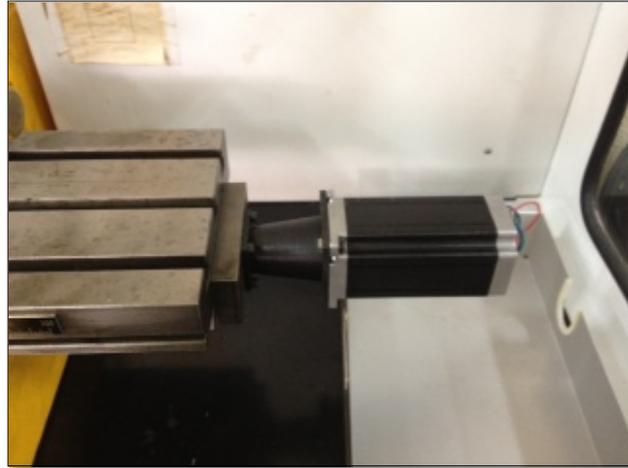


FIG 5. 11 Motores PAP Eje X

**Fuente:** Autor

Los mismos tienen su soporte del eje con la meza principal y carro transversal y su respectivo acople. Simplemente se retiran los tornillos y podemos retirar el motor completo con su cable que ya fue desconectado en el paso anterior.

El mismo paso se sigue para los 3 motores teniendo cuidado de no perder el “matrimonio” que es una pequeña pieza que está situada en el eje del motor que se conecta al tornillo sin fin y que va a aparecer cuando se separe el motor de la bancada.

El motor del husillo se lo desmonta retirando los tornillos que unen su base (en amarillo), con el eje Z de la bancada.



FIG 5. 12 Husillo Desmontado

**Fuente:** Autor

#### **5.1.2.4. DESMONTAJE DE LA FRESADORA**

Al haber retirado ya los motores tenemos simplemente la bancada. Esta consta de la base, la mesa, el carro transversal y la columna del eje Z que se puede observar en los planos.

En el eje Z tenemos la mesa la cual está unido al motor del husillo y es el que nos permite realizar los movimientos en Z, lo retiramos para extraer la columna que está unida a la base.

Cuando queda la bancada con la mesa y el carro transversal, el siguiente paso es quitar el carro que nos brinda el movimiento en X retirando los siguientes tornillos (FIG 5.13) para soltarlo:



FIG 5. 13 Tornillos que sujetan el carro.

**Fuente:** Autor

Nota.- Al momento de retirar la mezas de cualquiera de los ejes nos vamos a topar con el tornillo sin fin.

El tornillo sin fin (FIG. 5.14) no debe ser desatornillado hasta sacarlo porque tiene rodamientos de bolas. Se tiene que desmontar con la base que sostiene los rodamientos.



FIG 5. 14 Tornillo de bolas Eje X

**Fuente:** Autor

Una vez con el carro transversal afuera tenemos una sola pieza grande de la mesa que está empernada a la base (FIG. 5.15). Podemos retirar los pernos y sacarla completamente es decir mesa con columna.



FIG 5. 15 Pernos de Base Principal

**Fuente:** Autor

Son 4 pernos en total para retirar la mesa.

En este punto le CNC ya está casi desmontada completamente.

Tomar en cuenta que todas las mesas de los ejes vienen con una guía para poder fijar el mismo y que puedan moverse con el tornillo sin fin. La guía se verá de la siguiente manera y en la respectiva posición.



FIG 5. 16 Guía Carro Transversal

**Fuente:** Autor

El desmontaje de la máquina no es complicado solo hay que desarmar los tornillos que sostienen las partes tomando en cuenta las recomendaciones realizadas y etiquetando los tornillos retirados para poder montar luego la fresa

## **5.2. MANUAL DE OPERACIÓN PARA MÁQUINA NCM-2000**

El manual de operación como tal es el que permite al operario inicializar y manejar el sistema, por lo que es importante definir dicho manual. Es primordial que el sistema sea inicializado de acuerdo a la siguiente guía con el fin de garantizar el correcto funcionamiento y evitar daños en el equipo.

### 5.2.1. INSTALACIÓN DEL PROGRAMA MACH3

El instalador de Mach3 se adjuntara en un CD el cual se entregara al laboratorio de CAD/CAM. Ejecutamos el instalador y se deselecciona la opción de puerto paralelo (no se utilizara) y con eso ya se podrá utilizar el programa, como se muestra en la Fig. 5.17

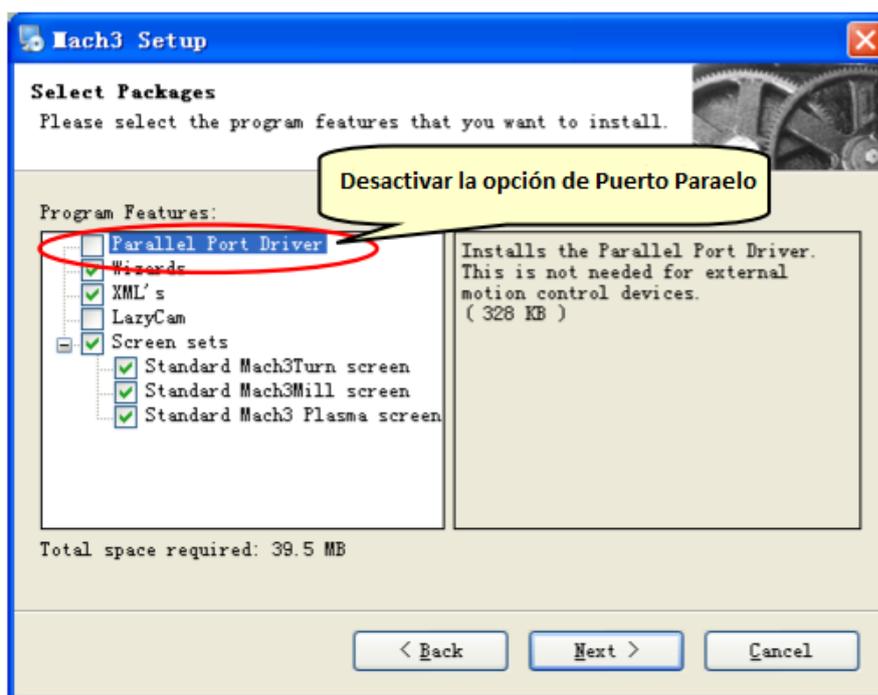


FIG 5. 17 Configuración Mach3

Fuente: Autor

### 5.2.2. INSTALACIÓN DE LA TARJETA PRINCIPAL

Esta tarjeta USB, no necesita ningún instalador USB. Windows2000/Xp/Vista/Windows7 porque pueden identificarla directamente.

Para reconocer la tarjeta de interfaz en el programa Mach3, descomprimir el archivo usbmove.zip, el cual se encuentra en el CD adjunto, después se procede a remplazar el archivo en la carpeta C:\Mach3\Plugins como se muestra en la siguiente FIG. 5.18:

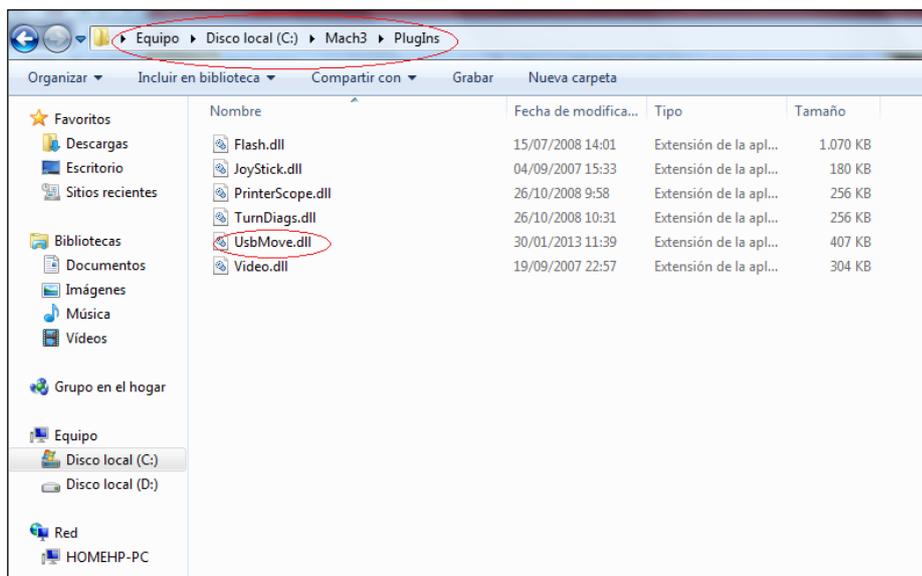


FIG 5. 18 Instalación Archivo usbmove.zip

**Fuente:** Autor

Inicie el programa Mach3, una ventana como el de la FIG. 5.19. Aparecerá "Motion Control PlugIn Hardware detectado" en la cual se seleccione la opción "Mach3-USB-Motion-Card", también puede marcar "No me pregunten esto otra vez".



FIG 5. 19 Ventana De Hardware detectados

**Fuente:** Autor

### 5.2.3. CONFIGURACIÓN DE MACH3

Definiendo unidades (FIG 5.20) : ir a la barra de menú config>setup units, aquí se selecciona el sistema de unidades en el cual se desea trabajar, pudiendo ser este el sistema métrico o el sistema inglés.



FIG 5. 20 Configuración de Unidades

**Fuente:** Autor

En la pantalla principal de Mach3 nos dirigimos a Config => Ports and Pins=> Port Set Up and Axis Selection, donde se desplegara una pantalla como la FIG 5.21 y en ella configuramos la frecuencia de trabajo.

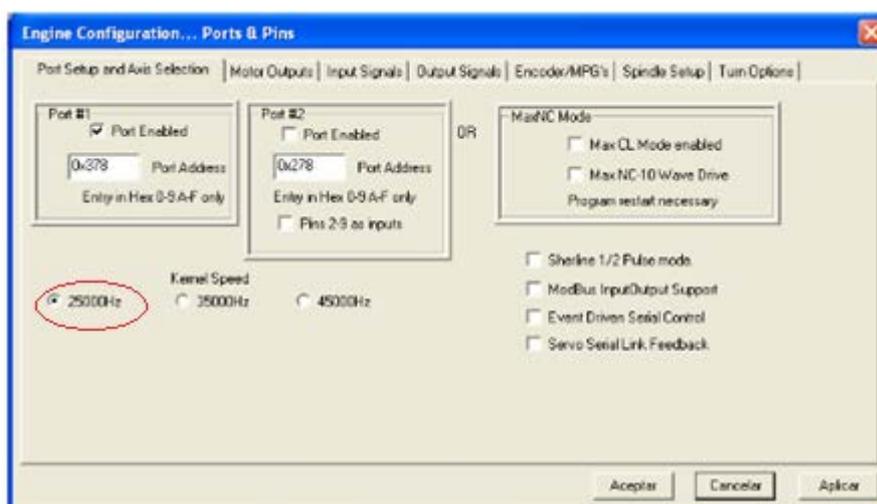


FIG 5. 21 Configuración de Puertos y Pines

**Fuente:** Autor

Mach3 trabaja con frecuencias de 25,000 Hz (pulsos por segundo), 35,000 Hz y 45,000 Hz esto dependerá de la velocidad del procesador que se utilice, con una frecuencia de trabajo de 25,000 se trabaja cuando se tiene un procesador inferior a 1GHz, para 35,000 Hz con un procesador de 1 a 2 GHz, y para 45,000 Hz se trabaja con un procesador superior a 2 GHz.

Nota: siempre de debe dar un clic en el botón aplicar, cuando se realice alguna modificación en la configuración.

En la misma pantalla principal dirigirse a Config => Ports and Pins=> Motor Outputs, donde configuraremos las salidas de los motores de la siguiente manera.



FIG 5. 22 Configuración de Salidas para Motores para Ejes X,Y,Z

**Fuente:** Autor

Para el paso y dirección seleccionar activo por bajo (cero lógico) debido al tipo de driver que se está utilizando para los motores PAP. En la misma ventana de Port and Pins, seleccionamos la opción de Input Signals, para configurar todas las entradas digitales como los finales de carrera, paro de emergencia y entre otras dando un visto para activarlas.

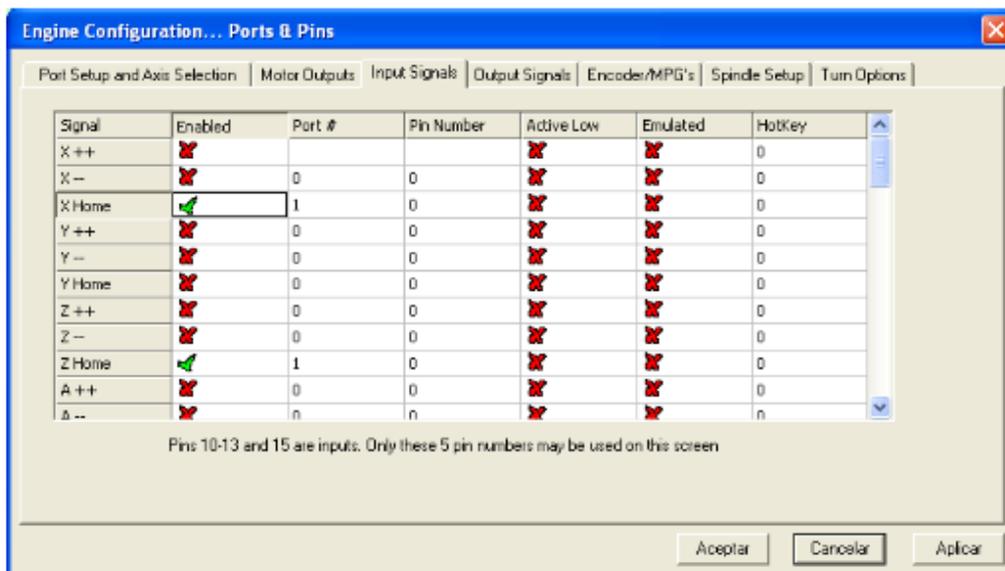


FIG 5. 23 Configuración de Entradas Digitales

**Fuente:** Autor

Así como se definió las señales de entrada, también se debe definir las señales de salida y seleccionar activar por bajo.

Nota: Hay que recalcar que las opciones de puerto y pines es estrictamente para el uso de puerto paralelo.

Para la afinación de motores (Tuning motors) ingresar los parámetros de velocidad, aceleración y el número de pasos por unidad en Mach3 para los 3 ejes, estos datos se pueden calcular de acuerdo a momentos de inercia de los tornillos, velocidades admisibles, torque disponible. En el caso del número de pasos por unidad en Mach3, se calcula en función de la unidad mecánica, de las propiedades del motor a pasos de la siguiente manera:

$$\text{Pasos x uni Mach3} = \text{Pasos x rev en Mach3} \cdot \text{Rev de motor por uni EC.} \quad (5.1)$$

$$\text{Pasos por Rev. Mach3} = \text{Pasos por Rev. del Motor} \quad \text{EC.} \quad (5.2)$$

$$\text{Rev. del motor por unidad} = \frac{\text{rev. tornillo por unidad x Ns}}{Nm} \quad \text{EC.} \quad (5.3)$$

Dónde:

- $N_s$  = Número de dientes del engranaje que se encuentra acoplado al tornillo.
- $N_m$  = Número de dientes del engranaje que se encuentra acoplado al eje del motor.
- Paso efectivo del tornillo = La distancia que mueve el eje por una rev. Tornillo.

En el controlador para los 3 motores que se implementó se puede configurar los micro-pasos. En este caso tenemos 128 micro-pasos como máximo, esto significa que si tenemos un motor de 200 pasos/rev. Tendremos 25600 pasos por revolución del motor sin embargo se recomienda configurar el driver a 10 micro-pasos teniendo 2000 pasos por revolución del motor, siendo este valor suficiente.

Para tornillos en milímetros.

$$\text{Rev. tornillo por unidad} = \frac{1}{\text{Paso efectivo del Tornillo}} \quad \text{EC. (5.4)}$$

Dónde:

- El paso de rosca efectivo es la distancia que el eje se mueve para una la revolución del tornillo.

Está relación debe ser 1 o inferior a 1 cuando se trata de milímetros y cuando se trata de pulgadas debe ser superior a 1.

En nuestro caso como los 3 tornillos se manejan directamente con el motor, entonces las revoluciones del tornillo son las del motor por unidad. El paso efectivo del tornillo para los 3 ejes es de 2 mm

$$\text{Rev. tornillo por unidad} = \frac{1}{2} \quad \text{EC. (5.5)}$$

Por lo tanto tenemos para los 3 ejes:

$$\text{Pasos por unidad Mach3} = 2000 \cdot 0,5 = 1000 \text{ Pasos por unida Mach3}$$

Cuando se tiene un tornillo con múltiples entradas, se debe multiplicar el paso efectivo por el número de entradas.

Para un tornillo en pulgadas son las mismas ecuaciones, la diferencia radica que se emplean los hilos por pulgada (hpp), esto ingresa en el paso efectivo del tornillo de la siguiente manera:

$$\text{Paso efectivo del tornillo} = \frac{1}{hpp} \quad EC. (5.6)$$

De igual manera si se tiene múltiples entradas en el tornillo, se debe multiplicar el número de entradas por el paso efectivo.

Una vez obtenidos estos valores se ingresan en el cuadro de diálogo de Motor Tuning, como se aprecia en la FIG 5.24 para el eje X. Para el resto de ejes se realice la misma configuración dado que tienen las mismas características de tornillos, motores, y drivers. Después de cada cambio siempre pulsar el botón de Save Axis Tuning para guardar los cambios realizados.

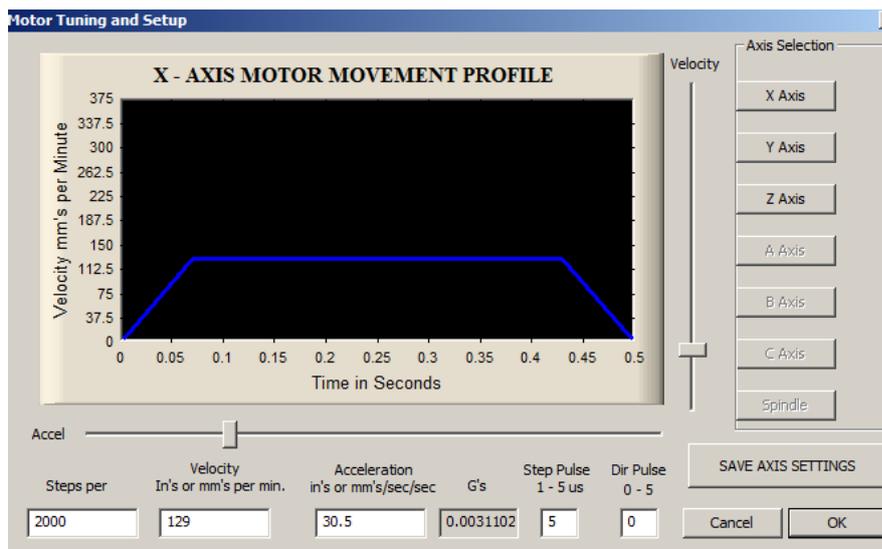


FIG 5. 24 Calibración de Motores

**Fuente:** Autor

En el mismo cuadro de dialogo se muestra el valor de velocidad máxima, la cual estará limitada por la tasa máxima de pulsos de Mach3. Es decir que si configuramos a 25.000 Hz y 2000 pasos por unidad entonces la máxima velocidad posible es 750 unidades por minuto.

Hay muchas cosas que definen la velocidad máxima de un eje:

- La máxima velocidad permitida del motor (tal vez 4000 rpm para un servo motor o 1000 rpm para un motor paso a paso).
- La máxima velocidad permitida del tornillo de bolas (depende de longitud, diámetro, cómo son soportados sus extremos)
- Velocidad máxima de la correa dentada o caja de engranajes de reducción
- La máxima velocidad que el control electrónico soportará sin señalar una falla
- La máxima velocidad para mantener la lubricación de los deslizados de la máquina

Los dos primeros en esta lista son los más probables que lo afecten. Los mismos que se calcularon bajo especificaciones de los fabricantes como son velocidades permitidas de tornillo y de motor, estas se relacionaran a unidades por segundo del movimiento de eje, cuyo valor que será máximo, se lo pondrá en el cuadro de velocidad de afinación del motor para el eje involucrado.

Las velocidades máximas para cada eje son las siguientes:

**EJE X**       $n_{ad} = 67,52 \text{ RPM}$      $V_x = 2057,56 \text{ mm/min}$

**EJE Y**       $n_{ad} = 118,83 \text{ RPM}$      $V_y = 3621,15 \text{ mm/min}$

**EJE Z**       $n_{ad} = 362,7 \text{ RPM}$      $V_z = 11052,7 \text{ mm/min}$

En cuanto a la aceleración, Artsoft creadores del programa Mach3 recomiendan configurar este valor de acuerdo a un sonido confortable en las pruebas de encendido y apagado, a pesar que esto no llega a ser científico da buenos y mejores resultados.

#### **5.2.4. CONFIGURACIÓN DEL HOME.**

Activa/Desactiva los fines de carrera virtuales, estos son muy útiles como primer aviso de que estamos llegando a los extremos útiles de los ejes y permiten configurar la desaceleración de los ejes hasta llegar a los interruptores de fin de carrera.

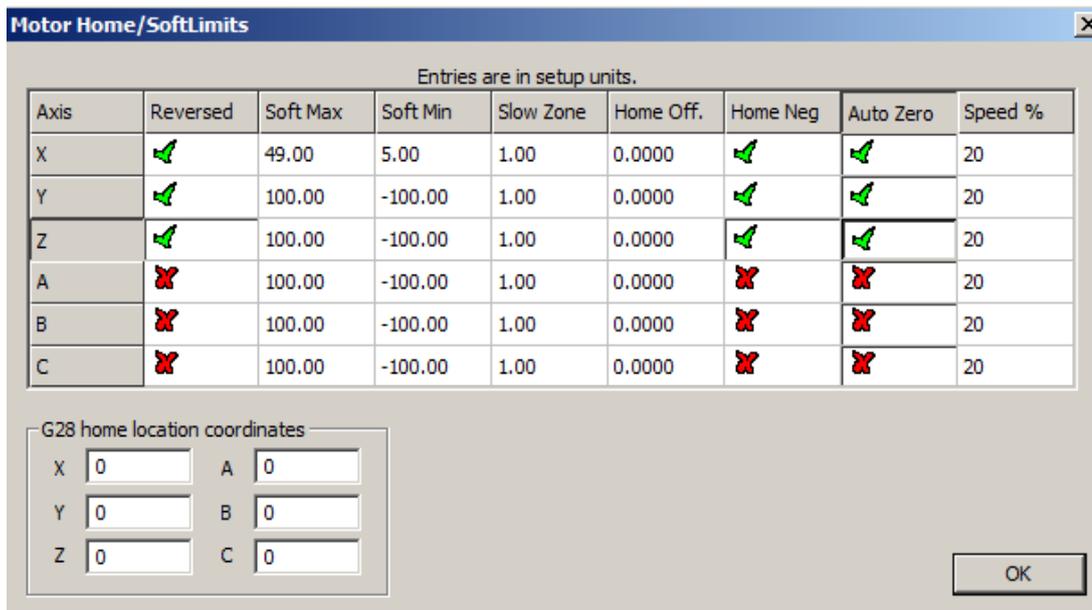


FIG 5. 25 Configuración del Home

Fuente: Autor

Para la configuración lógica, los valores son los mismos por default, como se aprecia en la figura 5.26.

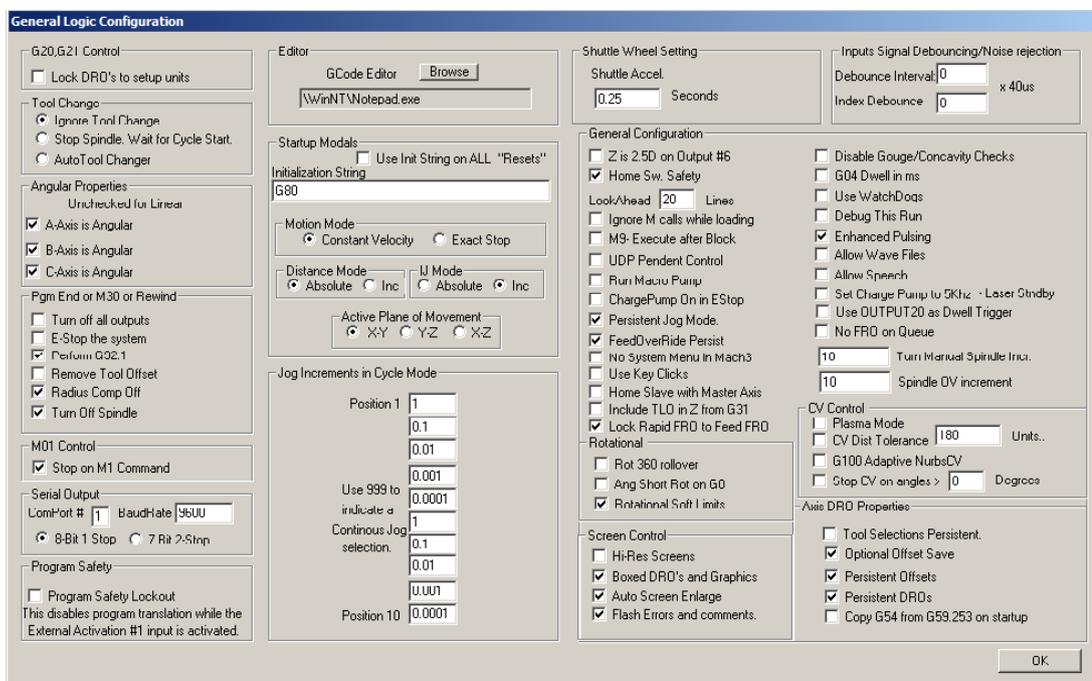


FIG 5. 26 Configuración Lógica

Fuente: Autor

Para las demás configuraciones no se debe alterar o cambiar ningún dato, ya que se trabaja con los datos que proporciona el programa.

### 5.2.5. CONTROLES DEL PROGRAMA MACH3-MILL

Esta es la pantalla principal de Mach3. Donde se puede acceder a la misma desde cualquier parte del programa apretando ALT-1 en el teclado

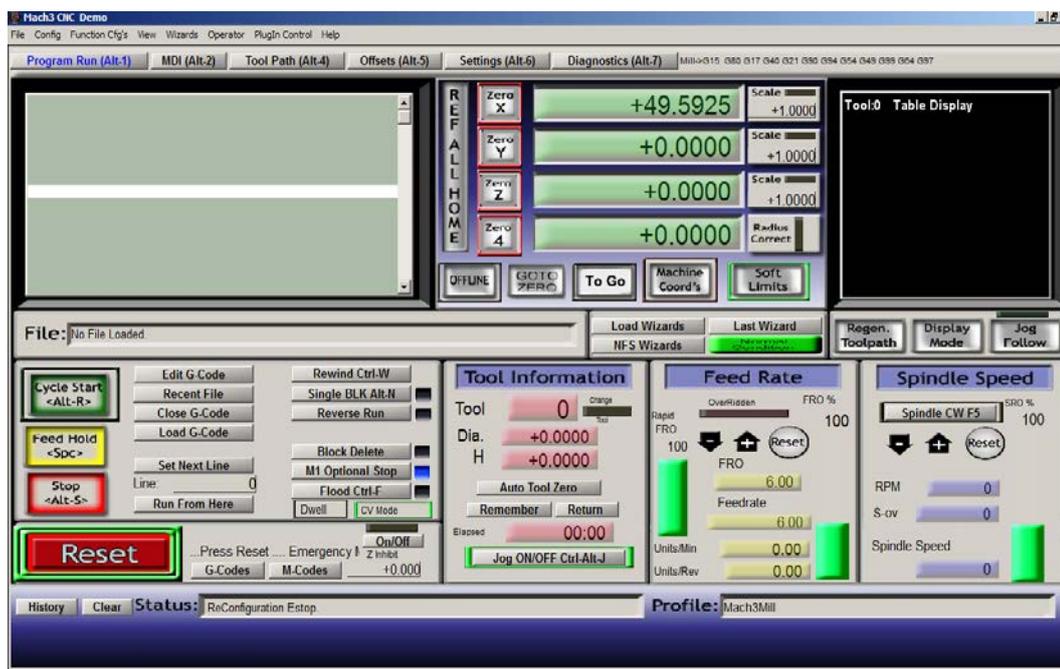


FIG 5. 27 Controles del Programa Mach3Mill

Fuente: Autor

Al arrancar el programa, el **botón de Reset** debería estar titilando, lo que indica que el programa no hará mover la maquina hasta tanto se presione este botón y quede de color verde. Para que el botón quede en verde la maquina CNC tiene que estar previamente prendida, con el **botón rojo de reset** liberado y con los interruptores de fin de carrera sin presionar, caso contrario dará un mensaje de error.

Luego de que Mach3 se encuentra operativo, lo siguiente que hay que hacer es referenciar los ejes para que Mach3 sepa donde se encuentran los

cero de la tabla, estos concuerdan con los interruptores de fin de carrera y también serán utilizados por los fines de carrera virtuales (Soft Limits).

Ahora vemos una explicación detallada da cada una de las secciones que componen la pantalla principal de Mach3.

### 5.2.6. SECCIÓN DE CONTROL DE PROGRAMA CÓDIGO G

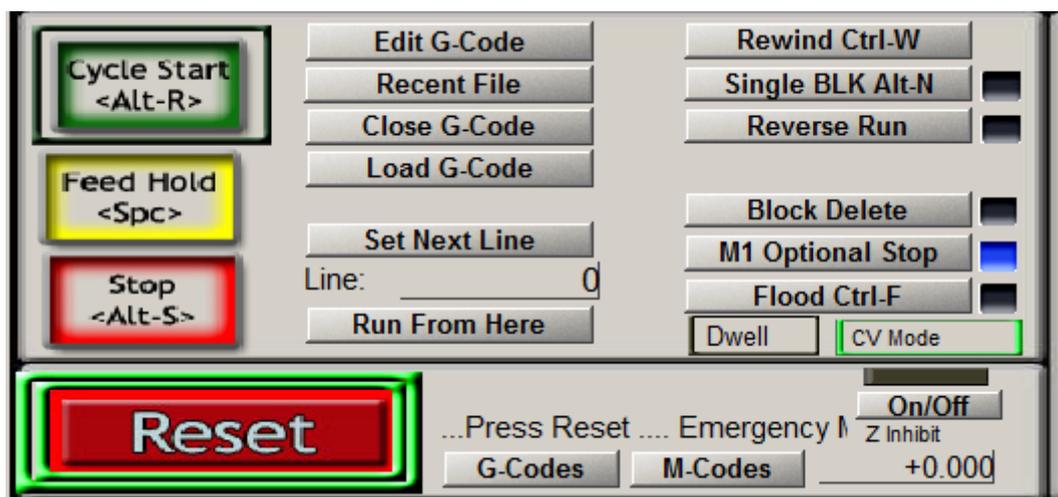


FIG 5. 28 Sección de Controles del Programa Código G

**Fuente:** Autor

**Cycle Start:** indica el programa que se encuentra cargado o reinicia uno que fue pausado/parado.

**Feed Hold:** Pausa el programa.

**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 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 está activado el programa en lugar de avanzar en la línea siguiente lo hace a la anterior.

**Flood:** Arranca o detiene la bomba de refrigerante.

**G-Code 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.

### 5.2.7. SECCIÓN DE POSICIÓN Y ESTADO DE LOS EJES



FIG 5. 29 Posición y Estado de los Ejes

**Fuente:** Autor

**Ref All Home:** Este botón referencia a todos los ejes a cero, es decir, lleva los mismos al extremo indicado por los interruptores de límite de carrera, este es el límite físico de la máquina.

**Machine Coord's:** Cuando este botón se encuentra enmarcado en color rojo, significa que estamos viendo la posición absoluta de los ejes.

Es importante diferenciar esta posición del **cero del trabajo** que se va realizar en la máquina, estas coordenadas, las del trabajo a realizar se ven cuando el botón **Machine Coord's** se encuentra en marcado en rojo. Una vez que los ejes están referenciados, los botones de cada eje tendrán un recuadro verde.

**Zero X/Y/Z/4:** Estos botones permiten ajustar el cero de trabajo a realizar luego de desplazar la tabla hasta la posición deseada. Estos botones no funcionan cuando el botón **Machine Coord's** se encuentra en marcado en rojo (posición absoluta de la maquina).

**Offline:** Permite ejecutar el programa cargado pero sin mandarle las instrucciones a la máquina, es decir simula la ejecución del programa.

**Goto Z:** Mueve automáticamente los ejes al cero de trabajo.

**Soft Limits:** Activa/Desactiva los fines de carrera virtuales, estos son muy útiles como primer aviso de que estamos llegando a los extremos útiles de los ejes y permiten configurar la desaceleración de los ejes hasta llegar a los interruptores de fin de carrera.

**Scala X/Y/Z:** Permite llevar los valores de cada eje a un valor en scala. Un valor de 0,5 divide por dos los valores del programa para el eje en cuestión.

#### 5.2.8. SECCIÓN DE CONFIGURACIÓN DE HERRAMIENTAS

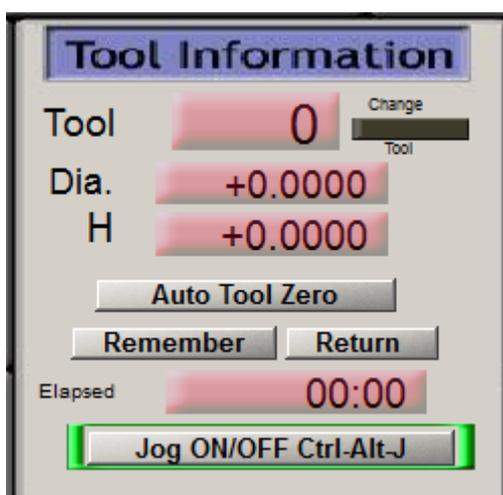


FIG 5. 30 Configuración de Herramientas

**Fuente:** Autor

La máquina que se está usando no posee cambio automático/rápido de herramienta es por eso que esta sección no es de gran uso, es útil en el caso de que tenga uno de los sistemas mencionados porque le permitirá hacer uso de una tabla predefinida de herramientas. La herramienta número 0 es un valor que no se puede modificar y se usa cuando no se dispone de cambiador de herramientas.

El botón **Jog ON/OFF** habilita/deshabilita el movimiento manual de los ejes mediante los cursores o el mouse.

### 5.2.9. SECCIÓN DE AVANCE

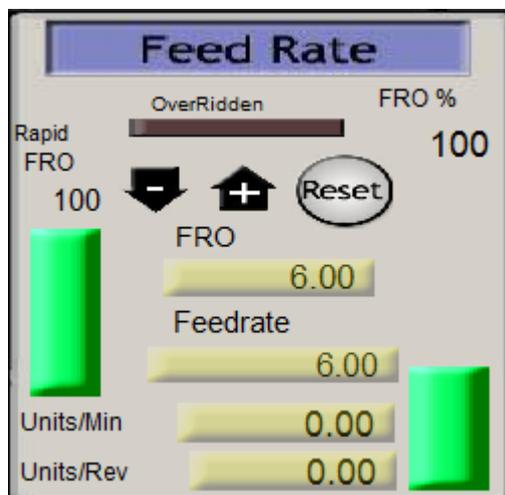


FIG 5. 31 Configuración de Avance

**Fuente:** Autor

**Feed Rate:** Permite ingresar un avance par 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 quedara registrado.

**FRO (Freed Rate Override):** Este campo muestra el valor del avance actual, en caso que el mismo se haya alterado subiendo o bajando la barrita 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.

Para conectar y habilitar el interruptor para variar la velocidad de avance de los motores de manera externa seguimos el siguiente procedimiento:



FIG 5. 32 Instalación de Avance Externo

**Fuente:** Autor

Una vez conectado como esta en la FIG 5.32 nos dirigimos a Mach3 Config=>Config Plugins, PlugIn Control and Activation FIG 5.33.

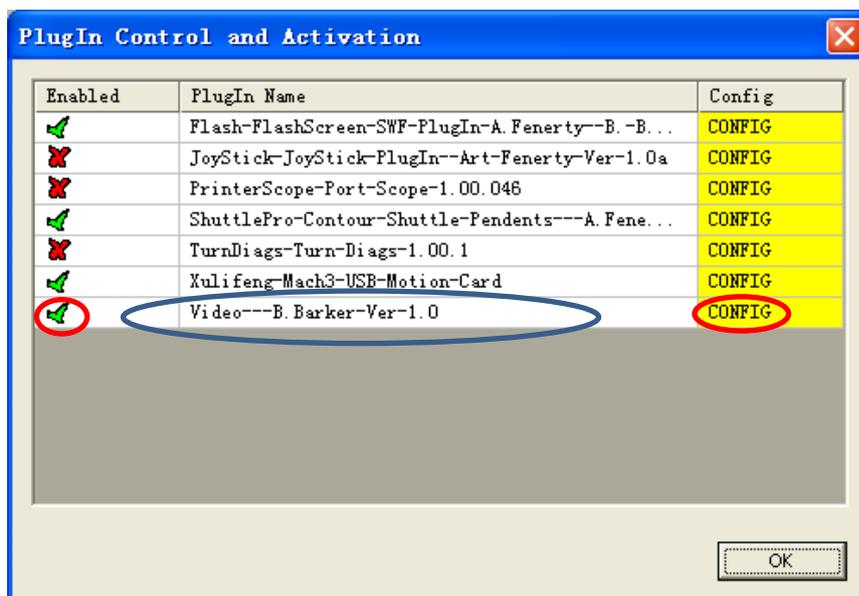


FIG 5. 33 Configuración de Avance Externo

**Fuente:** Autor

Para configurar la velocidad de avance de los motores de los ejes activamos con un visto a la tarjeta Mach3 USB y hacemos click en CONFIG donde se desplazara la siguiente pantalla

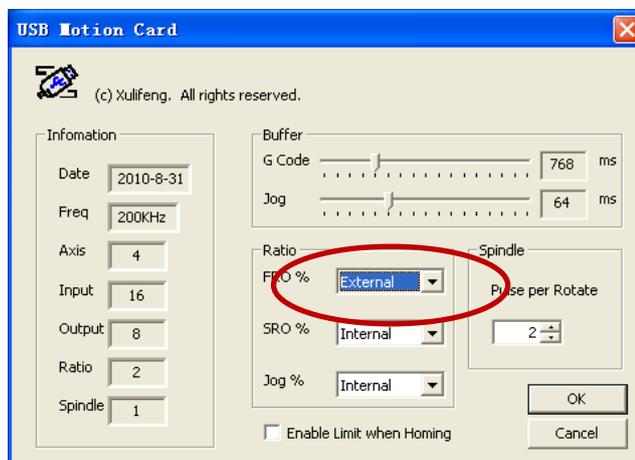


FIG 5. 34 Configuración de Avance Externo

**Fuente:** Autor

En esta ventana escogemos external en la opción FRO%, las otras opciones son para controlar la velocidad del husillo y de un Jog externo sin embargo en nuestro caso no necesitaremos de esas opciones.

#### 5.2.10. SECCIÓN DE CONTROL DEL HUSILLO

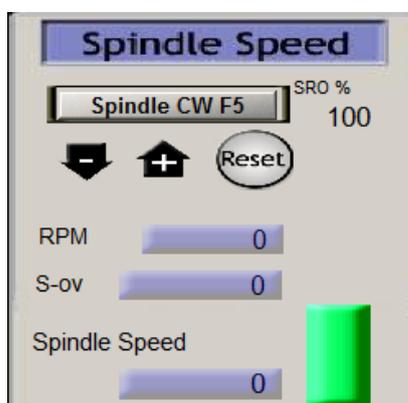


FIG 5. 35 Configuración Control de Velocidad Husillo

**Fuente:** Autor

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 quedara 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.

#### 5.2.11. VISUALIZACIÓN DEL PROGRAMA

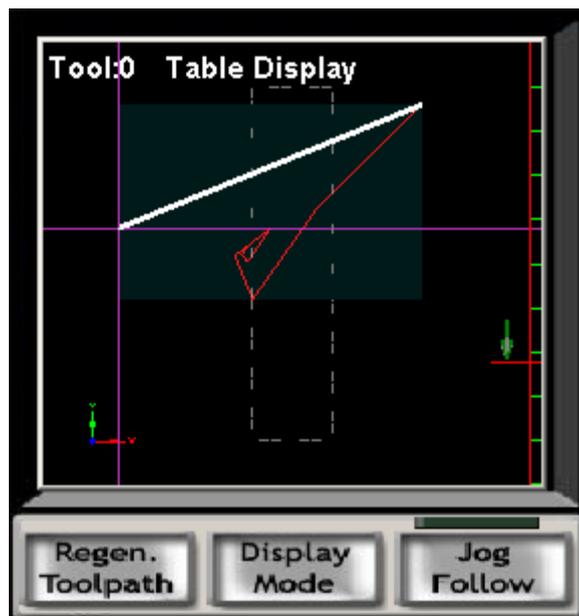


FIG 5. 35 Visualización del Programa

**Fuente:** Autor

En esta sección vemos una representación visual de programa código G que se encuentra cargado.

**Regen Toolpath:** Cada vez que modifiquemos el cero de trabajo deberemos apretar este botón para regresar el dibujo para que se posicione correctamente.

**Display Mode:** Alterna entre un detalle del trabajo en particular y la visualización del mismo en la mesa del trabajo.

**Jog Follow:** Alterna la forma en que se va viendo el trabajo mientras se está realizando.

### 5.2.12. MODO MPG



FIG 5. 36 MPG

Fuente: Autor

Al apretar la tecla TAB en el teclado aparece sobre el margen derecho de la pantalla este control, con el mismo que podremos mover todos los ejes usando las flechitas verdes/rojas en la parte inferior.

Podremos también alterar el valor, en términos porcentuales, de los movimientos rápidos de posicionamiento mediante el campo **Slow Jog grate**.

### 5.2.13. PANTALLA MDI

Se puede acceder a esta pantalla desde cualquier parte del programa apretando en el teclado las teclas ALT+2

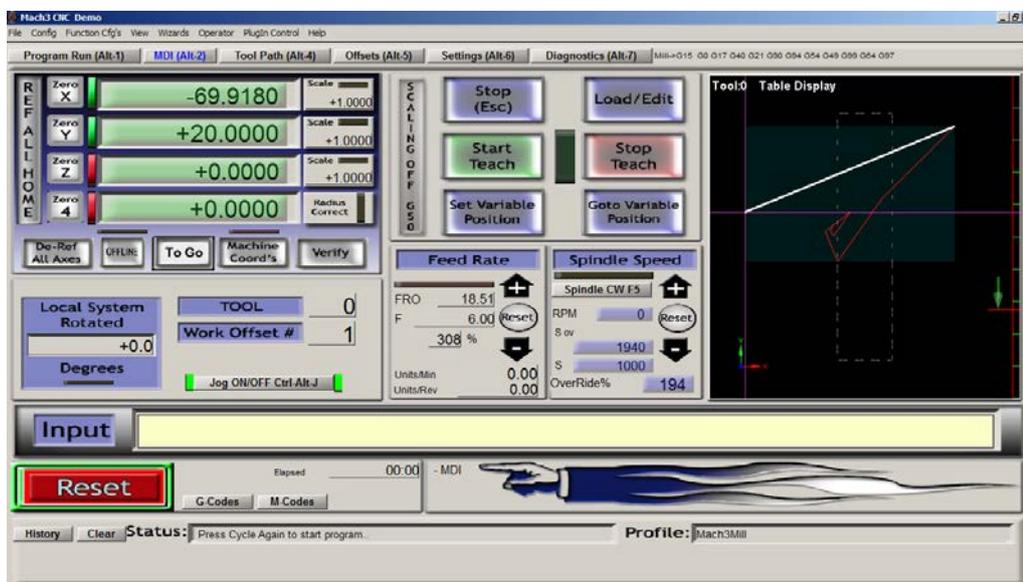


FIG 5. 37 Ventana MDI

Fuente: Autor

Esta pantalla es muy similar a la anterior, la gran utilidad de la misma es la posibilidad de ingresar líneas individuales de código G, esto se hace haciendo click con el mouse en el campo **Input**, cualquier código G que se ingrese aquí será ejecutado instantáneamente luego de apretar la tecla Retorno en el teclado.

### 5.2.14. PANEL DE CONTROL

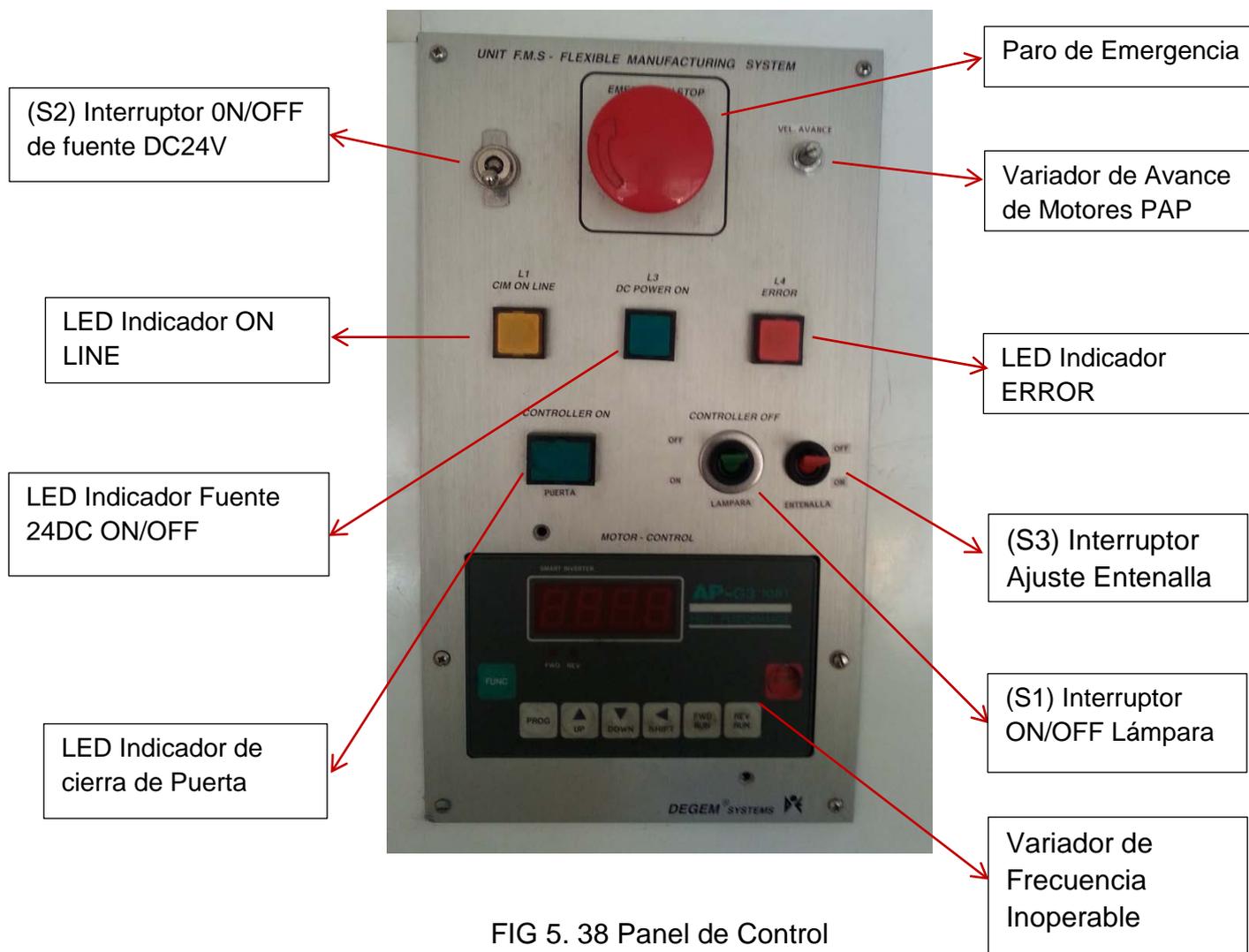


FIG 5. 38 Panel de Control

Fuente: Autor

Diagrama eléctrico y conexiones ANEXO D

### 5.2.15. INSTRUCCIONES PARA LA OPERACIÓN DE LA MÁQUINA

1. Montar el material a mecanizar en la entenalla de sujeción de las piezas.

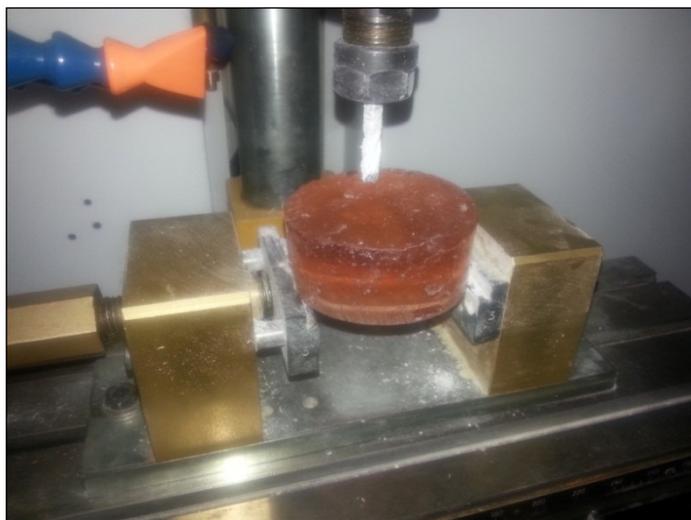


FIG 5. 39 Pieza a Maquinar

Fuente: Autor

2. Realizar el diseño gráfico en Solidworks de la pieza a mecanizar como muestra en la FIG 5.41.

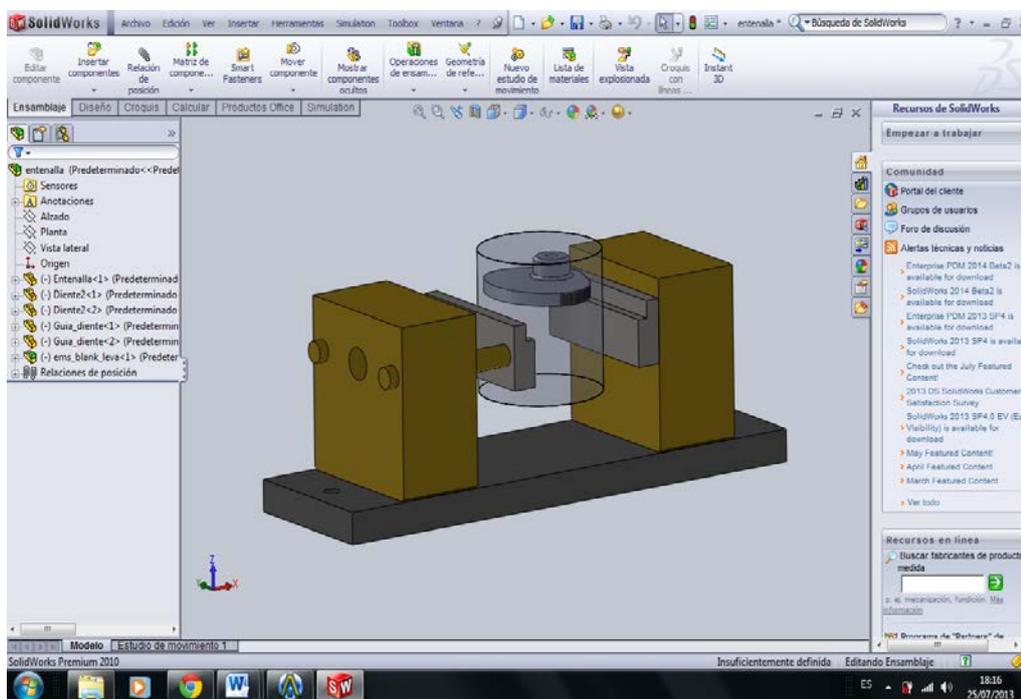


FIG 5. 40 Material y pieza a maquinar sujeta con entenalla en Solidworks

Fuente: Autor

3. Guardar el archivo con extensión .parasolid (\*.x\_t) para exportar hacia el programa NX8 como se ve en la FIG 5.42, en donde generaremos el código G

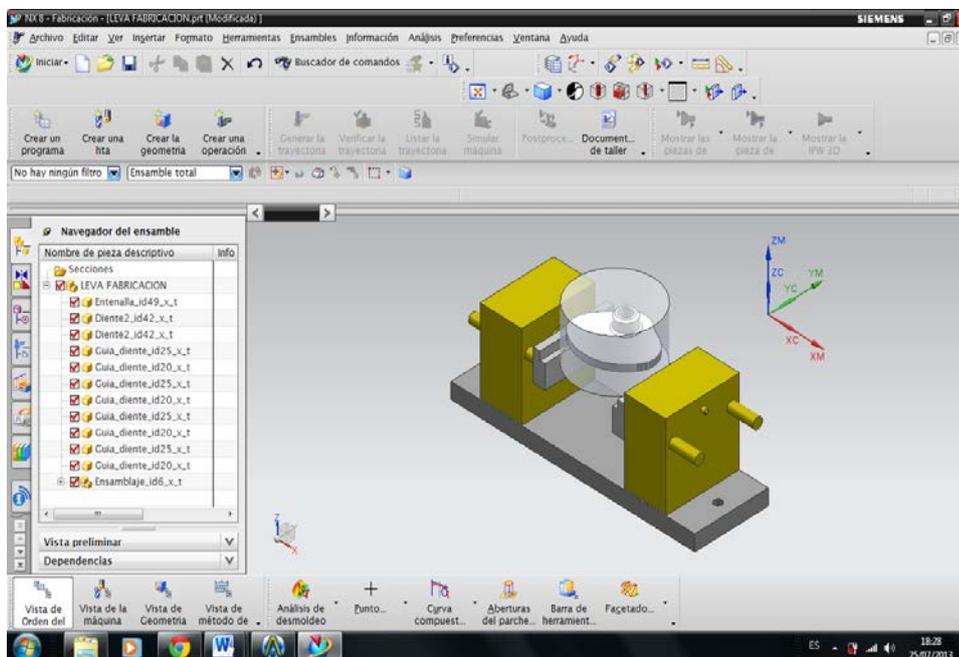


FIG 5. 41 Pieza con entenalla en NX8

**Fuente:** Autor

4. Para crear nuestra herramienta ingresar a la ventana de parámetros de herramienta y se completa como muestra la FIG. 5.43, de acuerdo a la fresa de corte escogida.

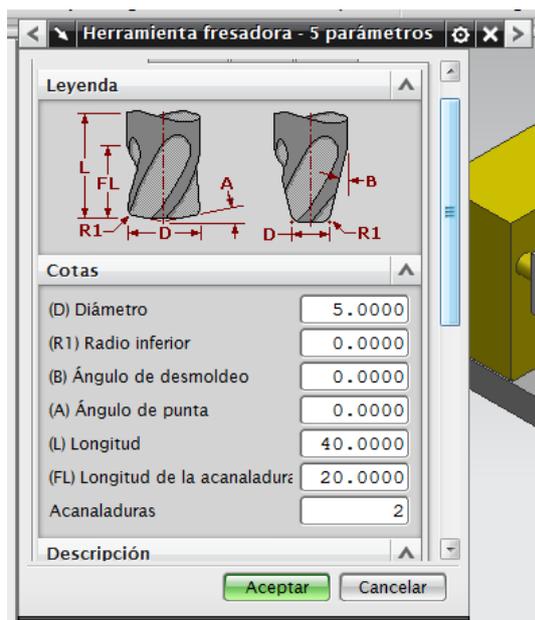


FIG 5. 42 Parámetros de Herramienta de corte en NX8

Fuente: Autor

5. Para la configuración de avances y velocidades se completa de acuerdo a la siguiente FIG 5.44, estos valores fueron calculados en el capítulo 3 en la sección de análisis mecánico 3.5.

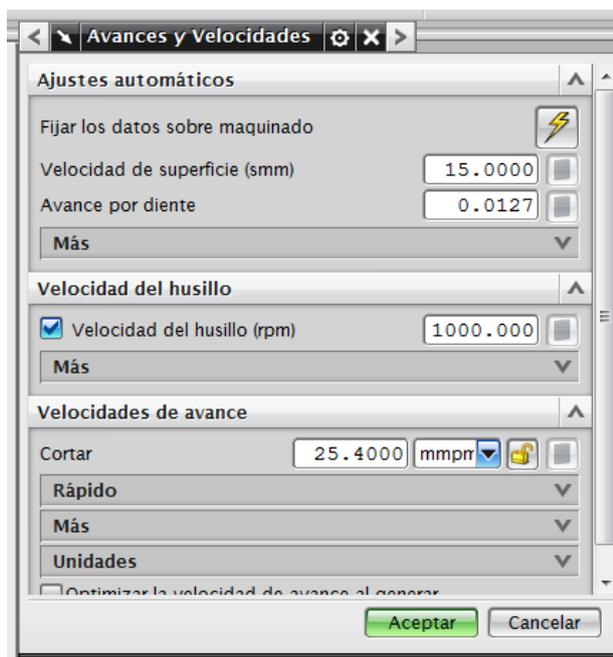


FIG 5. 43 Parámetros de Avances y Velocidades

Fuente: Autor

6. Una vez realizada todas las operaciones para el fresado en este caso de la leva como muestra la FIG 5.45 se procede a generar el código G con la opción postprocesar.

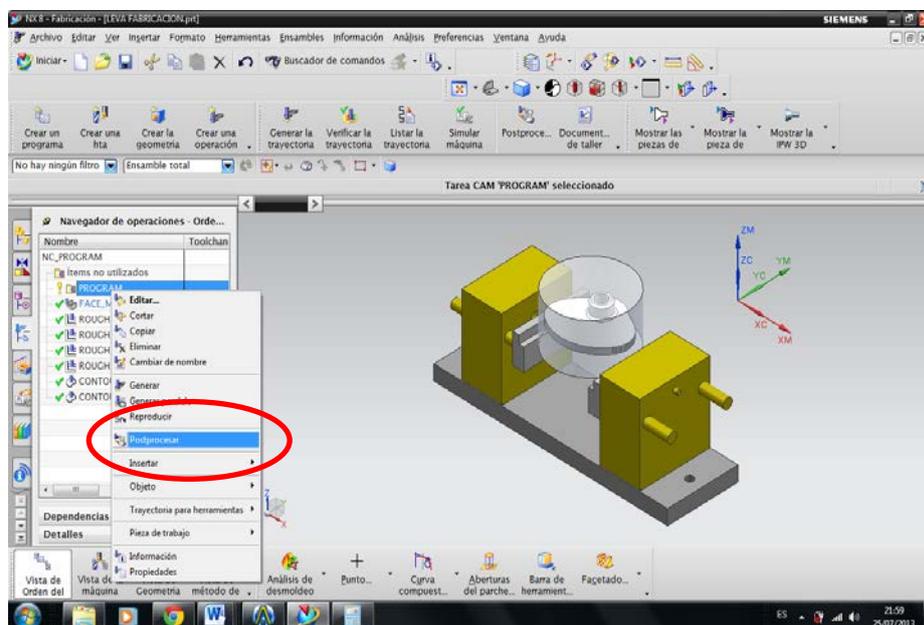


FIG 5. 44 Generación del código G para el fresado de una Leva Mecánica

Fuente: Autor

7. Después de generar el código G se copia y se guarda en un archivo con extensión .txt (bloc de notas).

```

Información
Archivo(F) Editar(E)
-----
Listado informativo creado por : HomeHP
Fecha : 25/07/2013 22:02:18
Pieza de trabajo actual : D:\TESIS\TESIS NCM-2000\PRUEBAS\Leva\LEVA FABRICACION.prt
Nombre del nodo : homehp-pc
-----
%
N0010 G40 G17 G90 G70
N0020 G91 G28 Z0.0
:0030 T00 M06
N0040 G0 G90 X1.8971 Y-1.5277 S1000 M03
N0050 G43 Z1.4764 M00
N0060 G1 Z.0197 F2. M08
N0070 X.6824
N0080 X-.6824
N0090 G2 X-.9429 Y-1.3822 I.6824 J1.5277
N0100 G1 X.9429
N0110 G3 X1.127 Y-1.2367 I-.9429 J1.3822
N0120 G1 X-1.127
N0130 G2 X-1.2684 Y-1.0912 I1.127 J1.2367
N0140 G1 X1.2684
N0150 G3 X1.3803 Y-.9457 I-1.2684 J1.0912
N0160 G1 X-1.3803
N0170 G2 X-1.4695 Y-.8002 I1.3803 J.9457
N0180 G1 X1.4695
N0190 G3 X1.5398 Y-.6547 I-1.4695 J.8002
N0200 G1 X-1.5398
N0210 G2 X-1.5939 Y-.5092 I1.5398 J.6547
N0220 G1 X1.5939
N0230 G3 X1.6332 Y-.3637 I-1.5939 J.5092
N0240 G1 X-1.6332
N0250 G2 X-1.6589 Y-.2182 I1.6332 J.3637

```

FIG 5. 45 Código G

Fuente: Autor

8. Abrir el programa Mach3 y cargar el archivo .txt haciendo click en la opción Load G-Code, como se indica en la FIG 5.47.

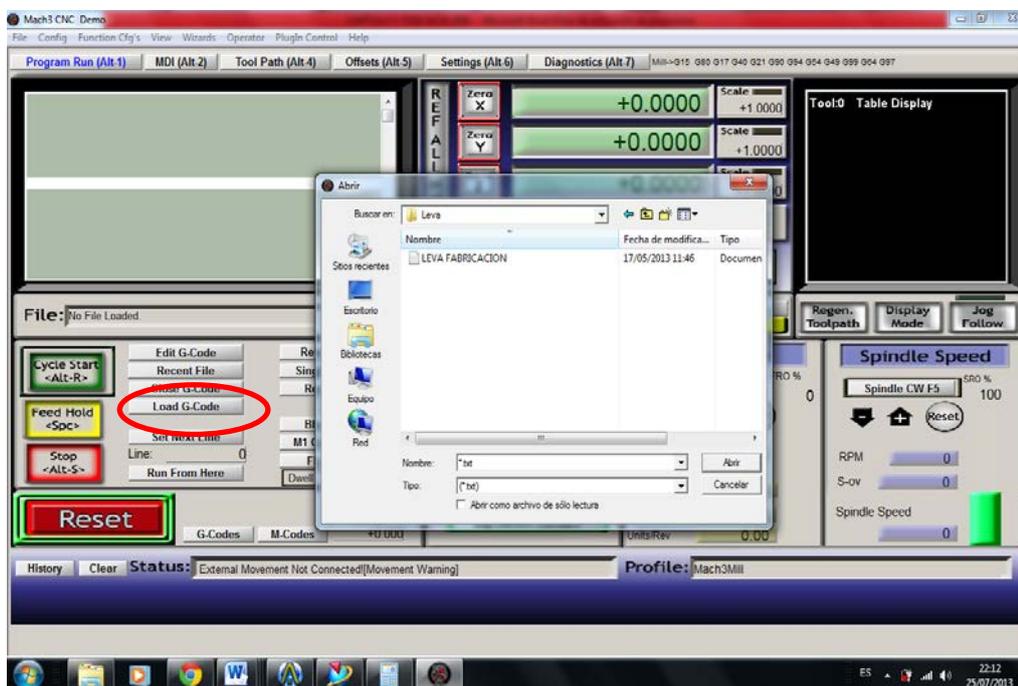


FIG 5. 46 Cargar código G en Mach3

**Fuente:** Autor

9. Para la configuración y afinación de motores seguir las indicaciones que se indica en la sección 5.2.3.
10. Revisar las conexiones internas de la interfaz, que no exista cables sueltos y que los tornillos de las borneras estén bien apretados.
11. Encender la lámpara con el Interruptor ON/OFF para la Lámpara y después la fuente con el Interruptor ON/OFF de fuente DC24V, ver sección 5. 2.14.
12. Configuramos primero el cero de maquina (Home), realizando los respectivos movimientos de manera manual en los 3 ejes hasta posicionarlos en el lugar que el operario crea conveniente siempre y cuando este dentro de los rangos permitidos por los finales de carrera.

Una vez posicionado las coordenadas hacemos click en la opción **ref all home** como muestra la FIG 5.48, la misma que quedara guardada

y los recuadros que están de color rojo pasaran a ser de color verde. Cada vez que ingresemos el código G28 los 3 ejes se posicionaran en dicha coordenada.

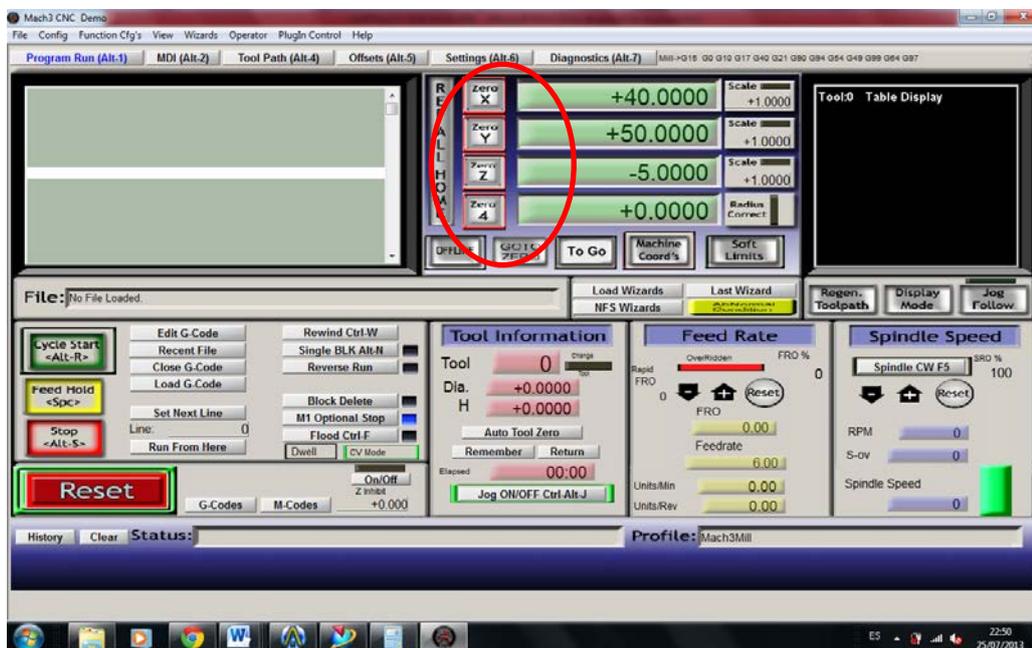


FIG 5. 47 Configuración de cero de Máquina (Home)

**Fuente:** Autor

13. Después seteamos el cero de pieza de manera manual de acuerdo a la forma de la pieza que se va a maquinar. Una vez encontrada las coordenadas hacemos click en cada recuadro **ZERO X**, **ZERO Y**, **ZERO Z** y automáticamente se pondrán en cero cada eje como se muestra en la FIG 5.49

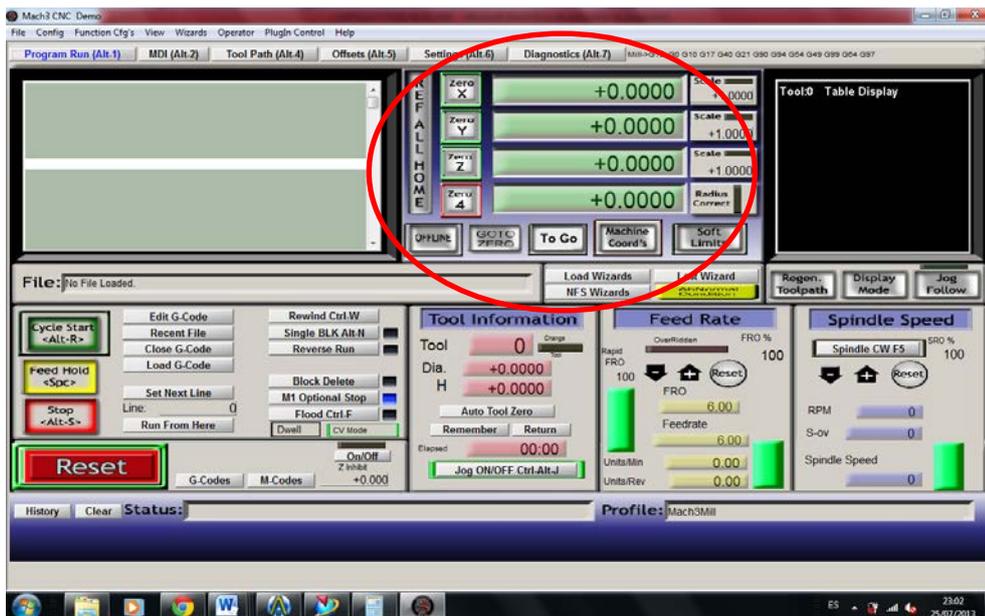


FIG 5. 48 Configuración de cero de Pieza

Fuente: Autor

14.Revisar el archivo diseñado en la pantalla principal del Mach3 en la sección de visualización del programa (FIG 5.50).

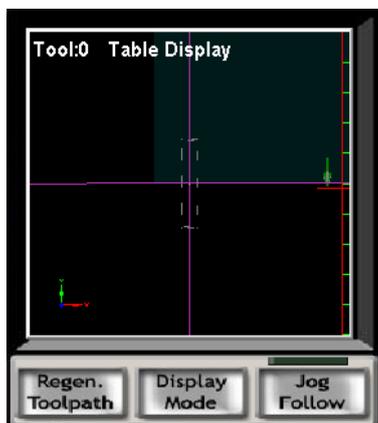


FIG 5. 49 Visualización del programa

Fuente: Autor

15.Presionamos la opción Cycle Start para iniciar con el proceso de fresado como se observa en la FIG 5.50.

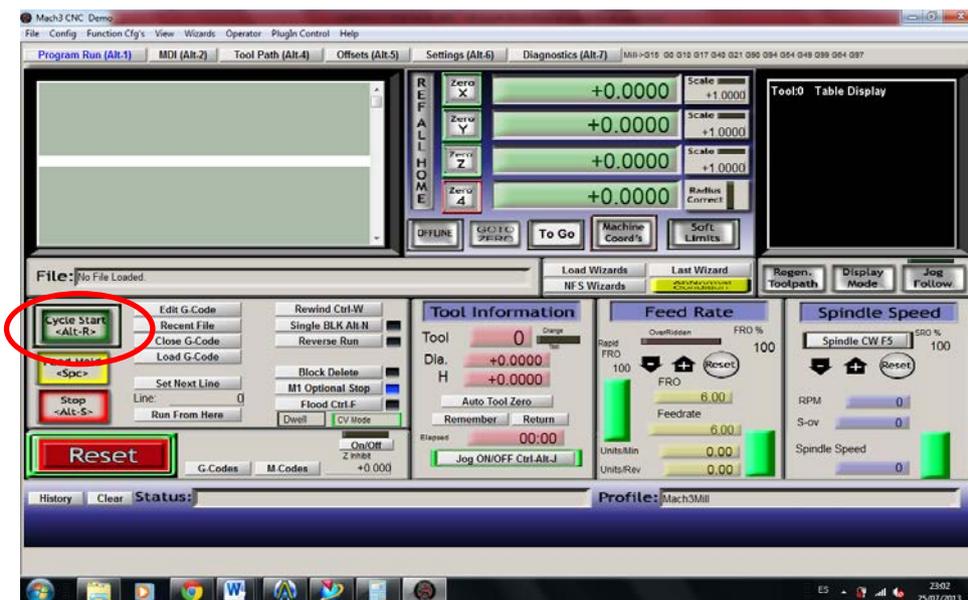


FIG 5. 50 Inicio del proceso de Fresado

Fuente: Autor

16. Y para finalizar estar constantemente pendiente del mecanizado, y si es que se produce alguna anomalía pulsar el botón Reset/Stop o el pulsador de emergencia.

### 5.3. MANUAL DE MANTENIMIENTO

#### ANEXO H

## 5.4. ANALISIS ECONÓMICO

Se ha estimado el costo de construcción en base al desglose indicado a continuación:

### 5.4.1. COSTOS DIRECTOS

TABLA 5. 1 Costo de equipos importados

#	Descripción	Cant.	Valor Unit.	Valor Total
1	Motores PAP	3	\$ 65,00	\$ 195,00
2	Controlador Motores PAP	3	\$ 54,99	\$ 164,97
3	Tarjeta de interfaz usb para 3 ejes UC326	1	\$ 159,95	\$ 159,95
4	Fuente de Poder 24v/10A	1	\$ 23,50	\$ 23,50
<b>SUBTOTAL</b>				\$ 543,42
<b>IMPORTACION (25%)</b>				\$ 135,86
<b>TOTAL</b>				\$ 679,28

Fuente: Autor

El porcentaje del 25% correspondiente a la importación el cual incluye, impuestos de divisas por pago con tarjeta (5%) y (20%) corresponde al transporte desde USA a Ecuador mediante Correos del Ecuador.

TABLA 5. 2 Costo de equipos locales

#	Descripción	Cant	Valor Unit.	Valor Total
1	Braker de protección 10A	1	\$ 7,80	\$ 7,80
2	Relé de 3 contactores 24v/10A	1	\$ 13,00	\$ 13,00
3	Lámpara	1	\$ 11,00	\$ 11,00
4	Placa de potencia (ruteado y elementos)	1	\$ 35,00	\$ 35,00
5	Cables	1	\$ 40,00	\$ 40,00
<b>SUBTOTAL</b>				\$ 106,80
<b>IVA (12%)</b>				\$ 12,82
<b>TOTAL</b>				\$ 119,62

Fuente: Autor

TABLA 5. 3 Costo de Mano de Obra

#	Descripción	Cant	Valor Unit.	Valor Total
1	Compostura Lata Base Principal	1	\$ 20,00	\$ 20,00
2	Acople Motores	3	\$ 30,00	\$ 90,00
3	Compostura Ajuste del Eje Z	1	\$ 20,00	\$ 20,00
<b>SUBTOTAL</b>				\$ 130,00
<b>IVA (12%)</b>				\$ 15,60
<b>TOTAL</b>				\$ 145,60

Fuente: Autor

#### 5.4.2. COSTOS INDIRECTOS

TABLA 5. 4 Costos Indirectos

Descripción	Valor
Tramite Aduana	\$ 30,00
Movilización de Maquinaria	\$ 20,00
<b>TOTAL</b>	\$ 50,00

Fuente: Autor

#### 5.4.3. COSTO TOTAL

TABLA 5. 5 Costo total de implementación de la interfaz de control y comunicación de la máquina NCM-2000

Descripción	Valor
Costos Directos	\$ 944,49
Costos Indirectos	\$ 50,00
<b>TOTAL</b>	\$ 994,49

Fuente: Autor

Hoy en día existen varias empresas que brindan muchas facilidades y flexibilidad al momento de automatizar tornos y fresadoras gracias a la gran diversidad de equipos como interfaces, controladores, tarjetas, motores de

alta precisión, etc. Es por eso que una vez realizado el análisis económico se constata la poca inversión realizada versus las altas prestaciones técnicas con las que trabaja hoy en día la máquina NCM-2000.

## **CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. CONCLUSIONES**

El presente proyecto de tesis fue desarrollado en el laboratorio de CAD/CAM de la Escuela Politecnica del Ejercito y gracias a todos los conocimientos adquiridos en clases se pudo contribuir con la mejora del equipamiento y funcionamiento del mismo mediante la implementación de una interfaz computacional de control y monitoreo para la máquina NCM-2000, la cual a su vez va brindar a los alumnos una herramienta adecuada para maximizar sus conocimientos teoricos- practicos que van desde lo básico, como el principio de funcionamiento y el correcto encendido de la máquina hasta simulación y ejecucion de programas.

El presento diseño se basó bajo parámetros de corte para fresado como son velocidad de corte, velocidad de giro de la herramienta, velocidad de avance, profundidad de pasada y ancho de corte para poder dimensionar y adquirir motores a pasos que nos brinde excelentes prestaciones en torque, velocidad y precisión como lo son los motores Longs Motor Nema **23HS9442**.

Se diseño y se adquirió un sistema de interfaz computacional a bajo costo, compatible con el programa Mach3 capaz de controlar y monitorear el proceso de fresado de la máquina NCM-2000 como lo es la tarjeta UC326. En la implementación del sistema se tomó en cuenta la evaluación y diseño del mismo a través de teorías nuevas como es el diseño concurrente con el objetivo de realizar la mejor selección del sistema. Seleccionando motores a pasos como los actuadores para los 3 ejes, los cuales generan el movimiento preciso para posicionar y realizar cada maquinado con características como: bajas vibraciones, bajo ruido, alta precisión, entre otras. Además se utilizaron drivers para estos motores para la mejorar la precisión y controlar el torque y de esta manera lograr uno de los sistemas

más eficientes en la transmisión de movimiento con el objetivo de darle al sistema mayor robustez y fiabilidad.

Se concluye que el nuevo controlador de la máquina NCM-2000 posiciona con a cada eje con una precisión milimétrica de 0,01 (*mm*) y realiza el proceso de fresado con alta eficiencia, todo esto se constató mediante pruebas físicas que consistían en generación y simulación de código G con el programa NX8.0 y el proceso de fresado con el programa Mach3 para con piezas de materiales blandos.

La máquina NCM-200 desde un principio carecía de protecciones que brinden seguridad al operario como son los finales de carrera, sin embargo con este proyecto se pudo implementarlos y de esta manera lograr que el proceso de fresado para los estudiantes sea seguro y que a su vez evite colisiones o daños inesperados por negligencia.

Conociendo la falta de información sobre la maquina NCM-2000 previo a la elaboración de este proyecto, se realizó manuales de usuario, de operación y mantenimiento para el correcto y debido funcionamiento de la máquina NCM-2000.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda utilizar la máquina NCM-2000 siempre y cuando se conozca las características técnicas de la máquina y su funcionamiento, el primer paso es leer el manual de instrucciones que se encuentra en el capítulo 5.

La Escuela Politécnica del Ejército años atrás adquirió dos máquinas NCM-2000, hoy en día una de ellas, se encuentra operable gracias a este proyecto de tesis por lo que se recomienda seguir el mismo procedimiento como investigación científica para volver operable la otra máquina que se

encuentra ubicada en el Laboratorio de Centro Integrado de Manufactura de la Carrera de Ingeniería Electrónica.

Si la Escuela Politécnica del Ejército y el laboratorio de CAD/CAM en un futuro requieren mejorar las características técnicas de la máquina se recomienda: implementar un nuevo motor, como husillo, de mayores prestaciones con su respectivo controlador de velocidad para poder maquinar cualquier tipo de material.

Se recomienda también como mejoras a un futuro implementar una mesa soporte propio de la máquina para evitar vibraciones y el constante movimiento de la misma dentro del laboratorio.

## REFERENCIAS

### BIBLIOGRAFÍA.

- ARTSOFT. (Febrero de 2013). *ARTSOFT*. Obtenido de <http://tallerdedalo.es/web/sites/tallerdedalo.es/files/file/ManualMach3castellano.pdf>
- Buenas tareas. (2013). *Buenas Tareas*. Obtenido de <http://www.buenastareas.com/ensayos/Codigos-m-Para-Cnc/1810113.html>
- CNC, R. L. (2013). *Códigos CNC*. Obtenido de <http://r-luis.xbot.es/cnc/codes03.html>
- Co., X. E. (2010). Ld. Catálogo DS2 series servo drive. En XINJE.
- Cruz Teruel, F. (2005). *Control numérico y programación*. Madrid: Marcombo.
- Cruz Teruel, F. (2007). *Sistemas de fabricación de máquinas automatizadas*. Madrid.
- Investigación, E. d. (5 de Febrero de 2013). *CEDE*. Obtenido de [www.cede.es](http://www.cede.es)
- Lasheras, J. M. (2010). *Maquinas herramientas: fresadoras*. Madrid: Donostiarra.
- Mundo CNC. (2013). *Mundo CNC*. Obtenido de <http://tallerdedalo.es/web/MundoCNC/Software>
- UNAC. (Abril de 2011). *UNAC*. Obtenido de [http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes\\_Finales\\_Investigacion/Abril\\_2011/IF\\_LOAYZA\\_FIME/CAPITULO%20I.PDF](http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/Abril_2011/IF_LOAYZA_FIME/CAPITULO%20I.PDF)
- Wikipedia. (10 de Julio de 2013). *Wikipedia*. Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora#Movimientos>