



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
PROTOTIPO DE CENTRO DE MECANIZADO  
VERTICAL CNC DE 5 EJES PARA EL  
LABORATORIO CNC DE LA ESPE EXTENSIÓN  
LATACUNGA.”**

**DIEGO ISRAEL BUSTILLOS ESCOLA  
KLEVER RAÚL COQUE LARCOS**

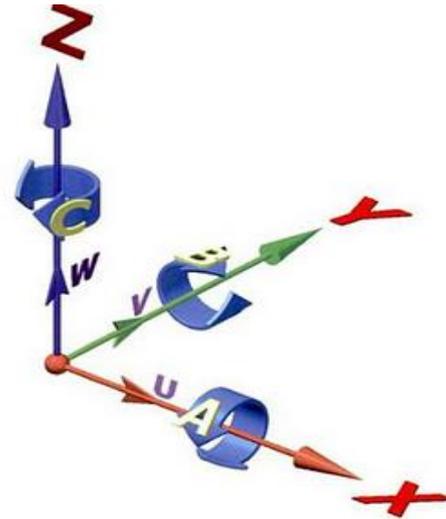
Latacunga, 2014

# ***CAPÍTULO I***

# ***GENERALIDADES***

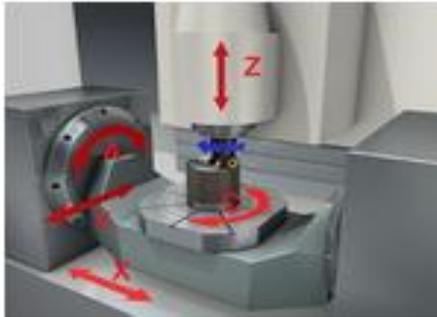


# FRESADORA VERTICAL DE CINCO EJES CNC

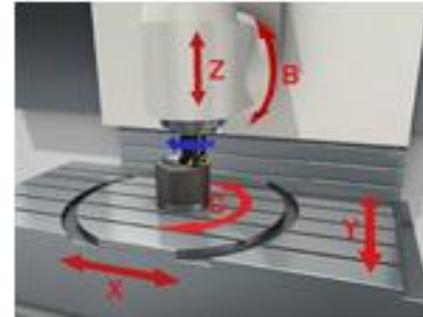


# TIPOS DE FRESADORAS VERTICALES DE 5 EJES

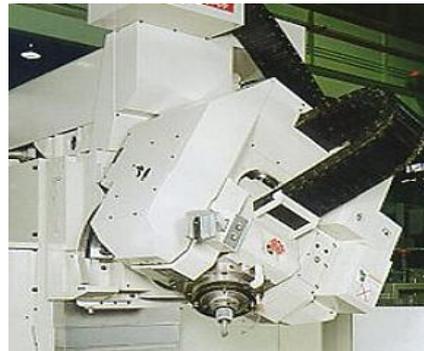
**FRESADORA VERTICAL CON QUINTO EJE A.**



**FRESADORA VERTICAL CON QUINTO EJE B.**



**FRESADORA VERTICAL CON QUINTO EJE CABEZAL BA.**

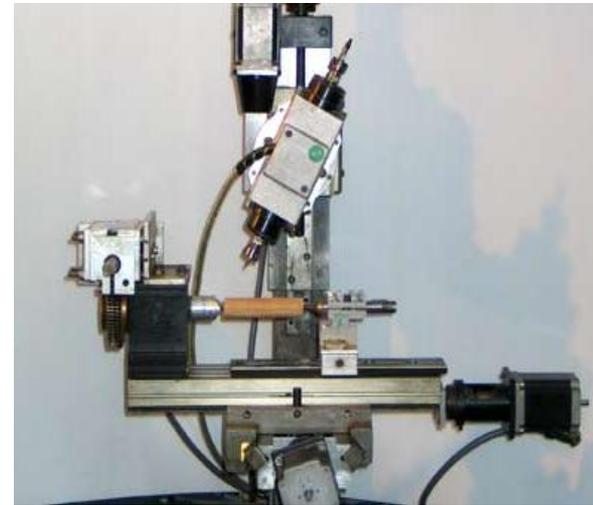


# PROTOTIPOS DE FRESADORAS DE 5 EJES CNC

**FRESADORA DE 5 EJES VERTICAL  
CON QUINTO EJE A.**



**FRESADORA DE 5 EJES VERTICAL  
CON QUINTO EJE B.**

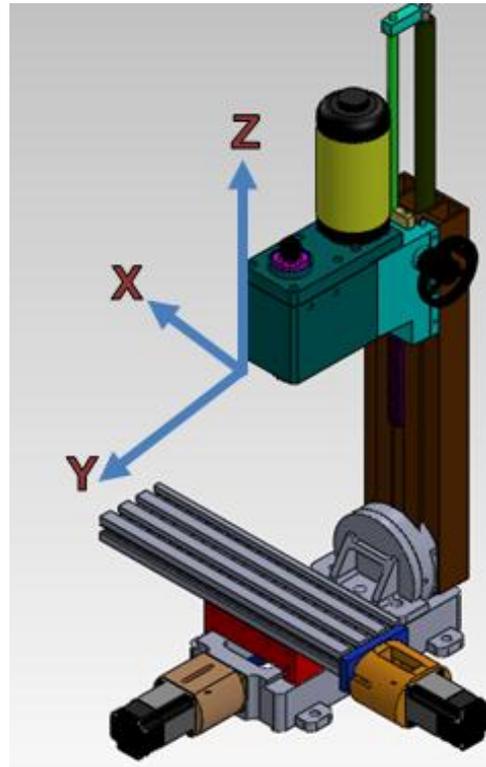


# ***CAPÍTULO II***

## ***DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO DEL PROTOTIPO DE FRESADORA VERTICAL DE 5 EJES CNC***



# *DISEÑO DE LA ESTRUCTURA INICIAL*



# PARÁMETROS DE DISEÑO

***Se optó por una fresadora vertical con quinto eje A***

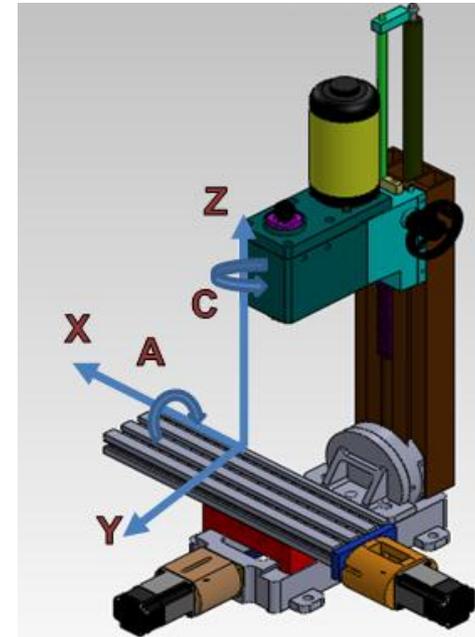
***Recorrido en el eje X: 140 mm.***

***Recorrido en el eje Y: 86 mm.***

***Recorrido en el eje Z: 215 mm.***

***Recorrido en el eje A:  $\pm 90^\circ$ .***

***Recorrido en el eje C:  $\pm 360^\circ$ . (Infinito)***



# CÁLCULO DE LA FUERZA DE CORTE, POTENCIA DE CORTE Y CARGAS EN LOS EJES

## FUERZA DE CORTE:

$$F_C = k_S \times A_C = 375 \text{ [N]}$$

## POTENCIA DE CORTE:

$$P_C = F_C \times V_C = 1000 \text{ [W]} \approx 1.34 \text{ HP}$$

## CARGAS ESTÁTICAS SOBRE LOS EJES:

$$L_Z = 595.6 \text{ [N]}$$

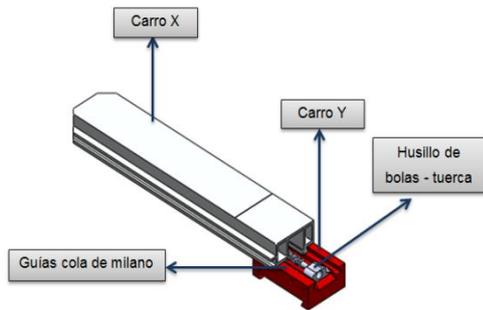
$$L_A = 462.07 \text{ [N]}$$

$$L_C = 378.53 \text{ [N]}$$

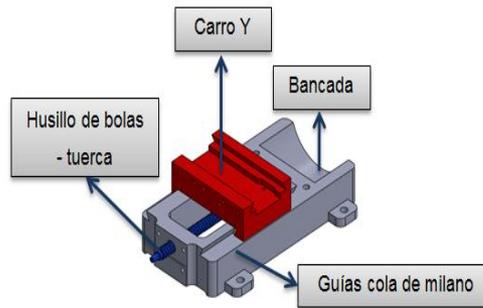


# SISTEMA MECÁNICO PARA EL PROTOTIPO DE FRESADORA VERTICAL DE 5 EJES

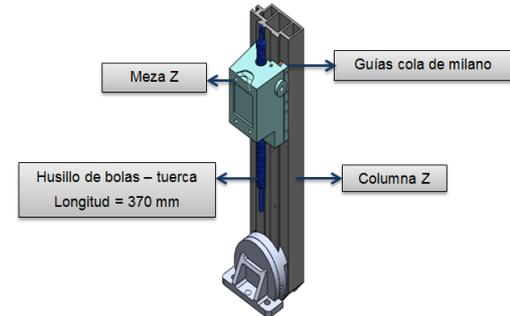
## EJE X



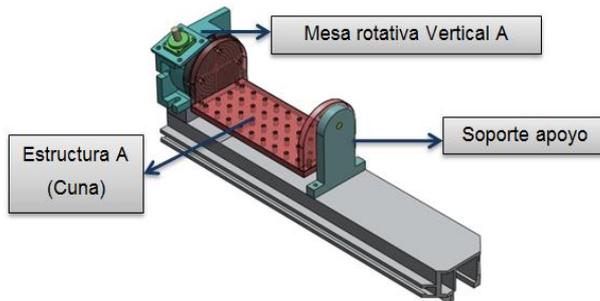
## EJE Y



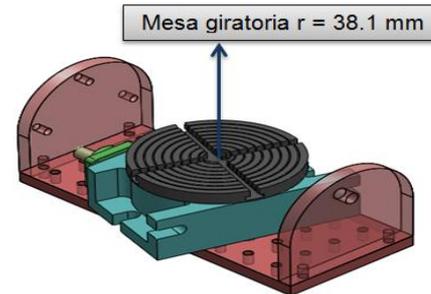
## EJE Z



## EJE A



## EJE C



# MECANISMO DEL EJE Z

## HUSILLO ROSCADO DE BOLAS

**Material:** Acero plata (AISI-410)

**Limite elástico:** 276 MPa

**Factor de seguridad:** 3

**Esfuerzo de diseño :** 92 MPa

$$\sigma' < \sigma_d$$

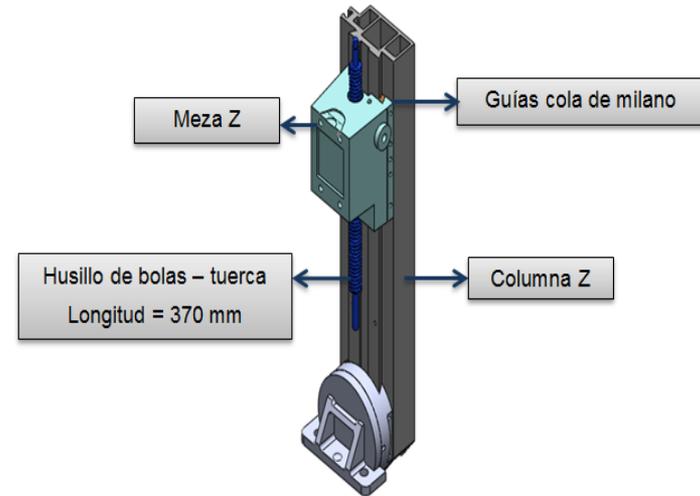
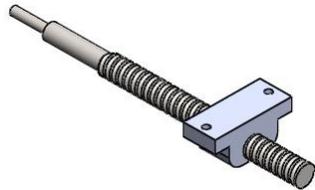
$$S = M / \sigma_d$$

$$M = 53162.65 \text{ N-mm}$$

$$S = 578 \text{ mm}^3$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}}$$

$$D = 18 \text{ mm}$$

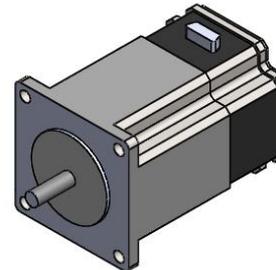


$$T_{tot} = r * T_E + T_D$$

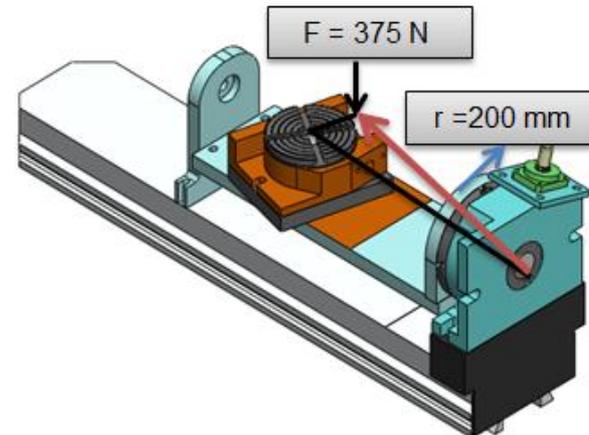
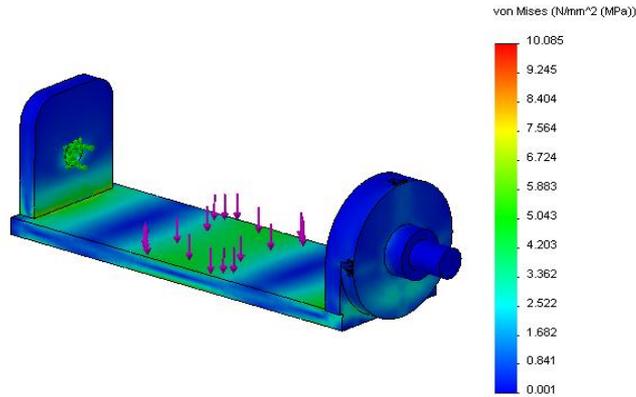
$$T_E = 0,186 \text{ Nm}$$

$$T_D = 0,090 \text{ Nm}$$

$$T_{tot} = 0,276$$



# MECANISMO DEL EJE A



**Material:** Aleación de Aluminio 5052-H34

**Limite elástico:** 10,085 MPa

**Factor de seguridad:** 3

**Esfuerzo de diseño :** 92 MPa

$$\sigma' < \sigma_d$$

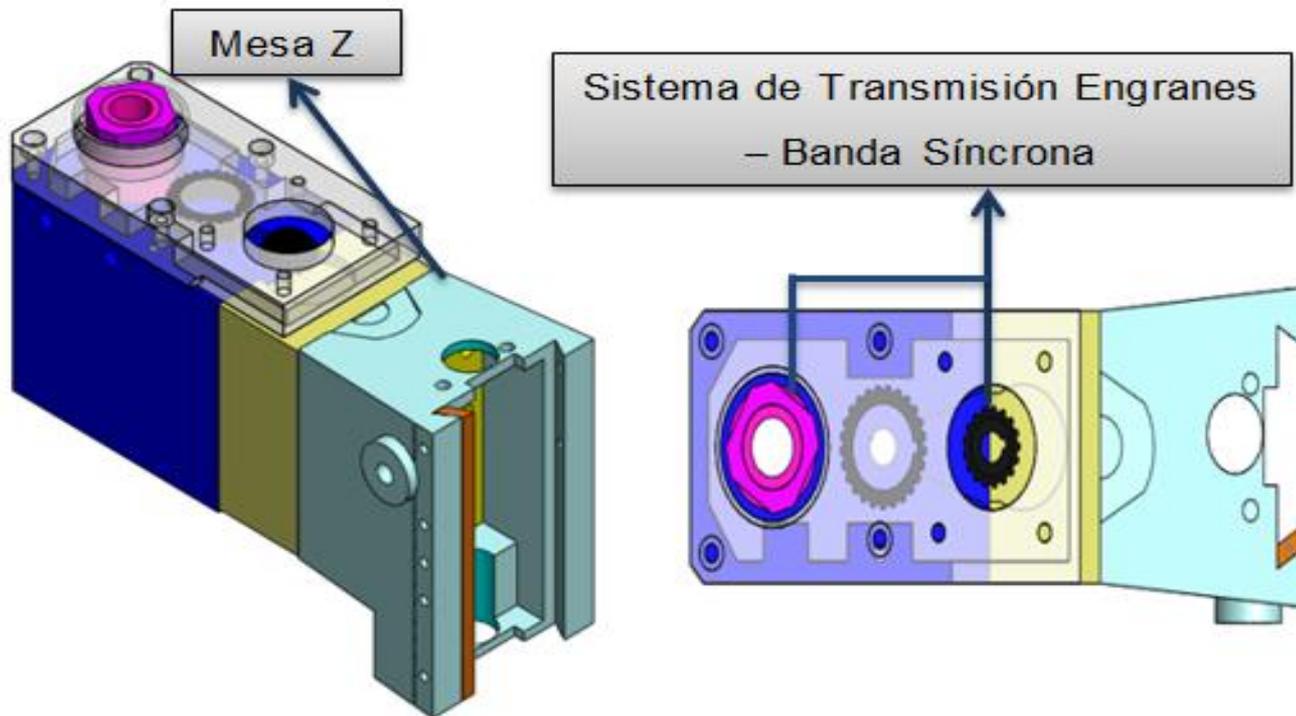
$$10 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa}$$

$$i = \frac{e_1}{Z_2} = \frac{T_i}{T_o}$$

$$Z_2 = \frac{e_1}{i} = \frac{1}{0.027} = 37 \text{ Dientes}$$



# MECANISMO DEL CABEZAL FRESADOR

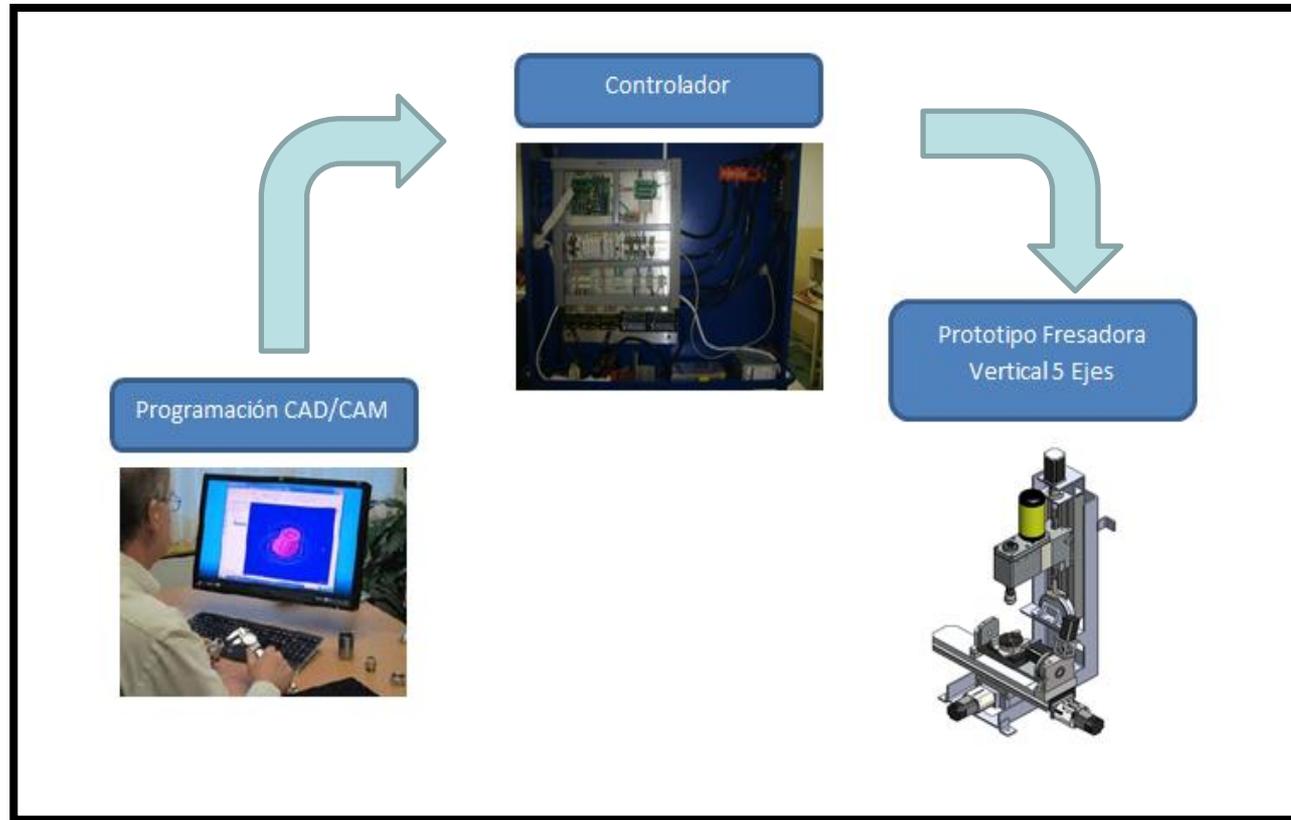


# ***CAPÍTULO III***

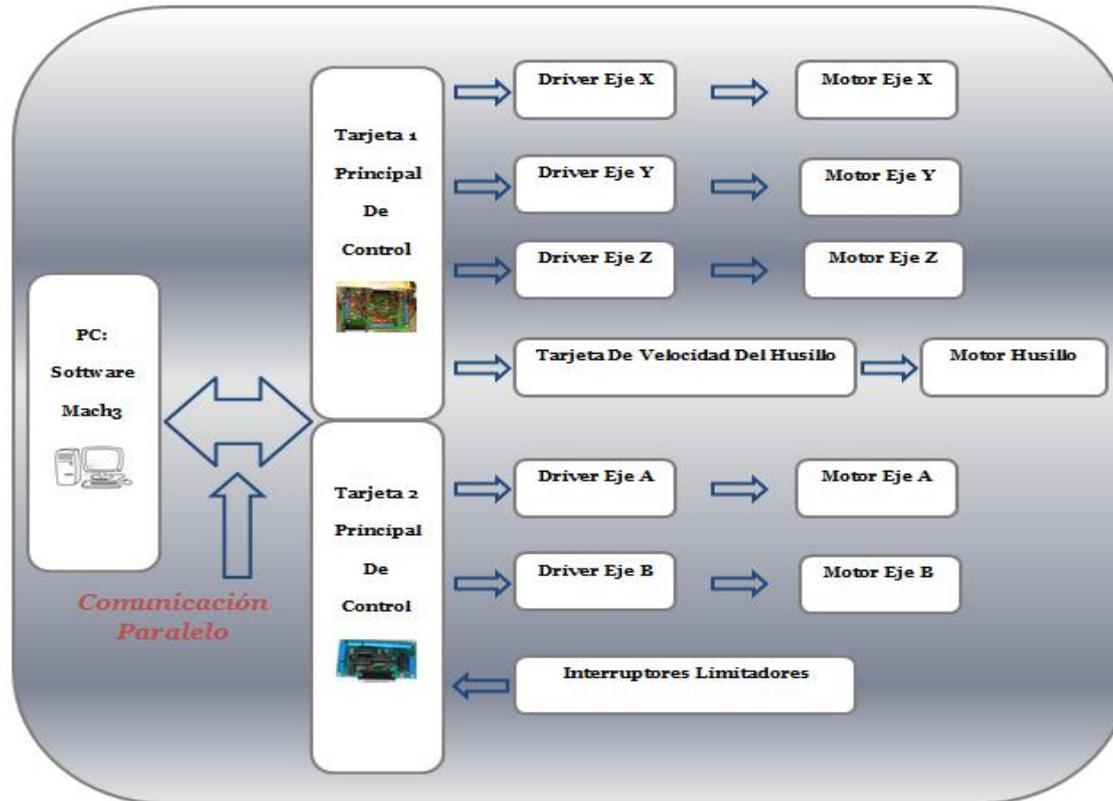
## ***DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL PROTOTIPO.***



# ESQUEMA GENERAL DE CONTROL

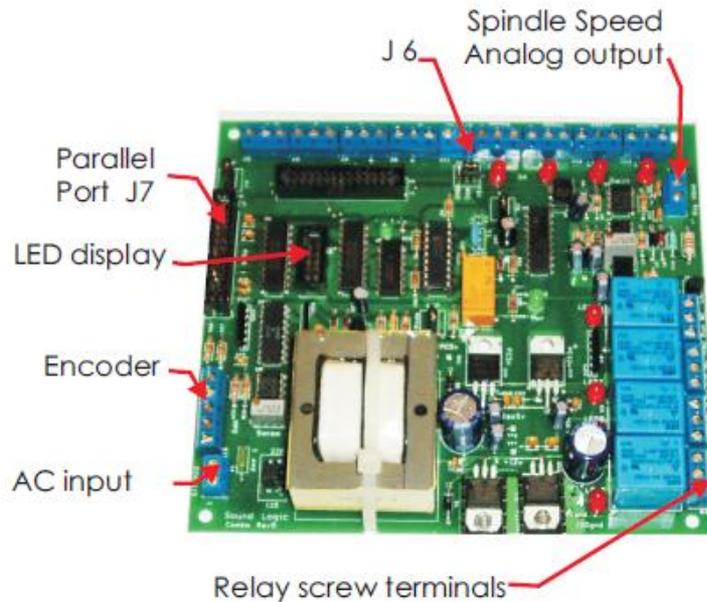


# DIAGRAMA DE BLOQUES DE LAS TARJETAS ELECTRÓNICAS.

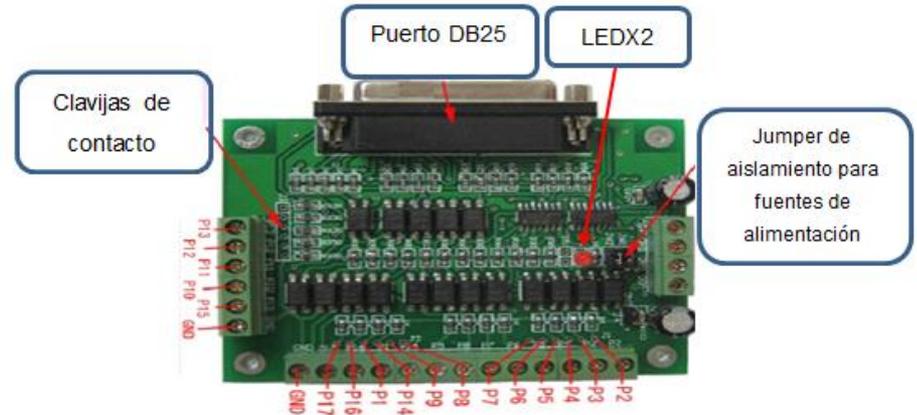


# TARJETAS CNC

## COMBO BOARD REV.5



## CNC-DB25



# DRIVES DE CONTROL PARA MOTORES A PASOS

## GECKO DRIVER G202



RANGO DE OPERACIÓN DE VOLTAJE: (24 - 80) VDC

RANGO DE OPERACIÓN DE  
CORRIENTE: (1- 7) A

PROTEGIDA CONTRA CORTOCIRCUITOS DE LOS  
BOBINADOS DEL MOTOR

## DRIVER KL-4030



RANGO DE OPERACIÓN DE VOLTAJE: (20 - 40) VDC

RANGO DE OPERACIÓN DE  
CORRIENTE: (0,9 - 3) A

PROTEGIDA CONTRA CORTOCIRCUITOS,  
SOBRECARGA Y SOBREPASO DE TEMPERATURA.



# ELEMENTOS ELÉCTRICOS DE CONTROL

## FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Fuente	Voltaje de entrada VAC	Voltaje de salida VDC	Corriente de funcionamiento DC	Observaciones
1	110	48	15A	Existente No regulado
2	110	±5	150mA	Existente Bipolar No regulado
3	110	36	10A	Marca WFINTR  no regulado
4	110	5	150mA	no regulada

## Elementos de protección eléctrica.

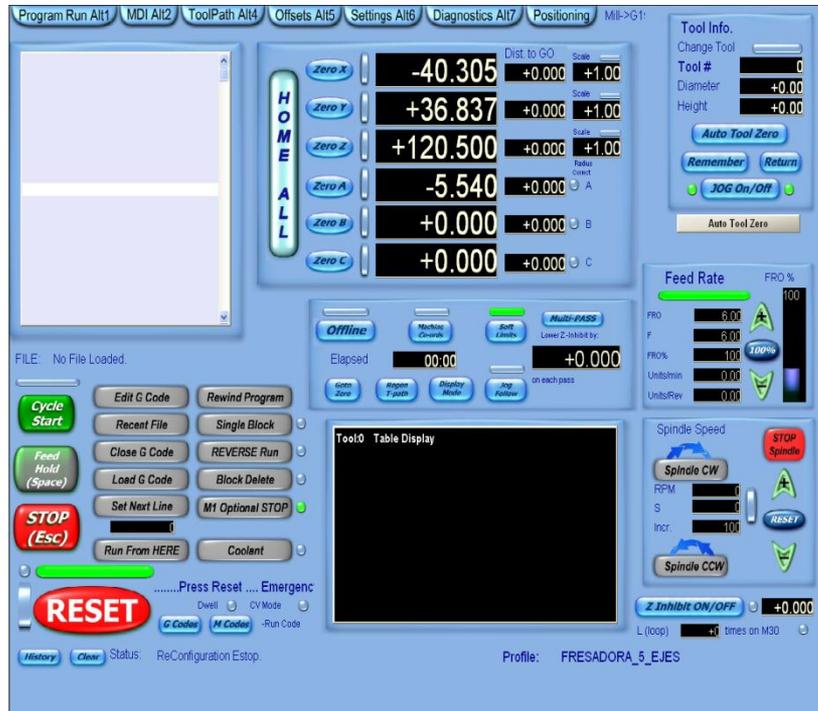
Elemento	Cant.	Corriente [A]	Observación
Fusibles	6	4	Valor estándar
Porta fusibles	6	32	Valor estándar
Interruptor magneto-térmico	1	32	Valor estándar

## ELEMENTOS ELÉCTRICOS DE CONTROL

Elemento	Cant.	Vi [V]	Corriente en contactos [A]	Estado de los contactos	Observación
Pulsadores	2		Hasta 10	NC, NO	
Relés	4	110 VAC	Hasta 10	NC, NO	4 contactos por relé
Interruptor	1		Hasta 10	NC, NO	Tipo hongo
Lámparas	3	110 VAC	Hasta 10		Una verde, una roja, una naranja
Finales de carrera	8	5 VDC	Hasta 10	NC, NO	Mecánicos



# SOFTWARE DE CONTROL MACH3



- **Convierte un PC estándar a un control de CNC de 6 ejes con todas las funciones**
- **Permite la importación directa de DXF, BMP, JPG y archivos HPGL través LazyCam**
- **Pantalla Gcode Visual**
- **Genera Gcode través LazyCam o Wizards**
- **Interfaz completamente personalizable**
- **Personalizable códigos M y macros con VBScript**

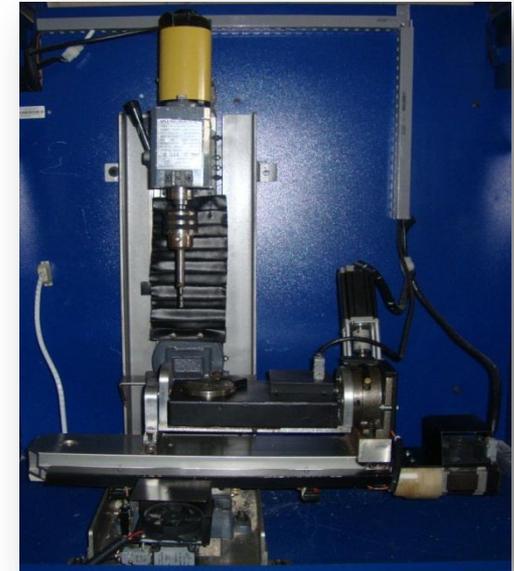
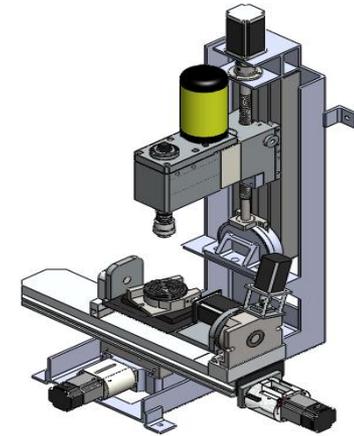
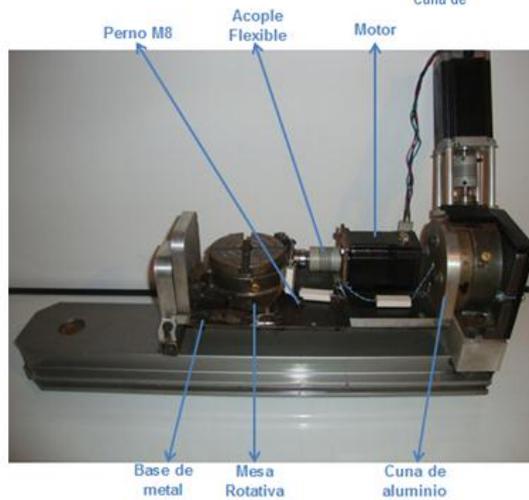
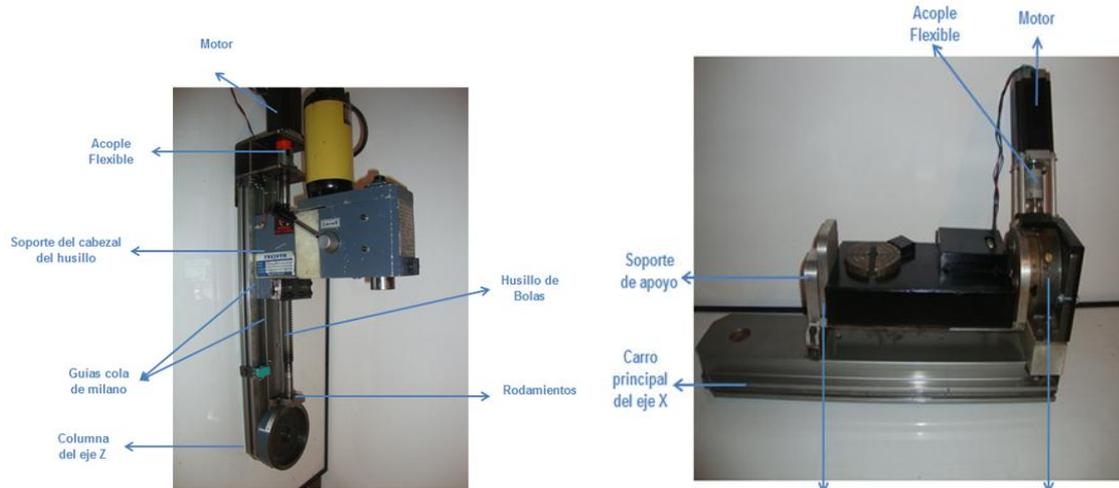


# *CAPÍTULO IV*

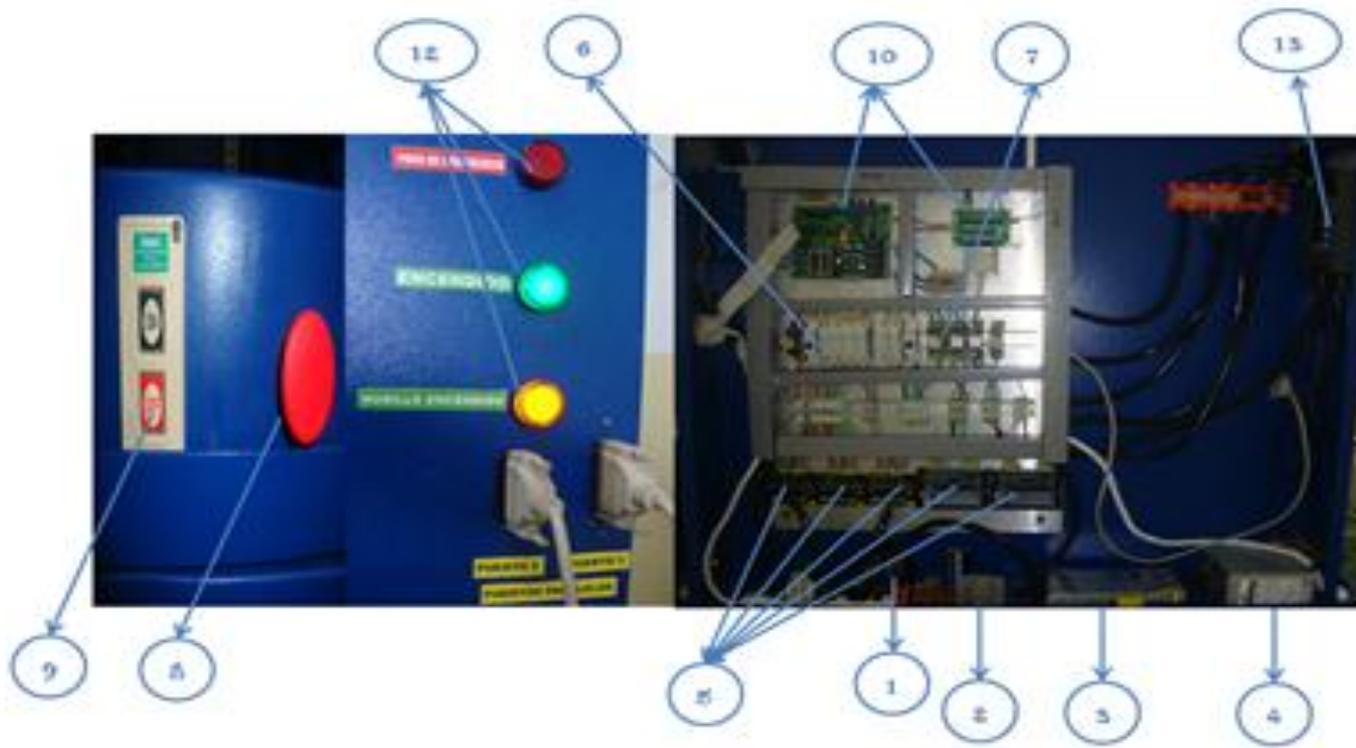
## *IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA.*



# Implementación del sistema mecánico



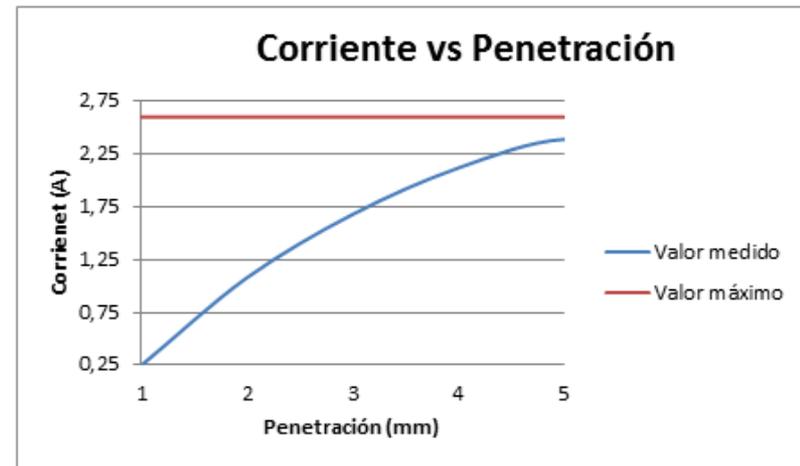
# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL



# ANÁLISIS DE CORRIENTE EN LOS MOTORES DE LOS EJES



Profundidad [mm]	1	2	3	4	5
Corriente Medida (I) [A]	0.25	1.08	1.68	2.12	2.39



# PRUEBAS DE PRECISIÓN Y RESOLUCIÓN EN EL FRESADO POSICIONAL DE 5 EJES

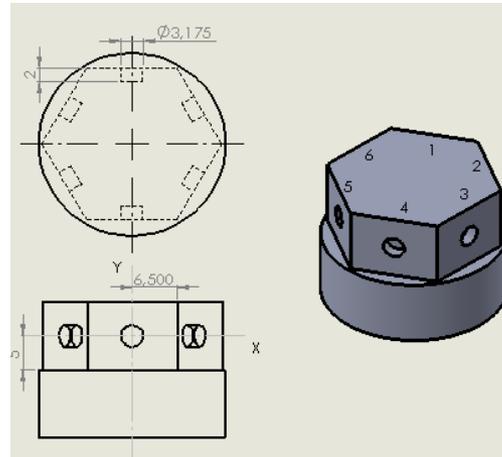


En esta prueba se obtuvo que la resolución y precisión son iguales y con un valor de 0.0323mm, esto quiere decir que la máquina está dentro de los parámetros de diseño ya que para máquinas CNC se tiene una precisión de 0,04 mm

Fresado						
No. Muestras	Medidas tomadas					
	Lado 1 mm	Lado 2 mm	Lado 3 mm	Lado 4 mm	Lado 5 mm	Lado 6 mm
1	13.07	12.95	13.08	12.97	13.03	12.97
2	13.08	12.98	13.05	12.99	13.04	12.95
3	12.99	13.05	13.03	13.05	13.06	13.06
4	13.02	13.07	13.06	13.03	13.09	13.02
5	13.03	13.06	12.98	13.07	13.08	13.06
Promedio	13.038	13.022	13.04	13.022	13.06	13.012
Promedio total					13.0323	

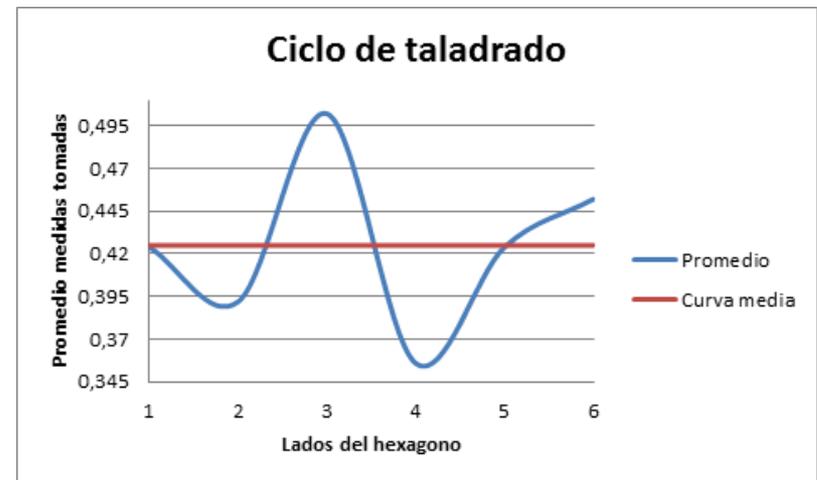


# PRUEBAS DE PRECISIÓN Y RESOLUCIÓN EN EL TALADRADO



**Eje "C"**  
**Resolución de 0.0425 °**  
**Precisión de 0.146°**

Ciclo de Taladrado						
No. Muestras	Medidas tomadas					
	0°-60° (°)	60°-120° (°)	120°-180° (°)	180°-240° (°)	240°-300° (°)	300°-360° (°)
1	0,5	0,51	0,40	0,20	0,45	0,41
2	0,39	0,31	0,65	0,50	0,34	0,40
3	0,36	0,41	0,39	0,29	0,50	0,51
4	0,40	0,35	0,58	0,38	0,39	0,52
5	0,47	0,38	0,49	0,41	0,44	0,42
Promedio	0,424	0,392	0,502	0,356	0,424	0,452
Promedio total	0,425					

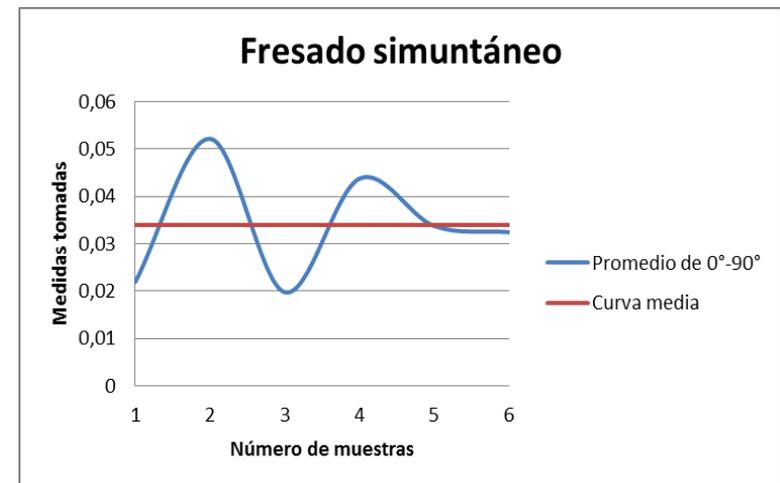


# PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL FRESADO SECUENCIAL CON 5 EJES.



**Ejes "A"**  
**Resolución de 0.034 °**  
**Precisión de 0.034°**

Fresado Simultáneo						
No. Muestras	Medidas tomadas					
	0°-15° (°)	0°-30° (°)	0°-45° (°)	0°-60° (°)	0°-75° (°)	0°-90° (°)
1	0,028	0,05	0,019	0,045	0,030	0,025
2	0,015	0,055	0,020	0,040	0,035	0,035
3	0,02	0,045	0,025	0,050	0,040	0,045
4	0,025	0,059	0,015	0,040	0,030	0,050
Promedio	<b>0,022</b>	<b>0,0522</b>	<b>0,0198</b>	<b>0,0438</b>	<b>0,0338</b>	<b>0,0325</b>
Promedio total	<b>0,034</b>					



# ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	P.UNIT	TOTAL
1	Fresadora Vertical	1	2000	2000
2	Husillos a bolas	3	150	450
3	Motores a pasos	5	400	2000
4	Servo Drivers	5	250	1250
5	Tarjeta lectora de códigos G	2	400	800
6	Fuente de CC	1	280	280
7	Material Eléctrico	1	300	300
8	Material Mecánicos	1	500	500
5	Carcasa y Mesa	1	250	250
6	Mano de obra	2	2500	5000
			<b>Total</b>	<b>\$12830</b>

PROTOTIPOS DE  
FRESADORAS  
VERTICALES DE 5 EJES  
EN EL EXTERIOR  
**\$25525**

Costo beneficio  
**\$ 12695**



# VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

*¿Se podría diseñar y construir un prototipo de fresadora vertical CNC de 5 ejes para el laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga?*

*Se pudo diseñar e implementar el prototipo de fresadora vertical CNC de 5 Ejes con la ayuda del laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga; este proyecto será útil en prácticas didácticas para fresado de superficies complejas de manera posicional o simultaneo para estudiantes de la institución.*



# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



# CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un Prototipo de Centro de Mecanizado Vertical CNC de 5 ejes para el laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas-Espe Extensión Latacunga, partiendo de un prototipo de fresadora vertical de 3 ejes y con la ayuda de las máquinas CNC existentes en el laboratorio.
- Para el diseño mecatrónico se recopiló información sobre el funcionamiento y operación de fresadoras y prototipos de fresadoras de 5 ejes de Control Numérico Computarizado, siendo posible el contacto con algunas personas del extranjero de páginas web como Hossmachine de EE.UU y Alex-Portaherramientas de España.
- Se diseñó el sistema mecatrónico con los parámetros de funcionamiento planteados para el prototipo y con ayuda de software de diseño SolidWorks 2012 se pudo realizar análisis de esfuerzos estáticos y ver las propiedades físicas de los elementos mecánicos del prototipo.
- Se seleccionó los elementos para el sistema mecatrónico dependiendo de los valores de cálculo del diseño, la manufactura existente en el mercado y el costo de los elementos siendo estos muy elevados en el mercado nacional por lo que se optó por adquirirlos en el extranjero a un precio razonable.
- El control de la máquina se lo realizó mediante software (Mach3), el mismo que trabaja conjuntamente con dos tarjetas principales (Combo Board) y (DB25); debido a sus bajos costos para satisfacer las necesidades del diseño del prototipo de fresadora vertical CNC de 5 ejes, obteniendo a la final un HMI.
- Se realizó pruebas de funcionamiento y mecanizado para analizar los resultados y encontrar valores de resolución y precisión de prototipo, obteniendo los siguientes resultados: en un fresado de 4 ejes la resolución y precisión son iguales a 0.0323mm, en tanto que para los ejes rotativos para un fresado de 5 ejes estos valores cambian; para el eje "C" la resolución es de 0.425° y una precisión de 0.146°, y el eje "A" presenta una resolución y precisión igual a 0.034°.
- Con la implementación de este sistema automático de fresadora vertical CNC de 5 ejes, los docentes y estudiantes de las diferentes carreras de la ESPE-L, pueden hacer uso de la máquina en el laboratorio CNC, para prácticas relacionadas con las asignaturas de FMS y CAD/CAM, con el fin de que puedan lograr una mayor comprensión acerca de este tema.



# RECOMENDACIONES

- Implementar un cambio automático de herramientas.
- Implementar un controlador por hardware de 5 ejes para el presente prototipo de fresadora vertical CNC.
- Cambiar las mesas rotativas actuales por otras de mayor resolución y precisión para obtener mejores resultados en el mecanizado de piezas complejas.
- En proyectos a gran escala se recomienda utilizar un controlador que sea hardware ya que en software se puede producir interferencia en la comunicación.
- Verificar de forma regular los parámetros de configuración o calibración del fresadora vertical CNC de 5 ejes dentro del software Mach3 sección 4.2.4, con el fin de arreglar algún tipo de desconfiguración que se haya dado, además para obtener los mejores resultados de mecanizado posibles.
- Antes de operar la máquina se deben conocer sus características técnicas, tales como: recorridos de los ejes, velocidades máximas del husillo, materiales que se pueden mecanizar, etc., para lo cual se recomienda leer primero el manual de operación del mismo que se encuentra en el ANEXO J.



GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN



**E S P E**  
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CAMINO A LA EXCELENCIA