

Conversión de un torno convencional a uno por Control Numérico Computarizado (Conversion of a conventional lathe one by computer Numerical Control Converting)

Alvaro Mena, Fausto Acuña

Departamento de Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

Latacunga, Ecuador

afmena1@espe.edu.ec

fvacunía@espe.edu.ec

Resumen— En este artículo se presenta una investigación sobre la conversión de un torno convencional a uno por Control Numérico Computarizado para el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga. En esta máquina se pueden mecanizar piezas con relativa complejidad como máquina CNC y torneados sencillos como máquina convencional, sin emplear dos máquinas por separado.

Para su implementación se partió de la estructura de un torno paralelo convencional, al cual se rediseño para incrementar los mecanismos que permitan convertirla en un torno CNC; cada eje está provisto de husillo de bolas, accionado por servomotores, controlados por servodrivers y programado su movimiento de velocidad y posición mediante un controlador, el cual interpreta códigos geométricos o "Códigos G", que fueron generados en CAM, producto de un diseño CAD, utilizando la tecnología CAD/CAM, para el mecanizado de piezas, asistido por computador, estableciéndose de esta manera una Interfaz HombreMáquina.

El Torno convencional/CNC es una contribución para la industria Ecuatoriana, ya que con ello se pudo demostrar que se puede fabricar máquinas híbridas, asistidas por computador, con tecnología y técnicos nacionales; además servirá como material didáctico para que alumnos y docentes se especialicen en la manufactura computarizada y en la automatización de maquinaria industrial.

Abstract— This article presents a research on the conversion of a conventional lathe one by computer numerical Control for the ESPE Extension Latacunga CNC lab. This machine can be machined parts with relative complexity as CNC machine and turning simple as machine, without using two machines separately.

For its implementation, he left the structure of a conventional lathe, which is redesigned to increase the mechanisms that allow to turn it into a CNC lathe; each axis is equipped with ball screw, driven by servo-motors, controlled by servodrivers and programmed their movement speed and position via a controller, which performs geometric codes or "Code G", which were generated in CAM, product of a CAD design, using CAD/CAM technology, for the machining of parts, assisted by computer, thus establishing a man machine interface.

The conventional/CNC lathe is a contribution to the industry Ecuadorian, since it could be demonstrated that hybrid machines, assisted by computer, with technology can be manufactured and national technical; It will also serve as teaching material so that students and teachers specialize in computer manufacturing and automation of industrial machinery.

Palabras clave - Control numérico computarizado; husillos de bolas; servomotor; controlador; servodrives; tecnología CAD/CAM.

I. INTRODUCCIÓN

El control numérico computarizado (CNC), es un sistema que permite controlar en todo momento la posición de un elemento físico, normalmente una herramienta que está montada en una máquina. Esto quiere decir que mediante un software y codificados alfanuméricos, controlaremos las coordenadas de posición de un punto (la herramienta) respecto a un origen, los parámetros de entrada, tales como profundidad de corte, la velocidad, encendido y apagado del mandril o cabezal, etc. [1]

Sistemas CAD/CAM, es un proceso en el cual se utilizan los ordenadores o computadores para mejorar la fabricación, desarrollo y diseño de los productos. Estos pueden fabricarse más rápido, con mayor precisión y a menor precio, con la aplicación adecuada de tecnología informática. [2]

Diseño Asistido por Computador (C.A.D.), se puede definir como el uso de sistemas informáticos en la creación, modificación, análisis u optimización de un producto y para la fabricación se emplea C.A.M. (Manufactura Asistida por Computador), es el uso de sistemas informáticos para la planificación, gestión y control de las operaciones de una planta de fabricación mediante una interfaz directa o indirecta entre el sistema informático y los recursos de fabricación. [3] Un torno CNC es un tipo de máquina herramienta que realiza procesos de mecanizado mediante un software de computadora que utiliza datos alfanuméricos (Códigos G), siguiendo los ejes cartesianos X, Z. [4]

Los ejes X, Z, pueden desplazarse simultáneamente en forma intercalada, dando como resultado mecanizados de piezas sencillas o complejas de gran precisión. El lazo de control numérico se realiza mediante un controlador que utiliza números, letras y otros símbolos, por ejemplo, los llamados códigos G (movimientos y ciclos fijos) y M (funciones auxiliares), están codificados en un formato apropiado para definir un programa de instrucciones y desarrollar una tarea concreta. Cuando la tarea en cuestión varía se cambia el programa de instrucciones.

Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados. Estos sistemas se usan típicamente en sustituir un trabajador pasivo que controla un determinado sistema (ya sea eléctrico, mecánico, etc.) con una posibilidad nula o casi nula de error. [5]

II. DISEÑO DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DEL TORNO

A. Parámetros de Diseño

Se parte de la estructura del torno PINACHO SP 200R*1000, existente en el Laboratorio CNC, Fig. 1.

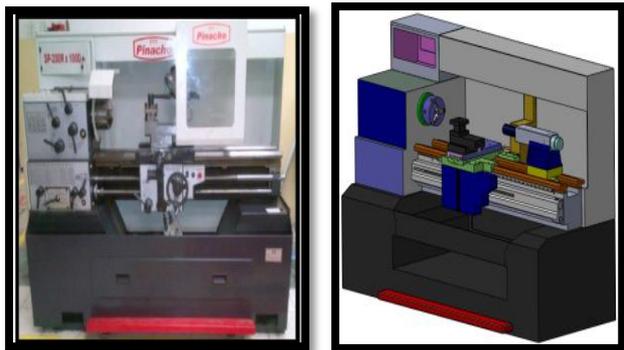


Fig. 1. Torno PINACHO SP 200R*1000

Dentro de los parámetros de diseño mecánico se analizan las características del torno convencional, para verificar si la máquina posee o no los requerimientos necesarios para convertirla en una CNC.

Los recorridos de acuerdo a las especificaciones técnicas del torno convencional son:

Recorridos eje X=200 mm.; eje Z=1000mm.

Rendimiento Máquina: 0.84%
 Potencia de la máquina: 4kw * 0.84 = 3.36Kw
 Avances longitudinales: 0.05-0.5mm

Y la fuerza de corte está dada bajo la siguiente curva, Fig.2: [6]

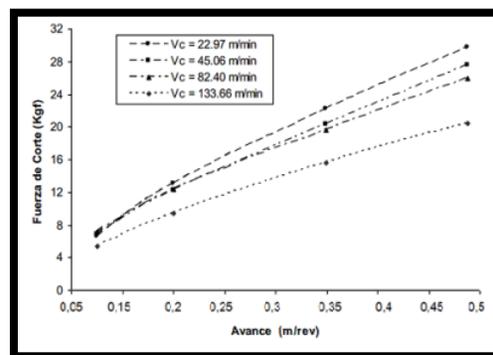


Fig. 2. Gráfica de fuerza de corte.

Los materiales a mecanizar serán duros como el acero templado, acero inoxidable, acero de transmisión, y blandos como el aluminio, cobre, bronce, etc., con velocidad de corte 25 m/min para el caso de acero.

B. Comprobación de la potencia del motor del cabezal

Se calcula fuerza de corte necesaria para realizar el diseño del torno

$$F_c = k_s * s * a \quad (1)$$

Donde, para el caso del acero inoxidable, la presión específica de corte (k_s) es 225 N/mm², el avance de corte (f) para el desbastado es 0.5 mm y la profundidad de corte (a) es 2 mm.

$$F_c = 225 * 0.5 * 2$$

$$F_c = 225 [N]$$

La potencia de mecanizado será:

$$P_M = \frac{V_c * F_c}{6,12 * 10^3 * \eta} \quad (2)$$

$$P_M = \frac{35 * 225}{6,12 * 10^3 * 0.84} \cong 1,6 [kW]$$

C. Diseño del sistema mecánico para movimiento del eje X.

El mecanismo de movimiento para el eje X el cual se conservó original del torno convencional, con la única variación del remplazo del tornillo transversal por un husillo de bolas, Fig. 3

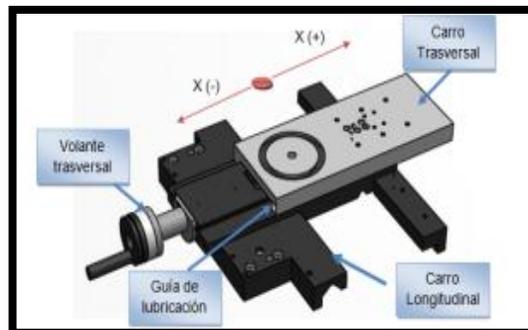


Fig. 3. Mecanismo de movimiento del eje X

$$L_x = W_x + F_c \quad (3)$$

$L_x = F_{\text{totalsobre eje x}}$ = Fuerza resultante de la sumatoria del peso de la carga externa para el eje X y la fuerza de corte.

W_x = Carga externa para el eje X.

F_c = Fuerza de corte

Donde: $L_x = (m_{\text{estructura}} + m_{\text{cargaexterna}}) * g + F_c$

$$L_x = (55,8kg + 10kg) * \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right) + 225 N = 870.6 N$$

D. Diseño del sistema mecánico para el movimiento del eje Z.

Con particular semejanza que el mecanismo de movimiento transversal, en el eje Z también se mantiene el sistema de movimiento longitudinal se observa en la Fig.4, que debe soportar la fuerza L_z .

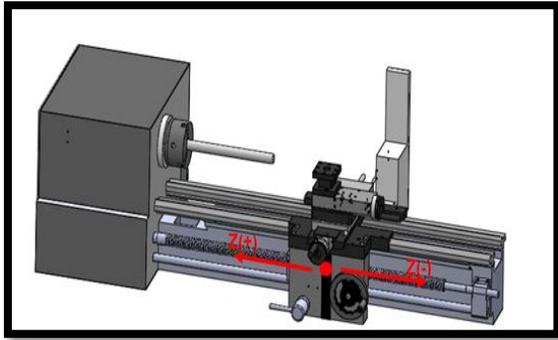


Fig. 4. Mecanismo de movimiento para el eje Z

L_z = Fuerza resultante de la sumatoria del peso de la estructura del eje Y, la estructura del eje X y de la fuerza de corte, que actúa sobre el eje Z.

W_y = Es el peso de la estructura del eje Y más un peso externo de 49 N.

W_x = Es el peso de la estructura del eje X.

$$L_z = W_y + W_x + F_c \quad (4)$$

$$L_z = (m_{\text{estructura}} + m_{\text{servomotor}} + m_{\text{soporte}}) * g + (m_{\text{estructura}}) * g + F_c$$

$$L_z = 1684 N$$

E. Cálculo del torque para las estructura del eje X.

El torque total (T_{tot}) que debe proporcionar el motor para el movimiento del husillo, viene dado por:

$$T_{tot} = TE + TD \quad (5)$$

Dónde: TE=Par Estático (Nm); TD=Par Dinámico (Nm); r = Relación de Poleas.

$$T_E = 0.4Nm + 0 + 0.08Nm = 0.5Nm$$

$$T_D = 9100 \frac{rad}{s^2} * 1.56 * 10^{-4} \frac{kg}{m^2} = 1,3Nm$$

Por último de la ecuación 13 se obtiene el torque total (T_{tot}):

$$T_{tot} = 0.5Nm + 1.3Nm = 1.8Nm$$

La potencia necesaria será:

$$P = \frac{F_A * n * Ph}{6000 * n_p} \quad (6)$$

$$P = \frac{402 [N - m] * 2500 * 5}{6000 * 0.83} = 0.15Kwatt$$

Aplicando un factor de servicio N=1.5 tenemos:

$$T_{MOTOR} = T_{tot}N = 0.15Kwatt * 1.5 = 0.25Kwatt$$

F. Cálculo del torque para las estructura del eje Z.

El torque total (T_{tot}) que debe proporcionar el motor para el movimiento del husillo, viene dado por:

$$T_{tot} = TE + TD$$

Dónde: TE=Par Estático (Nm); TD=Par Dinámico (Nm); r = Relación de Poleas.

$$T_E = 1.6Nm + 0 + 0.64Nm \cong 2.3Nm$$

$$T_D = 9100 \frac{rad}{s^2} * 3 * 10^{-3} \frac{kg}{m^2} = 27.3Nm$$

Por último de la ecuación 13 se obtiene el torque total (T_{tot}):

$$T_{tot} = 2.3Nm + 27.3Nm \cong 30Nm$$

La potencia necesaria será:

$$P = \frac{F_A * n * Ph}{6000 * n_p}$$

$$P = \frac{800 [N - m] * 2500 * 10}{6000 * 0.83} = 0.5Kwatt$$

Aplicando un factor de servicio N=1.5 tenemos:

$$T_{MOTOR} = T_{tot} * N(7)$$

$$T_{MOTOR} = 0.5Kwatt * 1.5 = 0.75Kwatt$$

G. Selección del husillo de bolas para los ejes X,

Para el diseño se consideró el eje X, debido a que soporta mayor carga, se utilizó la fuerza calculada $L_X = 876N$

Si se considera un factor de seguridad N = 1.5; material para el eje AISI- SAE 4210 ($S_y = 276 MPa$).

De la ecuación 4, el esfuerzo de diseño máximo será:

$$\sigma' < \sigma_d = S_y / N \quad (9)$$

$$\sigma_d = 276MPa / 1.5 = 184MPa$$

Del análisis de fuerzas y el diagrama de momentos se tiene que $M = 117228N \cdot mm$, por tanto el valor del módulo de la sección transversal, según la ecuación 5, será:

$$S = M / \sigma_d(10)$$

$$S = 117228Nmm / 184 MPa; S = 716 mm^3$$

El diámetro del eje deberá ser:

$$D = \sqrt[3]{32S / \pi} \quad (11)$$

$$D = \sqrt[3]{32 * (716mm^3) / \pi}; D \cong 20 mm.$$

H. Selección del husillo de bolas para el eje Z.

Para el diseño se utiliza la fuerza $LZ = 1684N$. Si se considera un factor de seguridad $N = 1.5$; material para el eje AISI- SAE 4210 ($S_y=276 MPa$).

De la ecuación 4, el esfuerzo de diseño máximo será:

$$\sigma' < \sigma_d = S_y/N ; \sigma_d = 276MPa / 1.5 = 184MPa$$

Del análisis de fuerzas y el diagrama de momentos se tiene que $M = 605544N\cdot mm$, por tanto el valor del módulo de la sección transversal, según la ecuación 5, será:

$$S = M/\sigma_d; = 607544Nmm/184 MPa; S=3305mm^3$$

El diámetro del eje deberá ser:

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

$$D = \sqrt[3]{32*(3305mm^3) / \pi}; D \cong 34 mm.$$

I. Diseño del mecanismo para el trabajo en modo CNC del eje X.

Debido a que se debe adaptar el servomotor el cual será el encargado de dar movimiento al eje transversal, se vio en la necesidad de diseñar un soporte en el cual se ubique dicho motor junto a los mecanismos adecuados para su desempeño, Fig. 5.

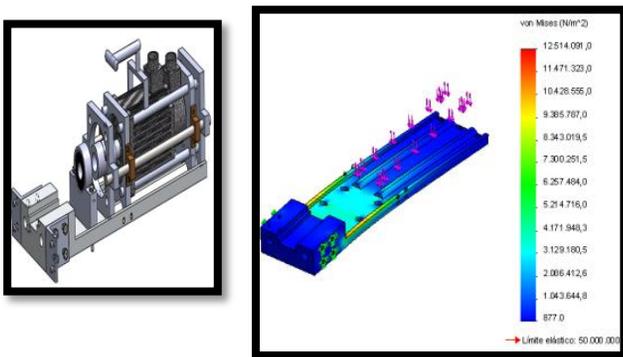


Fig.5. Mecanismo y escala de tensiones según el criterio de Von Mises

$$\sigma' < \sigma_d = \frac{S_y}{N} ; \sigma_d = 90MPa/1.5 = 60 MPa$$

En la Fig. 5 se observa la escala de Von Mises, donde el esfuerzo máximo es de 12.51MPa y el esfuerzo de diseño es igual a 60MPa cumpliendo:

$$\sigma' < \sigma_d; 12,51 MPa < 60 MPa$$

J. Diseño del mecanismo para el trabajo en modo CNC del eje Z.

Se debe adaptar un servomotor el cual será el encargado de dar movimiento al eje longitudinal, es por lo que se diseñó un soporte en el cual se ubique dicho servomotor junto a los mecanismos adecuados para su desempeño, Fig. 6

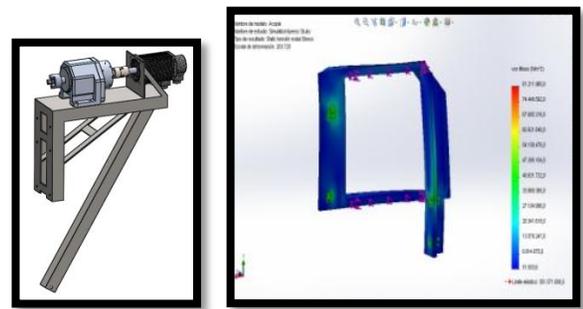


Fig. 6. Mecanismo y escala de tensiones según el criterio de Von Mises

Si se considera un factor de seguridad $N = 1.5$, el esfuerzo de diseño máximo es:

$$\sigma' < \sigma_d = \frac{S_y}{N}; \sigma_d = 205MPa/1.5 = 136.67 MPa$$

En la Fig. 2.8, se observa la escala de Von Mises, donde el esfuerzo máximo es de 82 MPa y el esfuerzo de diseño es igual a 136.67 MPa, cumpliendo:

$$\sigma' < \sigma_d; 82 MPa < 136.67 MPa$$

III. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

A. Parámetros de Diseño

Para el diseño del sistema de control se consideró los dos modos de operación: como torno CNC; en cada uno de ellos se debe tomar en cuenta el número de ejes a controlar para que cumplan las funciones específicas.

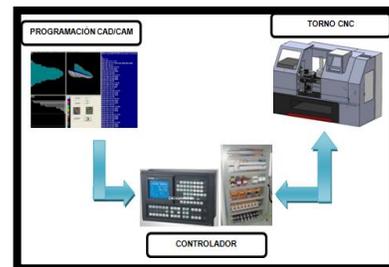


Fig.7. Esquema general de control.

La Fig. 7 muestra el esquema general del control, que consiste en programar el trabajo a mecanizar mediante CAD/CAM, el controlador se encargará de acondicionar y amplificar las señales digitales producto del programa y convertirlas en analógicas para el control de velocidad y posición de los actuadores del torno, finalmente la máquina se encargará de mecanizar el trabajo encargado en forma automática.

B. Diseño del controlador con software

La Fig. 8 describe mediante diagrama de flujo las etapas de control del torno.

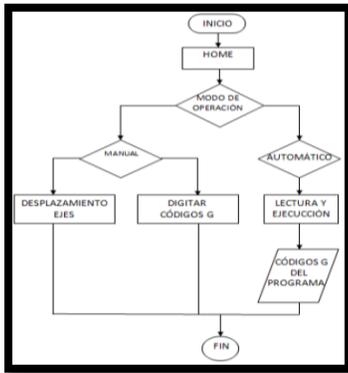


Fig.8. Diagrama de flujo del software

El controlador tiene que satisfacer las necesidades del diagrama de flujo el cual puede ser mediante software o hardware, para esta aplicación se elige software con una tarjeta interpretadora de códigos “G”, por su bajo costo.

El diseño del software tiene que ser amigable y eficaz al usuario, ya que él debe comunicarse con la tarjeta principal para controlar toda la máquina en forma manual o automática para los dos modos de operación.

C. Diseño de Hardware de control

La tarjeta principal o plc debe cumplir el esquema básico requerido que se muestra en la Fig. 9

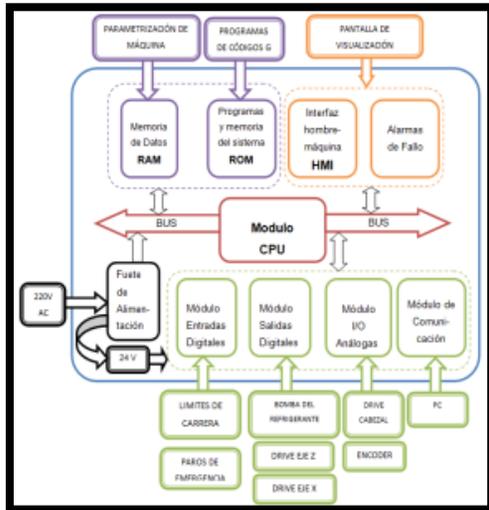


Fig.9. Diagrama de bloque del hardware de control.

La tarjeta principal o el PLC, deben comunicarse con el software de control de una forma paralela y debe cumplir los requerimientos del software.

Los servomotores cuentan con un sistema a lazo cerrado para el control de velocidad y posición, el control del cabezal del torno es a lazo cerrado con la implementación de un encoder, que nos servirá como retroalimentación para mejor manejo de perturbaciones en el sistema.

IV. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA

En función de los diseños y selección de elementos se procede a la implementación.

A. Implementación de la Estructura del eje Z

El carro principal va montado sobre la bancada prismática por medio de las guías deslizantes; el movimiento se lo realiza con el husillo de bolas y su respectiva tuerca acoplada al carro principal, el husillo se encuentra situado en la bancada por medio de dos soportes de rodamientos y unidos al motor por el acople flexible, como se observa en la Fig. 10.

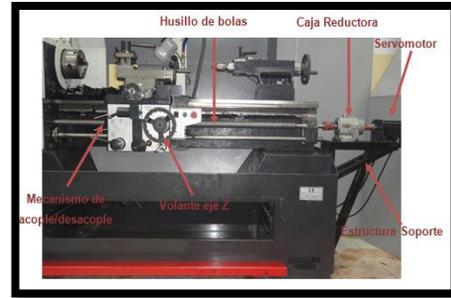


Fig. 10 Montaje de la estructura del eje Z

A.1 Como torno CNC

El movimiento se realiza con el husillo de bolas con su respectiva tuerca acoplada al carro principal mediante los ejes de acople, el husillo se encuentra situado en la bancada principal en remplazo del eje de roscar y unidos al servomotor y caja reductora mediante acoples flexibles en la Fig. 11.



Fig. 11 Deslizamiento de eje Z como torno CNC.

A.1 Como torno convencional

En este modo de operación del movimiento se encarga el tornillo patrón mediante la rotación del volante del carro principal, liberando la tuerca y los ejes de acoples del delantal del torno, como se observa en la Fig. 12.



Fig. 12: Deslizamiento de eje Z como torno convencional.

B. Implementación de la Estructura del eje X

El mecanismo de la estructura del eje X consta de guías de deslizamiento, el movimiento se realiza con el husillo de bolas con su respectiva tuerca acoplada al carro transversal, el motor es unido por el acople flexible al husillo, como se observa en la Fig. 13.

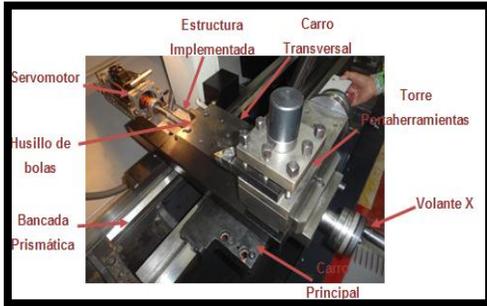


Fig. 13 Montaje de la estructura del eje X

B.1 Como torno CNC

Se desacopla el acople flexible del motor con el del husillo de bolas, para que de esta manera el volante del carro transversal sea el encargado de transmitir el movimiento a este, ver Fig. 14

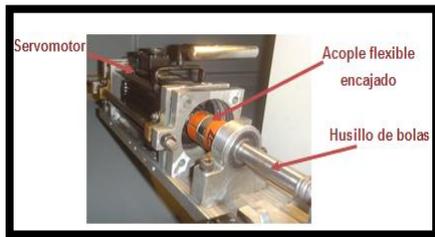


Fig. 14 Deslizamiento de eje X como torno CNC.

B.1 Como torno convencional

En este modo de operación del movimiento se encarga el tornillo patrón mediante la rotación del volante del carro principal, liberando la tuerca y los ejes de acoples del delantal del torno, como se observa en la Fig. 15.

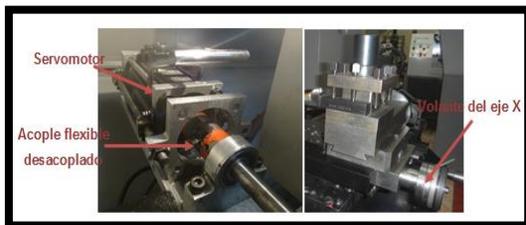


Fig. 15: Deslizamiento de eje X como torno convencional.

D. Implementación del encoder

El encoder va montado sobre la bancada principal y acoplado mediante una banca sincrónica al eje del cabezal como se muestra en la Fig. 16

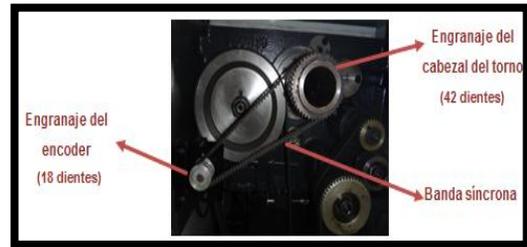


Fig. 16 Implementación del encoder

E. Implementación del bastidor o carcasa

Todo el sistema mecánico de movimiento está acoplado a la bancada; la cual está sujeta a la mesa principal, se implementa una carcasa de tol de 1/16" de espesor, como protección. En la Fig. 17, se aprecia toda la implementación mecánica



Fig. 17 Implementación del sistema mecánico

F. Implementación de los sistemas de control.

Para controlar, proteger y monitorear el prototipo, fue necesario implementar una caja de control, Fig. 18, con los siguientes dispositivos:

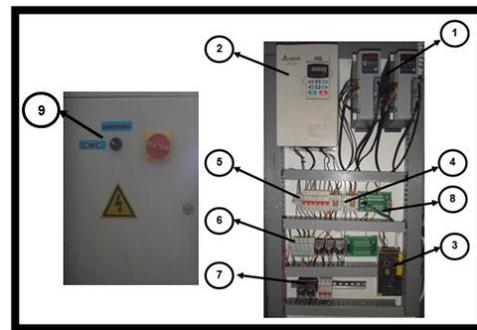


Fig. 18 Tablero de control, para el sistema automático del equipo

(1) Dos driver GSK DA98B alimentados con 220V de tensión AC para control servomotores, (2) Drive Delta VFD-B para el control del cabezal del torno con alimentación trifásica, (3) fuente de voltaje 24V DC que alimenta del circuito de control del torno y las entradas para el controlador, (4) dos contactores para el arranque de motores trifásicos, (5) tres brakers de protección para cada uno de los motores trifásicos, (6) 4 portafusibles y fusibles de protección de líneas de tensión, (7) 5 Relés a 24V DC, (8) tarjetas de

comunicación de entradas y salidas digitales y analógicas, (9) selector de modos de operación.

G. Pruebas del sistema automático del Torno.

La resolución del torno, viene dado por la Fig.19, independientemente para cada eje:

Diámetro exterior del eje de husillo (mm)		Desviación (Máxima) (um)
Por encima	O menos	
0	8	14
8	12	14
12	20	14
20	32	20
32	50	20
50	80	20
80	100	30

Fig. 19 Resolución promedio de cada eje en maquinaria CNC.

La precisión para cada uno de los ejes X y Z se calcula con la ecuación 16.

$$P = R \pm J \tag{16}$$

Donde R=Resolución obtenido por cada eje, J=Juego característico de los tornillos acoplados en cada una de las estructuras móviles del torno CNC.

En los Carros X y Z se encuentran instalados husillos a bolas, el juego en cada uno de estos es cero dadas las características de construcción y funcionamiento de los husillos a bolas, entonces $J_x = J_z = \pm 0$.

Según estas condiciones y dado que el juego en cada uno de los ejes es cero, entonces la resolución es igual a la precisión, eso quiere decir que los ejes tienen una precisión de: $X=0.02\text{mm}$ y $Z= 0.02\text{mm}$; durante los procesos de maquinado real se pudo verificar que se obtuvieron resultados aceptables, los tiempos de maquinado son considerables pequeños.

H.Pruebas de precisión y resolución en torneado.

Se procede a realizar un cilindrado de un eje de acero de 52mm a 38mm de diámetro, por una longitud de 95mm para poder determinar sus variaciones se toma varios puntos de muestreo. Fig. 20



Fig. 20. Medición del cilindrado

TABLA I. Muestras del desbastado

CILINDRADO DE EJE DE ACERO				
De $\phi= 52\text{mm}$ a $\phi= 38\text{mm}$				
Nº de muestra	Medidas tomadas			
	0° - 180°	45° - 225°	90° - 270°	135° - 315°
1	38.000	38.025	37.983	37.986
2	37.964	37.980	37.991	38.051
3	38.007	38.004	38.019	38.026
4	38.003	38.020	38.000	38.042
5	38.034	37.974	37.971	38.008
6	37.978	37.985	38.002	38.021
7	38.011	38.032	37.985	38.005
8	38.021	38.021	37.968	37.945
Promedio	38.002	38.005	37.990	38.011

Con los datos de la tabla 1, se realizó los siguientes gráficos estadísticos.

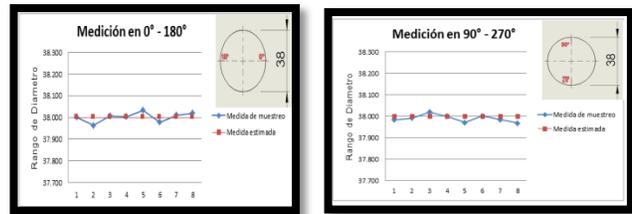


Fig. 21 Medición en 0°-180° y 90°-270°

En las gráficas se observa que al comparar la medida real con las medidas de muestreo hay una variación mínima, con esto se concluye que la máquina se encuentra dentro de los parámetros determinados.

Para un mayor análisis se realizó un ranurado sinusoidal; obteniéndose las siguientes dimensiones

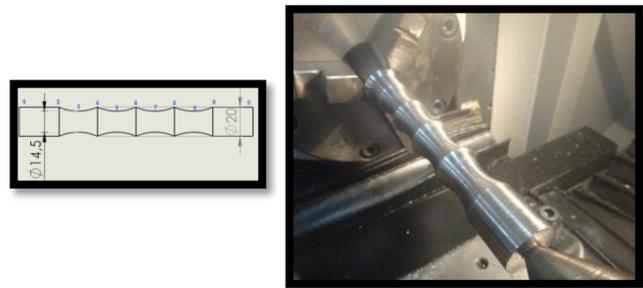


Fig. 22 Desbastado sinusoidal

TABLAII. Muestras del desbastado sinusoidal.

RANURADO SINUSOIDAL			
Nº Muestra	Medidas	Medidas Tomadas	Resolución
1	20,000	19,985	0,015
2	14,500	14,495	0,005
3	20,000	20,000	0,000
4	14,500	14,512	0,012
5	20,000	20,014	0,014
6	14,500	14,519	0,019
7	20,000	19,961	0,039
8	14,500	14,514	0,014
9	20,000	20,021	0,021

Con los datos de la tabla 2 se puede realizar gráficos estadísticos.

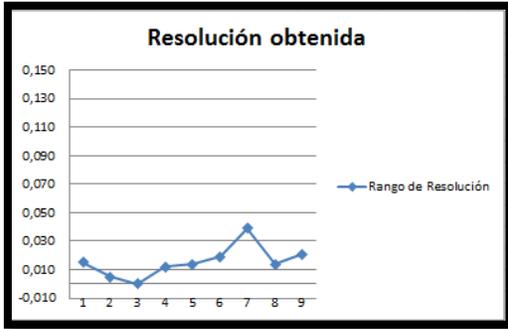


Fig. 23 Muestreo de la resolución sinusoidal.

Se observa en la Fig. 23 que el valor de las medidas tomadas se mantiene al valor de las medidas deseadas y en el rango de resolución de la máquina.

I. Análisis de corriente y potencia eléctrica consumida.

Se tomo los datos de corriente requerida por el motor en el momento de mecanizar acero a distintas profundidades por pasada, con los datos obtenidos se elabora la siguiente tabla:

TABLAIII. Muestras de corriente medida.

Díámetro (mm)	45 a 37	37 a 33	33 a 30	30 a 27	27 a 23	23 a 13
Profundidad por pasa (a) [mm]	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5
Corriente Medida (I) [A]	6,50	7,20	8,90	10,80	11,30	12,10

Con los datos de la tabla III se puede realizar gráficos estadísticos.

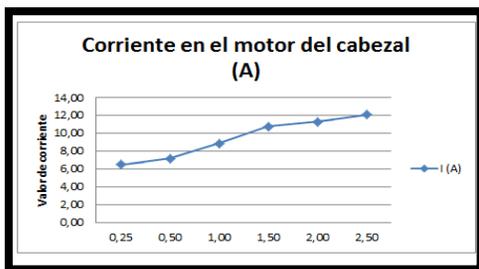


Fig. 24 Corriente medida en el cabezal del torno.

La potencia eléctrica se calcula mediante la ecuación:

$$\text{Potencia eléctrica (W)} = \text{Voltaje (V)} \times \text{Corriente eléctrica (A)}$$

TABLAIV. Potencia consumida por profundidad de pasada.

a (mm)	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
I (A)	6,50	7,20	8,90	10,80	11,30	12,10
Potencia eléctrica (Kw)	1,43	1,58	1,96	2,38	2,49	2,66

Con los datos de la tabla IV se realiza el siguiente gráfico estadístico

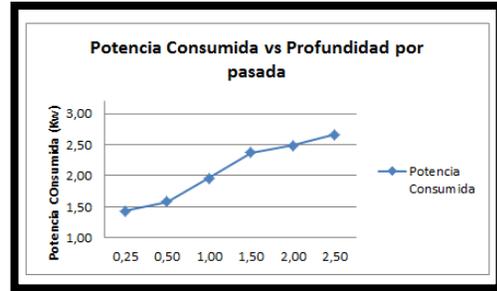


Fig. 25 Potencia consumida por el cabezal del torno.

Conociendo que la potencia de la máquina es de 3.2Kw, ver sección 2.2, se puede decir que si se trabaja bajo los parámetros especificados de velocidad de corte, velocidad de avance y profundidad de pasada la máquina se desempeñara con un porcentaje de trabajo de: 87.5%, y de manera concluimos no tendrá ningún tipo de inconveniente en el mecanizado.

J. Prueba de repetibilidad

Para realizar un análisis de repetibilidad, se realizo pruebas de posicionamiento de la cuchilla con respecto a un solo cero pieza, al realizar distintas operaciones de ranurado CNC y manual simultáneamente Fig. 26



Fig. 26 Posición de repetibilidad

TABLA V. Muestras de posición de repetibilidad.

Operación	CNC	Manual	CNC	Manual	CNC	Manual	CNC	Manual	Promedio	Promedio
Tamaño	40,000	38,000	36,000	34,000	32,000	30,000	28,000	26,000		
Longitud	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000		
Zona de seguridad X	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	CNC	Manual
Zona de seguridad Z	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000		
Error eje X	0,125	0,895	0,234	0,790	0,084	1,285	0,152	1,950	0,149	1,230
Error eje Z	0,105	1,230	0,129	2,350	0,210	2,510	0,136	1,440	0,145	1,883

Con los datos de la tabla V se puede realizar gráficos estadísticos.

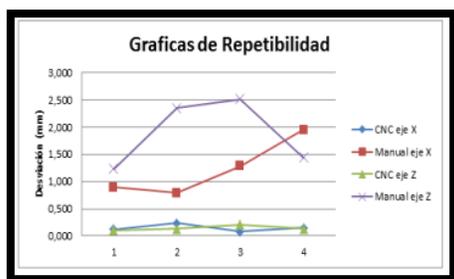


Fig. 27 Repetibilidad de la máquina.

Con esto podemos concluir que los valores de repetibilidad, a pesar de no tener una excelente precisión, se encuentran bajo medidas considerables a comparación de una máquina convencional en la cual la zona de repetibilidad depende del ojo humano.

Para realizar un mecanizado CNC perfecto, tomar muy en cuenta el valor promedio de error.

k. Análisis técnico – económico

Una vez implementado el torno CNC y con su correcto funcionamiento, es necesario realizar un análisis técnico - económico para valorar su aplicación.

TABLA VI. Valores de elementos utilizados

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P.UNITARIO	P. TOTAL
1	Tomo PINACHO	1	14500	14500
2	Husillos de bolas de diámetro 20	1	100	100
3	Tuerca BTN 20-05 para husillo de bolas	1	160	160
4	Husillo de bolas de diámetro 40	1	667	667
5	Tuerca THZ 40-10 para husillo de bolas	1	400	400
6	Sistemas de Servomotores AC	2	2200	4400
7	Controlador GSK 980TDa	1	2000	2000
8	Variador de frecuencia VDF-B	1	900	900
9	Encoder	1	120	120
10	Material Eléctrico	1	500	500
11	Material Mecánico	1	700	700
12	Carcasa	1	850	850
13	Mano de obra (mensual básico de un ingeniero)	4	380	1520
TOTAL				26.817

Con todas las inversiones anteriormente mencionadas se realizó una inversión total de 26.817 USD para el proyecto; tornos CNC PINACHO de serie Mustang 200R*1000 se encuentran avaluados a un costo de 45.000 USD, con lo que se obtuvo un costo beneficio de 18.183 USD.

Por las características de la máquina, se trata de un torno único en el mercado nacional, el cual puede ser implementado a nivel industrial, para el desempeño laboral de operarios que no dominen la programación en códigos G, hasta que sean

capacitados y obtengan experiencia en el uso de maquinaria CNC.

V. CONCLUSIONES

La máquina que se obtuvo es única en el mercado nacional, la cual nos permite realizar la producción en serie de piezas como torno CNC, y piezas en cantidades menores como torno convencional

La resolución promedio de la máquina es de 0.018mm, una resolución muy aceptada en la industria de la maquinaria CNC.

La potencia eléctrica de la máquina después de someterla a distintas pruebas con profundidades por pasada diferentes, no excede a la nominal, puesto que tiene un consumo equivalente al 87.5%.

La máquina tiene la posibilidad de ser implementada a nivel industrial para poder contribuir a la generación de trabajo y la producción de mejores recursos en diferentes empresas a nivel nacional.

Al realizar las pruebas como torno CNC, se pudo notar que es una máquina eficiente, ya que con los recursos utilizados trabaja de manera similar a las máquinas importadas desde el exterior.

Se pudo realizar la conversión de un torno convencional a uno por control numérico computarizado CNC en el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga; este proyecto será útil para prácticas relacionadas con las asignaturas de FMS y CAD/CAM.

El control de la máquina se lo realizó mediante software, el mismo que trabaja conjuntamente con una tarjeta principal de interpretación de códigos G; debido a su bajo costo para satisfacer las necesidades del diseño.

RECONOCIMIENTOS

Un agradecimiento imperecedero a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, por el apoyo económico para realizar el proyecto, al Departamento de Energía y Mecánica, a la Carrera de Ingeniería Mecatrónica y a la ESPE Extensión Latacunga por brindarnos la oportunidad de desarrollar proyectos de iniciación científica en conjunto entre docentes y discentes que aporten al desarrollo industrial Ecuatoriano.

REFERENCIAS

- [1] Universidad Tecnológica Nacional, Que es CNC. 2012
- [2] Universidad Nacional de Colombia. Introducción al CAD/CAM. 2012
- [3] Helmi A. Youssef and Hassan El-Horfy. *Machining Technology; Machine Tools and operations*. Pág 22.
- [4] Smith William F., *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, McGraw Hill, Tercera Edición, Página 439
- [5] MOTT Robert L., *Diseño de Elementos de Máquinas*, Prentice Hall Cuarta Edición, página 185
- [6] METOSA, PINACHO. 2012
- [7] Hibbeler R. C., *Mechanics of materials*, Prentice Hall, Sextaedición, Página 102.
- [8] Korta. Catálogo técnico del husillo a bolas. Cálculo de diseño, par e inercia. Pág 58.