

RECONVERSIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN TORNO BASADO EN
CONTROL NUMÉRICO

ALEJANDRO RUIZ GIL

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2011

RECONVERSIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN TORNO BASADO EN
CONTROL NUMÉRICO

ALEJANDRO RUIZ GIL

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesor

JAIME ANDRÉS FLÓREZ ESCOBAR

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN

2011

DEDICATORIA

A mis padres esposa e hijo, quienes con su amor, paciencia y alegría me han motivado en los momentos difíciles y llevado a ser la persona que hoy soy.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero que todo a Dios por darme la vida por su misericordia infinita, por darme la oportunidad trabajar en lo que más me gusta.

Por otro lado quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto, especialmente al profesor Ing. Jaime Andrés Flórez por su apoyo y guía durante este año, a mis compañeros de trabajo: tecnólogos Milton Marín, Jose Correa y Edilson Guerra, por la ayuda incondicional durante este y otros proyectos, agradezco también al resto del personal del laboratorio de Mecatrónica de la Universidad EAFIT.

Quiero agradecer especialmente a mi jefe, Ingeniero Roberto Hernández, por la confianza y compromiso con este proyecto, al tecnólogo Juan Diego Maya por su asesoría y a los demás coordinadores y técnicos del centro de laboratorios que de algún modo me ayudaron para hacer posible este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 METODOLOGÍA.....	16
4 ESTADO DEL ARTE	18
4.1 MECANICA DEL TORNO.....	18
4.2 MATERIALES USADOS PARA LA FABRICACION DE CNC.	20
4.3 HISTORIA DEL CNC.....	21
4.4 TIPOS DE TORNOS	22
4.5 CONTROL DE MOVIMIENTO PARA MAQUINAS.	29
4.6 DESARROLLO DE UN SISTEMA BASADO EN PC	31
4.7 ADQUISICIÓN DE DATOS	33
4.8 DEFINICION DE REQUERIMIENTOS.	35
5 DIAGNOSTICO DEL SISTEMA.....	39
5.1 INFORMACIÓN EXISTENTE.....	40
5.2 DIAGNOSTICO DE SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO.	44
5.3 DIAGNOSTICO DE SISTEMA MECANICO Y NEUMÁTICO.....	49
5.3.1 CONCLUSIONES DE DIAGNOSTICO REALIZADO AL EQUIPO.....	52

6	DISEÑO Y SELECCIÓN DE PARTES.	54
6.1	SISTEMA MECÁNICO.	55
6.2	SISTEMA DE INTERFASE DE USUARIO	79
6.3	SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO	81
6.4	SISTEMA ELECTRO-NEUMATICO.	93
7	CONCLUSIONES.....	96
8	BIBLIOGRAFÍA	98
8.1	CONVENCIONAL.....	98
8.2	INTERNET	99
9	ANEXOS	104

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Foto del torno EMCO 220 durante la recepción.	14
Ilustración 2. Metodología de desarrollo del proyecto.....	17
Ilustración 3. Porcentaje de utilización de tornos convencionales y control numérico en talleres de fabricación de mofles.	22
Ilustración 4. Torno paralelo.....	23
Ilustración 5. Esquema de Torno copiado.	24
Ilustración 6. Torno revolver.	25
Ilustración 7. Torno automático.....	26
Ilustración 8. Torno vertical.....	27
Ilustración 9. Torno de control numérico.....	28
Ilustración 10. Operación de maquinas con CNC.	30
Ilustración 11. Principales componentes de un sistema de control de movimiento por PC.....	31
Ilustración 12. Sistema generalizado de Adquisición de Datos.....	34
Ilustración 13. Foto recepción del equipo.	44
Ilustración 14. Sistema de transmisión de potencia por poleas.	56
Ilustración 15. Acción de la fuerza de corte F_c , sobre el eje Z	67
Ilustración 16. Movimiento horizontal eje Z, $\alpha = 0$; $\cos\alpha = 1$	68
Ilustración 17. Rampa de velocidades eje lineal.	69
Ilustración 18. Juego entre las pistas y bolas.....	73
Ilustración 19. Movimiento plano inclinado sobre el eje X 62°	74
Ilustración 20. Pantallas de inicio y preparación de ciclo en Mach3.	79
Ilustración 21. Sistema típico de una maquina operada por un CNC.....	80
Ilustración 22. Tarjeta de 6 ejes de control GREX-100	82
Ilustración 23. Tarjeta para control de motores de DC.....	83
Ilustración 24. Datos del motor seleccionado con su respectivo controlador.....	87

Ilustración 25. Esquema eléctrico para control de servomotores.....	88
Ilustración 26. Sensor inductivo montado en la base del contrapunto.	89
Ilustración 27. Sensor inductivo utilizado para (home y final de carrera).	89
Ilustración 28. Ubicación de sensores inductivos eje X.	90
Ilustración 29. Esquema eléctrico para control de señales IO.	90
Ilustración 30. Esquema eléctrico general de potencia.....	91
Ilustración 31. Esquema eléctrico tarjeta de interfase.....	92
Ilustración 32. Gabinete de control torno EMCO220.....	92
Ilustración 33. Sistema de control neumático.	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones de diseño del producto.	36
Tabla 2. Documentos Torno EMCO 220.	40
Tabla 3. Componentes eléctricos electrónicos instalados, torno EMCO 220.....	45
Tabla 4. Componentes mecánicos instalados, torno EMCO 220.....	50
Tabla 5. Listado de partes mecánicas, para selección o calculo.	55
Tabla 6. Características de las poleas y piñones seleccionados para los ejes X y Z.	57
Tabla 7. Definición de variables para los cálculos mecánicos.	58
Tabla 8. Características técnicas del equipo.	59
Tabla 9. Condiciones iniciales de propósito general, torneado.....	59
Tabla 10. Intervalo para rectificado y acabado, torneado.	60
Tabla 11. Requerimientos para la selección del Motor del Husillo.....	60
Tabla 12. Aplicación horizontal (eje Z).....	61
Tabla 13. Fuerza precarga tuerca-tornillo, (eje X y Z).....	66
Tabla 14. Aplicación vertical (eje X).....	70
Tabla 15. Aplicación vertical (eje X).....	75
Tabla 16. Valores requeridos para la selección motores ejes X, Z y Spindle.	76
Tabla 17. Listado de partes eléctricas para selección o calculo.	81
Tabla 18. Motor EMCO vs Motor Siemens.	84
Tabla 19. Datos del motor seleccionado para Husillo pp.	85
Tabla 20. Datos técnicos del controlador para el motor del Husillo principal.	85
Tabla 21. Motor EMCO vs motor SVL-400.	86
Tabla 22. Otras mejoras introducidas al equipo torno EMCO 220.....	94
Tabla 23. Costos de fabricación del prototipo.	95

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. ARTÍCULOS SOBRE LA CADENA METALMECÁNICA.☐

ANEXO B. METROLOGÍA DE GUÍAS COLA DE MILANO.☐

ANEXO C. ANÁLISIS DE ESTADO TORNO EMCO-220.☐

ANEXO D. DATASHEETS MECÁNICOS.☐

ANEXO E. DATASHEETS ELÉCTRICOS.☐

ANEXO F. MANUALES DE CONFIGURACIÓN PARA MACH Y CONTROLADOR
G100.☐

ANEXO G. PLANOS ELÉCTRICOS.☐

ANEXO H. PLANOS MECÁNICOS.☐

ANEXO I. MANUAL “MODO DE EMPLEO EMCO-TURN”☐

ANEXO J. COTIZACIÓN RECONVERSIÓN TORNO EMCO-220.☐

ANEXO K. PRUEBAS.☐

ANEXO L. ASEGURAMIENTO DE EQUIPO.☐

ANEXO M. HOJA DE FIRMAS.☐

INTRODUCCIÓN

Se considera Control Numérico por Computador, también llamado CNC en inglés (*Computer Numerical Control*) a todo dispositivo capaz de dirigir el posicionamiento de un órgano mecánico móvil mediante órdenes elaboradas de forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas en “tiempo real”.

Entre las operaciones de maquinado que se pueden realizar en una máquina CNC se encuentran las de torneado y de fresado. Sobre la base de esta combinación es posible generar la mayoría (si no son todas) las piezas de industria.

Este es, sin duda, uno de los sistemas que ha revolucionado la fabricación de todo tipo de objetos, tanto en la industria metalúrgica como en muchos otros ámbitos productivos. (TOOLINGU@2010).

El control numérico implementado a máquinas convencionales, hoy en día hace parte fundamental en los procesos industriales. Esta importancia tiene su justificación en la calidad y la precisión que los productos requieren.

En el pasado el control de estas máquinas se realizaba de modo manual, apoyado en elementos de control como calibradores e instrumentos de medición para la variable longitud.

Hoy en día la búsqueda de eficiencia, diferenciación y bajos costos de producción han llevado a las empresas a buscar sistemas más precisos, en donde los procesos sean controlados de forma automática.

Las exigencias de los procesos productivos se han incrementando a través del tiempo lo que ha forzado la implementación de controles automáticos para integrarlos a dispositivos eléctricos como motores, actuadores y en general a todo aparato que funcione de forma manual. (FOINDESA@2009)

1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El taller de maquinas herramientas de la Universidad EAFIT, cuenta hace 12 años con un torno de control numérico marca EMCOTURN 220 serie básica para control EMCOTRONIC TM02, de 4kW de potencia. El cual hace parte de una serie de donaciones que dicho taller ha recibido a lo largo del tiempo.

El taller además cuenta con equipos como:

- Fresadora de control numérico Miltronics
- Torno de control numérico de la misma marca.
- Conjunto de mini fresadoras y mini tornos de control numérico, de diferentes marcas.

Además cuenta con una serie de equipos que lo convierten en la unidad del centro de laboratorios con mas participación en el sector metalmecánico, el interés de la Decanatura de Ingenierías es que otras unidades del Centro de Laboratorios cuenten con este tipo de maquinas para promover el autoservicio entre los estudiantes de ingeniería, por tal razón Los departamentos de Ingeniería de la Universidad EAFIT están en la tarea de modernizar equipos existentes en el centro de laboratorios, ya sean provenientes de donaciones o compras directas, teniendo como razón fundamental el suministro de equipos para uso de estudiantes de ingeniería durante el desarrollo de sus proyectos.

La reconversión equipos o maquinas mecanicas, con cierto grado de obsolescencia, permite crear laboratorios de aprendizaje donde se se busca apreender de la tecnología con la cual fueron creados logrando un criterio suficiente para realizar cambios que potencien el uso de estas maquinas.

En el caso particular del torno EMCO 220 se evidencia una falta de uso que lo ha afectado en gran medida en su sistema eléctrico electrónico y en una menor medida en su sistema mecánico. A modo de diagnostico general el equipo no

cuenta con aproximadamente el 50% de sus partes lo que es normal en un equipo con tantos años por fuera de servicio.

Ilustración 1. Foto del torno EMCO 220 durante la recepción.



Fuente: Elaboración propia. (Año 2009)

La ilustración 1 muestra un equipo inoperable con muchas de sus partes dañadas o no instaladas en la maquina, la tarea es reconvertir el equipo de tal forma que pueda ofrecer garantías de funcionamiento y seguridad para sus nuevos usuarios, llevar el torno EMCO 220 a su estado original requerirá una inversión en dinero y personal calificado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Reconvertir el torno EMCO CNC 220 adscrito al inventario de equipos donados al Centro de laboratorio de la Universidad EAFIT a partir de la utilización de algunas de sus partes mecánicas y eléctricas, para obtener un equipo con un funcionamiento similar al original.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Objetivo 1. Registrar los principales fundamentos sobre mecánica, diseño, Mecatrónica, Tornos CNC, Programación y sistemas de control numérico basado en PC.
- Objetivo 2. Reconocer los elementos y los subsistemas del torno CNC a reconvertir, con el objetivo de entender su funcionamiento e identificar las partes que se pueden reutilizar.
- Objetivo 3. Adaptar los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos necesarios para el correcto funcionamiento del torno CNC a reconvertir.
- Objetivo 4. Implementar el Software que permita que el torno realice Movimientos controlados desde un computador a través del Hardware empleado.
- Objetivo 5. Generar la documentación necesaria para el aseguramiento de equipos según, formato de la norma NTC 17025 del centro de laboratorios de la Universidad EAFIT.

3 METODOLOGÍA

El proyecto tendrá una base teórica fundamentada en la bibliografía que haga referencia a control de maquinas CNC y proyectos de grado donde se desarrolle el tema de reconversión de equipos, Además de la bibliografía que se tiene sobre re-diseño de Máquinas, Mecatrónica, Mecánica, Materiales, Lenguajes de Programación, Tornos CNC Técnicas de Maquinado y procesos de reconversión de equipos, de propiedad del laboratorio de Mecatrónica de la universidad EAFIT.

El método de reconversión del Torno CNC se apoya en el diseño conceptual, para concebir sistemas técnicos. El entendimiento de cada uno de los elementos proporcionará la comprensión de la totalidad del funcionamiento del Torno CNC.

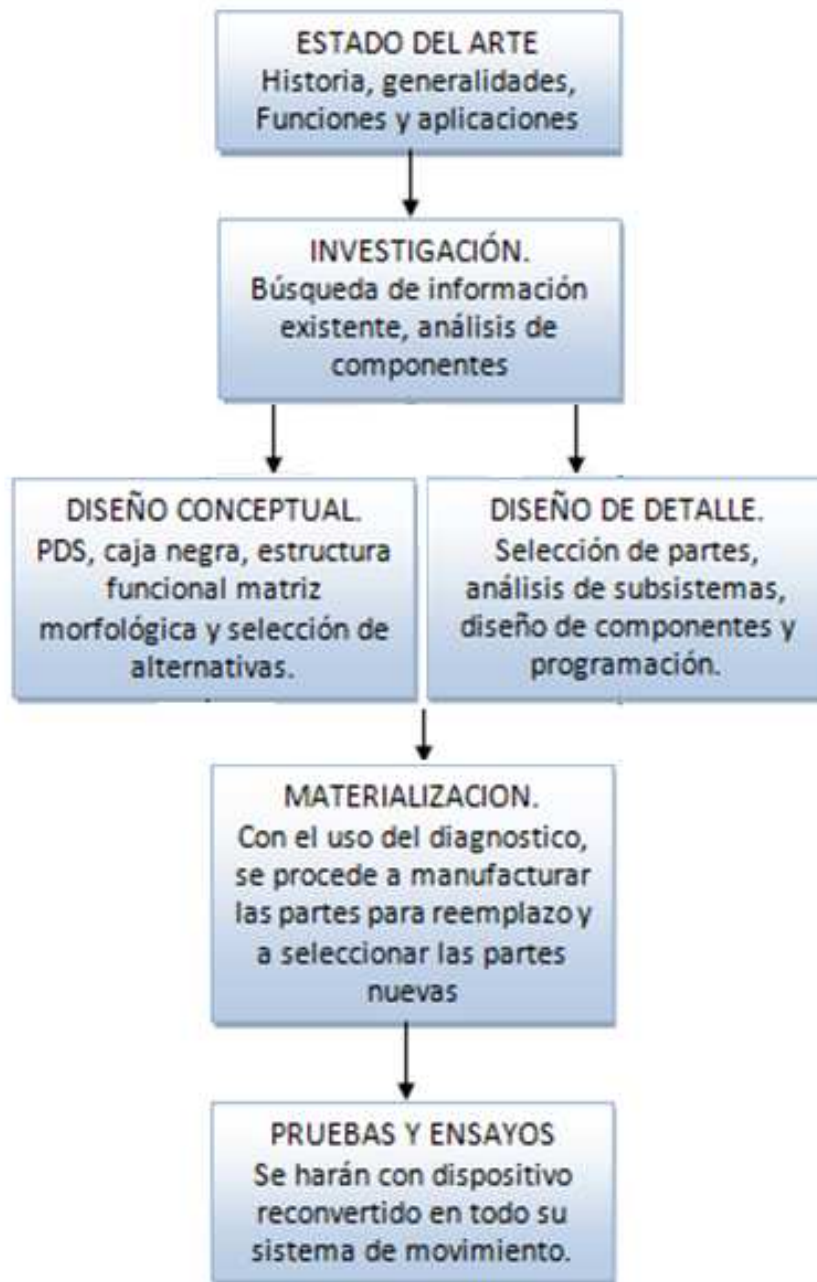
Se utilizan herramientas de diseño conceptual para definir alternativas de solución que cumplan con las características originales del equipo y con los requerimientos técnicos, utilizando la información necesaria para el inicio del proyecto, luego se realizara el diagnostico de cada una de las partes realizando una división por subsistemas para determinar cuáles de estos elementos serán útiles para la reconversión del equipo.

Posteriormente para el diseño de detalle (mecánico – eléctrico – electrónico y de control) se utilizan herramientas de diferentes áreas de la ingeniería como: estática, dinámica, mecánica de materiales y control. En esta etapa con base en parametros de selección, algunos cálculos y apoyo de herramientas computacionales CAD, se definen las características de todos los elementos que hacen y harán parte del torno EMCO 220.

Adicionalmente este proyecto contará con los conocimientos teóricos y prácticos de diseño de maquinas, adquiridos a lo largo de la carrera y de reconversión de equipos adquiridos por el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad EAFIT.

La metodología de desarrollo del proyecto se presenta en la ilustración 2.

Ilustración 2. Metodología de desarrollo del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

4 ESTADO DEL ARTE

4.1 MECÁNICA DEL TORNO

Como máquina-herramienta el torno, es junto con la fresadora, la máquina más importante de taller mecánico. En este tipo de máquinas la pieza está sometida a un movimiento de rotación y se mecaniza por medio de una herramienta dotada de un movimiento de avance, que normalmente es paralelo al eje de rotación de la pieza.

El torneado, consiste en el arranque de material (viruta) de la pieza a elaborar. La viruta es arrancada por una herramienta en la que están soldadas unas placas cortantes, que son las que producen la función de corte, y estas placas deben ser de dureza superior a la del material a trabajar.

El torno es la maquina que se emplea para la mecanización de piezas de revolución, a continuación se listan algunas de las partes fundamentales de un torno convencional.

- La Bancada.

Es la pieza más robusta y sirve de soporte para todos los demás componentes de la máquina. Normalmente su fabricación es en fundición y en los tornos que son pequeños, de una sola pieza. En su parte superior lleva los prismas o guías del cabezal móvil.

- El Cabezal

Contiene el eje principal, en cuyo extremo van los órganos de sujeción de la pieza y los engranajes de reducción, por medio de los cuales la fuerza desarrollada por el motor se imprime al movimiento de rotación de la pieza.

El Contrapunto: Se forma por dos piezas generalmente de fundición, una de las cuales sirve de de soporte y contiene las guías que se apoyan sobre las del torno

y el dispositivo de fijación para inmovilizarlo. La otra pieza contiene el contrapunto, que constituye el otro apoyo de la pieza que se mecaniza.

- Mecanismo de husillo – tuerca.

Está constituido por un tornillo (husillo) y una tuerca. Su funcionamiento es tal que si se mantiene fija la tuerca, el movimiento giratorio del tornillo produce su desplazamiento longitudinalmente y viceversa. Mediante este sistema se consigue convertir el movimiento circular del tornillo en movimiento rectilíneo de la tuerca.

El husillo, al igual que cualquier otro tornillo, se caracteriza por el número de entradas (e) y por el paso de la rosca (p). Así, por ejemplo, un tornillo de 2 mm de paso y una entrada, al girar una vuelta completa sobre una tuerca produce un avance de ésta de 2mm. Sin embargo, en un tornillo con el mismo paso y dos entradas, avanza la tuerca en el mismo tiempo 4 mm.

El avance será: $A = p * e$

La velocidad de avance será: $V_a = A * n = p * e * n$; donde (n) es la velocidad circular de giro.

- Los Carros.

Son las partes del torno que portan las herramientas y que con diversos movimientos de desplazamiento consiguen los efectos y las formas deseadas de las piezas; se denominan carro principal, carro transversal y carro orientable.

- El Portaherramientas.

Es como su nombre lo indica, la parte del torno donde se sujetan las distintas herramientas para atacar la pieza a mecanizar. La fijación se realiza por medio de una brida, colocando las herramientas a la altura adecuada (que es el centro del punto). El portaherramientas puede fijarse en tres posiciones sobre el bloque central giratorio, que constituye la torreta. (TERUEL, 2007).

4.2 MATERIALES USADOS PARA LA FABRICACIÓN DE CNC.

Los materiales en ingeniería son la materia prima para la construcción y la obtención de elementos de máquinas. Los materiales utilizados en ingeniería deben cumplir con todas las exigencias de la aplicación para la cual son empleados y satisfacer las expectativas del usuario que se beneficia de lo que se diseña.

A lo largo del desarrollo que ha existido en el estudio de los materiales en ingeniería se tiene un gran avance en el tema. Ahora, el estudio de los materiales se centra en que sean resistentes, livianos, fuertes, económicos y duraderos, con el fin de que, al ser expuestos a condiciones severas no sean la causa de falla del sistema técnico o máquina que se diseñe.

Los materiales de uso común en ingeniería para la fabricación de máquinas herramientas son los aceros y materiales fundidos. Los aceros son aleaciones de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2.1% en peso. Las propiedades físicas de los aceros son mejoradas con tratamientos térmicos o aleándolos con elementos químicos que mejoren su durabilidad, resistencia a fatiga, tenacidad, resistencia a la abrasión y todas aquellas propiedades físicas y químicas relevantes para que la funcionalidad del elemento, máquina o sistema técnico que se diseñe sea confiable y no se vea afectada por ningún agente externo. (HIBBELER, 1998)

En la actualidad, existen aceros aleados con cromo, níquel, manganeso, silicio, molibdeno, vanadio y tungsteno. La mejora en las propiedades del material con estos elementos de aleación proporciona un alto estándar de calidad en el servicio que presta el sistema técnico que se diseña, logrando, además, mejores resultados en la funcionalidad del mismo.

Los materiales fundidos se caracterizan por ser de bajo costo, pero son de baja resistencia mecánica. Para dar solución a esto se alean con elementos que mejoran sus propiedades mecánicas, también se les aplica un recocido ligero para

mejorar su maquinabilidad. De todos los materiales fundidos el hierro fundido gris es el más utilizado, debido a su bajo costo y a que es fácil fundirlo en grandes cantidades. (HIBBELER, 1998)

La correcta elección de los materiales para una aplicación específica es el punto de partida para la conformación total de un sistema técnico. Para la construcción de un torno CNC se debe tener en cuenta qué elementos serán diseñados y cuáles seleccionados de catálogos comerciales.

4.3 HISTORIA DEL CNC.

El punto de partida hay que situarlo en 1945, cuando dos científicos de la Universidad de Pennsylvania, John W. Manclhy y J. Presper Ecker crearon la primera computadora electrónica digital que ha funcionado realmente en el mundo. Se denominó ENAC, era voluminosa, consumía mucha energía y era difícil de programar, pero funcionaba.

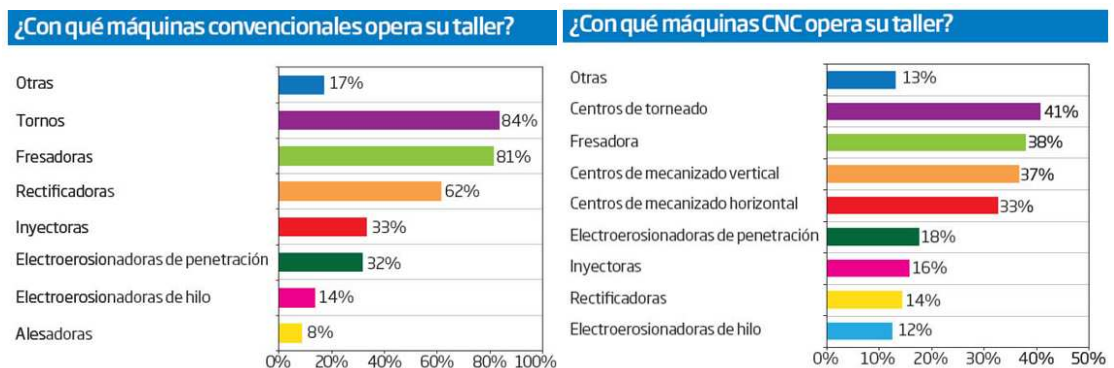
En 1948, John Parson inicia la aplicación del control numérico a la máquina-herramienta, con el objeto de resolver el problema del fresado de superficies complejas tridimensionales para la aeronáutica. En 1949 Parson contrató con el Instituto Tecnológico de Massachussets el diseño de los servomecanismos de control para una fresadora.

En 1952 funcionaba un control experimental, aplicado a una fresadora Cincinnati. La programación utilizaba un código binario sobre cinta perforada, y la máquina ejecutaba movimientos simultáneos coordinados sobre tres ejes. En 1955 se presentan unas pocas máquinas en la Feria de Chicago, gobernadas por tarjetas y cintas perforadas La U.S. Air Force se interesa por el sistema y formula un pedido de 170 máquinas-herramienta por valor de cincuenta millones de dólares, beneficiándose del mismo varios prestigiosos fabricantes americanos. Pero los modelos desarrollados durante los años cincuenta y sesenta fueron poco eficaces y resultaron muy caros.

Fue a partir de los años setenta, con el desarrollo de la microelectrónica, cuando el CN pasa a ser control numérico por computadora (CNC) por la integración de una computadora en el sistema. Pero definitivamente fue durante los años ochenta cuando se produce la aplicación generalizada del CNC, debido al desarrollo de la electrónica y la informática, provocando una revolución dentro de la cual todavía estamos inmersos.

En la actualidad el uso de la maquinas de control numérico constituye aproximadamente el 40% de la mayoría de los talleres metalmecánicos del país, como se muestra en el informe. (INTEREMPRESAS@2005).

Ilustración 3. Porcentaje de utilización de tornos convencionales y control numérico en talleres de fabricación de mofles.



Fuente: (MHIA, 2011)

Se puede observar que el desarrollo de la industria del sector metalmecánico (moldes) La industria de producción de moldes responde a estos retos aumentando las inversiones para mejorar su capacidad productiva, cabe anotar que el gráfico no representa la totalidad del sector metalmecánico.

4.4 TIPOS DE TORNOS

Existe una amplia gama de modelos y tipos de tornos, disponer de una gama tan amplia hace del torno una de las herramientas mas usadas en los talleres metalmecánicos, en la mayoría de los casos, se encuentra la máquina deseada

para la aplicación requerida en términos de funcionalidad, La mejora de dicha relación se enfatiza en las aplicaciones que requieren de mecanizado.

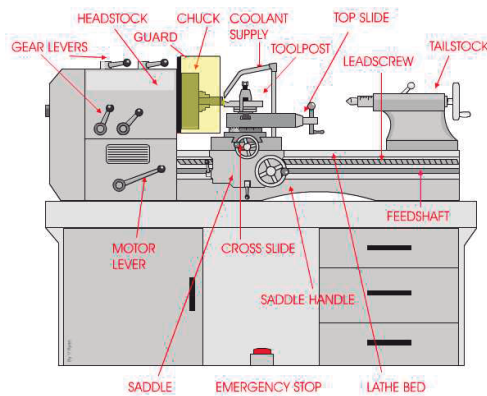
Los tornos se pueden clasificar según su función en (CANBUS@2011):

- Torno Paralelo.

El torno paralelo o mecánico es el tipo de torno que evolucionó partiendo de los tornos antiguos cuando se le fueron incorporando nuevos equipamientos que lograron convertirlo en una de las máquinas herramientas más importante que han existido. Sin embargo, en la actualidad este tipo de torno está quedando relegado a realizar tareas poco importantes, a utilizarse en los talleres de aprendices y en los talleres de mantenimiento para realizar trabajos puntuales o especiales.

Para manejar bien estos tornos se requiere la pericia de profesionales muy bien calificados, ya que el manejo manual de sus carros puede ocasionar errores a menudo en la geometría de las piezas torneadas

Ilustración 4. Torno paralelo.



Fuente: (TECHNOLOGY@2011)

- Torno copiador.

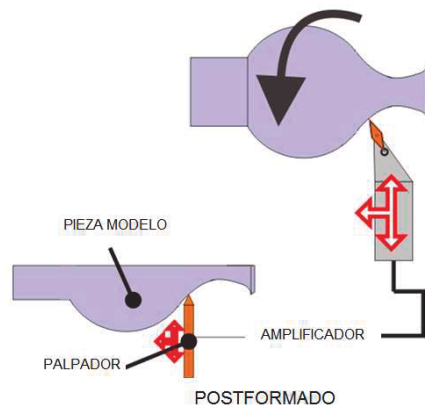
Se llama torno copiador a un tipo de torno que operando con un dispositivo hidráulico y electrónico permite el torneado de piezas de acuerdo a las

características de la misma siguiendo el perfil de una plantilla que reproduce una réplica igual a la guía.

Este tipo de tornos se utiliza para el torneado de aquellas piezas que tienen diferentes escalones de diámetros, que han sido previamente forjadas o fundidas y que tienen poco material excedente. También son muy utilizados estos tornos en el trabajo de la madera y del mármol artístico para dar forma a las columnas embellecedoras. La preparación para el mecanizado en un torno copiador es muy sencilla y rápida y por eso estas máquinas son muy útiles para mecanizar lotes o series de piezas que no sean muy grandes.

Las condiciones tecnológicas del mecanizado son comunes a las de los demás tornos, solamente hay que prever una herramienta que permita bien la evacuación de la viruta y un sistema de lubricación y refrigeración eficaz del filo de corte de las herramientas mediante abundante aceite de corte o taladrina.

Ilustración 5. Esquema de Torno copiador.



Fuente: (FOINDESA@2009)

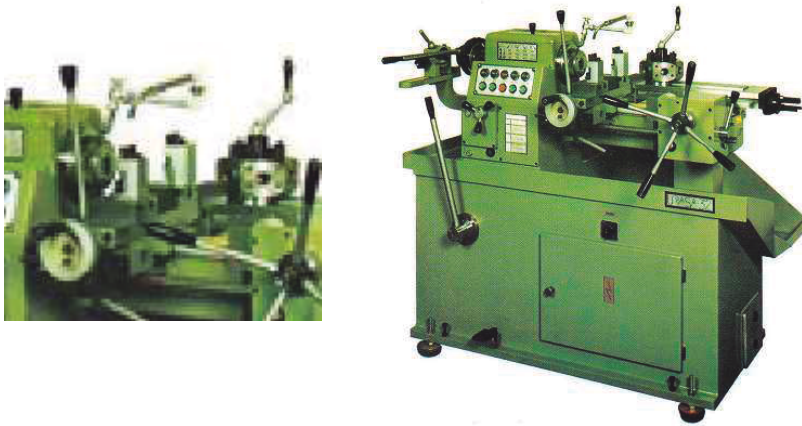
- Torno Revolver.

El torno revólver es casi tan antiguo como en el torno paralelo convencional. Industrias de decoletaje, racorería y fabricación de piezas en serie solían trabajar con este tipo de torno. Actualmente, el control numérico ha desplazado esta forma de producir, pero no del todo. Aún hay piezas que requieren segundas

operaciones en las que el control numérico no es viable por la complejidad que entrañaría su programación.

El torno revólver lleva un carro con una torreta giratoria en la que se insertan las diferentes herramientas que realizan el mecanizado de la pieza. También se pueden mecanizar piezas de forma individual, fijándolas a un plato de garras de accionamiento hidráulico.

Ilustración 6. Torno revolver.



Fuente: (INTEREMPRESAS2@2011)

- Torno Automático.

Se llama torno automático a un tipo de torno cuyo proceso de trabajo está enteramente automatizado. La alimentación de la barra necesaria para cada pieza se hace también de forma automática, a partir de una barra larga que se inserta por un tubo que tiene el cabezal y se sujeta mediante pinzas de apriete hidráulico.

Estos tornos pueden ser de un solo husillo o de varios husillos:

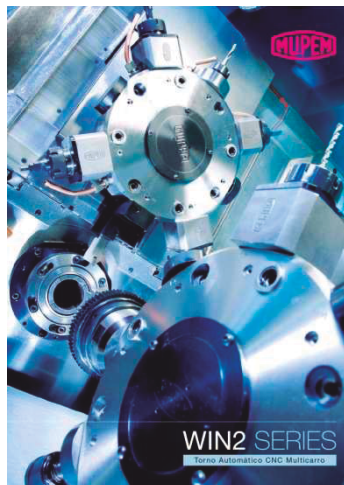
- Los de un solo husillo se emplean básicamente para el mecanizado de piezas pequeñas que requieran grandes series de producción.
- Cuando se trata de mecanizar piezas de dimensiones mayores se utilizan los tornos automáticos multi-husillos donde de forma programada en cada husillo se va realizando una parte del mecanizado de la pieza. Como los

husillos van cambiando de posición, el mecanizado final de la pieza resulta muy rápido porque todos los husillos mecanizan la misma pieza de forma simultánea.

La puesta a punto de estos tornos es muy laboriosa y por eso se utilizan principalmente para grandes series de producción. El movimiento de todas las herramientas está automatizado por un sistema de excéntricas y reguladores electrónicos que regulan el ciclo y los topes de final de carrera (levas).

Un tipo de torno automático es el conocido como “tipo suizo”, capaz de mecanizar piezas muy pequeñas con tolerancias muy estrechas.

Ilustración 7. Torno automático.



Fuente: (DIRECTINDUSTRY1@2011)

- Torno vertical

El torno vertical es una variedad de torno, de eje vertical, diseñado para mecanizar piezas de gran tamaño, que van sujetas al plato de garras u otros operadores y que por sus dimensiones o peso harían difícil su fijación en un torno horizontal.

Los tornos verticales no tienen contrapunto sino que el único punto de sujeción de las piezas es el plato horizontal sobre el cual van apoyadas. La manipulación de las piezas para fijarlas en el plato se hace mediante grúas de puente o polipastos.

Ilustración 8. Torno vertical.



Fuente: (MECANIZADOS@2011)

- Torno CNC.

Básicamente son similares a los tornos convencionales. No obstante, existen algunas diferencias constructivas entre unos y otros. Una de ellas es que para mecanizar una pieza en un Torno convencional el operador debe mover los carros con ayuda de los volantes de tal modo que consiga el perfil deseado, todo ello de forma manual. El operario tiene que controlar la velocidad de corte, giro de la herramienta, la refrigeración, el avance de los carros, etc.

En tornos CNC (Control Numérico Computarizado), para desplazar la herramienta o la pieza, el mando numérico CNC emite señales eléctricas a los motores de avance que correspondan para conseguir el movimiento de los ejes (carros) del torno. Las señales se refuerzan antes de entrar en los motores mediante amplificadores del accionamiento.

Estas máquinas llevan también incorporados elementos para reconocer las diferentes órdenes que se les envían desde el CNC. Lo normal es que se utilicen captadores y regletas ópticas o fotoeléctricas, que actúan como sistemas para gobernar la medición del recorrido de los ejes, es decir que exista un código o “lenguaje” común entre el gabinete de control y el torno.

Referente a la construcción puramente mecánica, en las máquinas controladas por CNC, si queremos conseguir mecanizados de gran precisión y calidad, así como contornos complejos, los ejes de las máquinas deben tener holguras mínimas entre el husillo y tuerca. El rozamiento debe ser muy bajo debido a los avances y velocidades del cabezal que, en general, son mucho mayores que en una maquina convencional. Para ello el torno cuenta actualmente con husillos de bolas circulantes, guías de los carros de rodillos, engranajes de cambio, etc.

(TERUEL, 2007).

Ilustración 9. Torno de control numérico.



Fuente: (BLOGS@2011)

1. Husillo o spindle con motor y variador de frecuencia.
2. Sistema de guías con tornillos de bolas recirculantes,
3. las bancadas templadas y rectificadas.
4. Lubricación forzada, tantos en las guías como el cabezal y la caja.
5. Servomotores de A.C.
6. Las guías en los ejes X & Z son cubiertas para su mayor protección.

Ventajas del control numérico.

La estructura del torno está conformada por los siguientes elementos: Bancada, cabezal fijo, contrapunto, carro portaherramientas y cabezal giratorio. Cada una

de estas partes tiene procesos de selección de material y manufactura diferentes debido a que cumplen funciones diferentes. La bancada es una de las partes del torno que se fabrica en hierro fundido gris, ésta tiene dos guías que se endurecen y maquinan para mejorar la resistencia al desgaste y la precisión dimensional durante el torneado. Las otras partes que componen el torno son fabricadas en aceros aleados de diferente referencia, según especificaciones de diseño.

- Mecanizado de piezas muy lentas de fabricar en un Torno convencional, debido a su número de procesos.
- Fabricación de piezas con gran precisión respecto a un torno convencional ya que los tornos CNC, ofrecen más repetitividad
- Menor tiempo de cambio de pieza
- Aumento de la productividad, por el menor tiempo total de mecanización-
- Desventajas del control numérico.
- Una elevada inversión inicial, tanto en la máquina-herramienta como en el CNC que la comanda.
- La reparación de las averías tienen un alto costo, más precisamente el sistema eléctrico-electrónico

4.5 CONTROL DE MOVIMIENTO PARA MAQUINAS.

Un sistema de control de movimiento está constituido por cinco partes fundamentales:

- El o los dispositivos mecánicos que se encargan del moviendo, el motor (servo, DC ò paso a paso) con retroalimentación.
- El sistema de entradas y salidas E/S digitales o análogas.
- El driver control de potencia o amplificador.
- El sistema de control encargado de la recepción de señales de E/S y de la interpolación de los ejes.
- Por último el software o interface de control encargado de la interfaz de programación y operación.

Estos sistemas son más fáciles de programar y ofrecen mayor flexibilidad y mayor rendimiento que los sistemas basados en PLCs.

Panes de trabajo y operación de un torno CNC operado con el sistema PC WinFlexIPS, del grupo (TRAUB Drehmaschinen).

Ilustración 10. Operación de maquinas con CNC.



Fuente: (DIRECTINDUSTRY2@2011).

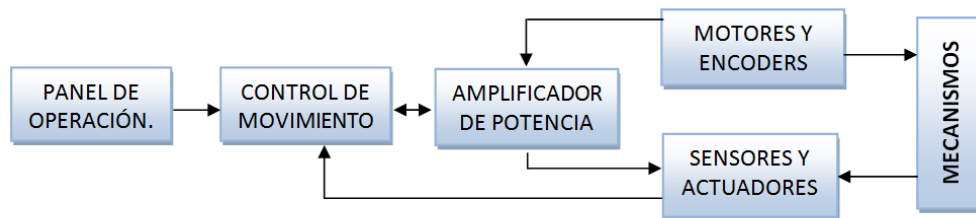
Las aplicaciones pueden personalizarse para atender requerimientos actuales y futuros, eliminando así la necesidad de volver a invertir en un nuevo sistema de control. Durante años, la industria confió en sistemas basados en PLCs y controles de movimientos propios, sin embargo un creciente número de ingenieros están hoy volcándose a las soluciones de control de movimientos basados en PC para automatizar procesos fabriles y diseño de maquinaria.

Este cambio tecnológico está ocurriendo, en primer lugar, por las mejoras en el rendimiento de las computadoras personales y así los científicos e ingenieros pueden integrar fácilmente la tecnología de control de movimiento basada en PC con otros sistemas de medición, tales como visión y adquisición de datos. De manera que la nueva tecnología ahorra dinero y provee una flexibilidad adicional. (AUTOMATIZACION INDUSTRIAL@2011)

4.6 DESARROLLO DE UN SISTEMA BASADO EN PC

Cuando se desarrolla un sistema de movimiento basado en PC, la primera tarea es seleccionar los componentes adecuados de acuerdo a una estructura que indica la secuencia por donde viajan los flujos de información materia y energía

Ilustración 11. Principales componentes de un sistema de control de movimiento por PC



Fuente: (elaboración propia)

Los sistemas de control de movimiento basados en PC, deben considerar la selección y diseño de accesorios que se ajusten al marco de trabajo mecánico. Una vez que éste se halle en su lugar, entonces puede instalarse el motor o actuador. Para ser controlados desde el amplificador. Este amplificador provee la corriente y voltaje necesarios para hacer que el motor o actuador se muevan de manera controlada.

Amplificadores:

Obtienen su alimentación de una tarjeta de control de movimiento o controlador, que es el cerebro que dirige todos los movimientos. En el pasado, los sistemas de movimiento se controlaban utilizando PLC; estos sistemas eran confiables aunque difíciles de programar y estaban generalmente limitados en su rendimiento. La aproximación basada en PC es más Flexible y a menudo facilita obtener un mejor rendimiento. (TRACNOVA@2010)

Controladores:

El mercado actual ofrece una amplia selección de controladores de movimiento, con una gran variedad de precios y posibilidades. Antes de seleccionar una unidad, debe considerarse sus características: las correctas para su trabajo, Trabajarán bien en las aplicaciones que se intenta crear en el futuro Los controladores de movimiento van desde los de baja gama a los de alta gama. Es importante conocer sus diferencias antes de decidir cuál podrá satisfacer las necesidades del cliente.

- Controladores de Baja Gama, Estos controladores permiten mover un motor de una posición a la otra, son más baratos y no tienen numerosas características adicionales. Muchas veces, este movimiento punto a punto será todo lo que se necesita para la aplicación.
- Controladores de Movimiento de Alta Gama, Estos trabajan mejor para aplicaciones más complejas debido a que ofrecen su propio conjunto de características especiales. Con un controlador de movimiento de alta gama se puede realizar diferentes tipos de perfiles de movimiento, tales como interpolación linear y perfilado.

Software de Control de Movimiento.

Otra parte importante de un sistema de control de movimiento basado en PC es el software que integra todos los componentes. Una ventaja del sistema de control de movimiento basado en PC, sobre los sistemas propietarios cerrados es que los controladores de los primeros a menudo poseen: funcionalidad de control de movimiento incorporada, permitiendo al usuario tener más tiempo para invertir en el desarrollo del software de comando y monitoreo y proveyendo un controlador de visualización basado en PC.

Un software adaptable en controladores de movimiento significa que la aplicación es compatible con diferentes tipos de motores, incluyendo los diferentes motores paso a paso y servo. A medida que se generan nuevas versiones del software, no

hay necesidad de invertir en nuevo hardware, en lugar de eso simplemente se puede actualizar a la versión de software más reciente. Esta compatibilidad hacia preserva la inversión en el software, ahorrando tiempo y dinero. Este software también debería ser compatible con importantes entornos de software de aplicación.

La facilidad de uso es un factor importante cuando se instala y configura un sistema de control de movimientos basado en PC. Por ejemplo, algunos programas permiten verificar el número de ranura y probar los recursos asignados cuando se instala el controlador de movimiento. Luego, simplemente se ejecutan las rutinas de inicialización para inicializar y verificar el sistema. Con esta metodología se puede operar y verificar el sistema de control de movimiento antes de hacer cualquier programación. (NI@2005)

4.7 ADQUISICIÓN DE DATOS

La Adquisición de Datos consiste en tomar un conjunto de variables físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora.

Se requiere una etapa de acondicionamiento que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es la tarjeta de Adquisición de Datos. Una vez que las señales eléctricas se transformaron en digitales dentro de la memoria de la PC, se las puede procesar con el programa que se desee y/o archivarlas en disco duro, graficarlas en pantalla, etc.

De la misma manera que se toma una señal eléctrica y se transforma en una digital dentro del ordenador, se puede tomar una señal digital o binaria y convertirla en una eléctrica, en este caso el elemento que hace la transformación es una tarjeta de Adquisición de Datos de salida o tarjeta de control.

Ilustración 12. Sistema generalizado de Adquisición de Datos.

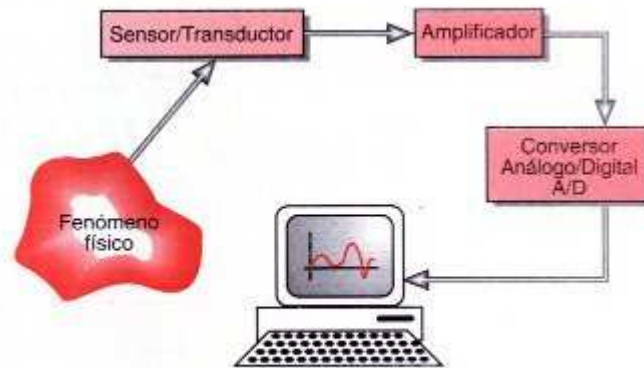


Figura 1. Adquisición de datos análogos

Fuente: (COOPER, 1991)

La señal dentro de la memoria del PC la genera un programa adecuado a las aplicaciones que quiere el usuario y luego de procesada es recibida por mecanismos que ejecutan movimientos mecánicos, a través de servomecanismos, que también son del tipo transductores.

Un sistema típico de adquisición utiliza sensores, transductores, amplificadores, convertidores análogos a digital (A/D) y digital análogo (D/A), para procesar información acerca de un sistema físico de forma digitalizada. (NI@2010)

4.8 DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS.

De acuerdo a las características encontradas en la investigación de los tipos de torno y la condición actual de los mismos y de acuerdo a las necesidades manifestadas por las personas escogidas como potenciales usuarios del torno se definen los requerimientos que constituyen la herramienta para la medición del cumplimiento de los objetivos del proyecto después de ser terminado.

- Desarrollo de especificaciones de diseño

Participantes	Alejandro Ruiz
	Juan Diego Maya
	Johan Alexander Gil
Revisado por:	Jaime Andrés Flórez

OBJETIVO

Definir las especificaciones de entrada para la reconversión de un Torno de control numérico EMCO 220, ubicado en las instalaciones de la universidad EAFIT Medellín.

ALCANCE

El presente documento se emplea como base para el proceso de reconversión de un torno de control numérico CNC EMCO 220 y como lista de chequeo de los aspectos técnicos que deben irse validando durante el proceso.

Las especificaciones de entrada a continuación descritas, dan cuenta de las variables más significativas a tener en cuenta durante el proceso de reconversión, del Torno EMCO 220, se consideran aquí variables físicas y como las mecánicas, eléctricas y de uso como las formas, métodos y herramientas que deberán ser cumplidas y utilizadas durante el proceso.

Tabla 1. Especificaciones de diseño del producto.

ÍTEM	ESPECIFICACIONES TORNO EMCO 220-EAFIT	VALOR	UNID
1	ESPECIFICACIONES MECÁNICAS.		
	- Dimensiones disponibles para albergar el tablero de control. (0.46m x0.3mx0.15m)	0.018	m ³
	- Dimensión disponible para albergar el control eléctrico, (0.3m x0.25m x 0.12m)	0.009	m ³
2	PROCESOS QUE SE REQUIEREN REALIZAR EN EL TORNO.		
	- Refrentado		
	- Cilindrado		
	- Taladrado		
	- Roscado		
	- Ranurado		
	- Tronzado		
	- Moleteado		
	- Chaflanado		
3	MATERIALES A MAQUINAR. (Según aplicación en el area de Mecatronica).		
	- Acero AISI SAE1020		
	o Diámetro de mecanizado (D_m)	88	mm
	o Avance por revolución (f_n)	0,625	mm/rev
	o Profundidad de corte (ap)	1.2	mm
	o Dureza Brinell	143	HB
	- Duraluminio L-2120		
	o Diámetro de mecanizado (D_m)	88	mm
	o Avance por revolución (f_n)	1.6	mm/rev
	o Profundidad de corte (ap)	3	mm
	o Dureza Brinell	85-90	HB
	- Polímeros (Nylon)		
	o Diámetro de mecanizado (D_m)	88	mm
	o Avance por revolución (f_n)	1.6	mm/rev
	o Profundidad de corte (ap)	5	mm

	o Dureza Shore. (DIN 53505)	D75	
1.4	ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS		
	- Suministro disponible de voltaje.	220	VAC
	- Suministro disponible de corriente.	20	A
	- Conexión a toma trifásica con 3 fases mas tierra.	220	VAC
	- Conexión para toma doble.	110	VAC
1.5	ESPECIFICACIONES DE USO Y OPERACIÓN		
	- Facilidad para cambio constante del líquido refrigerante.		
	- Sistema de lubricación automático para las guías fijas de los ejes X y Z.		
	- Sistema de refrigeración para Torneado de materiales duros.		
	- Sistema de encendido independiente, Para el control y la potencia.		
1.6	ESPECIFICACIONES DE SEGURIDAD		
	- Paro de emergencia de fácil acceso.		
	- Detección de final de carrera para cada eje X y Z.		
	- Detección de posición Home para cada eje X y Z.		
	- Detección de posición del actuador que opera el contrapunto.		
1.7	ENTREGABLES		
	- Información (hoja de datos) de los elementos que pudieran reemplazar algunas piezas del Torno.		
	- Documento anexo para la configuración del nuevo sistema de control.		
	- Algoritmos (Código o pseudocódigo), si fue necesario programar elementos diferentes al control principal del equipo.		
	- Planos mecánicos de las piezas o partes existentes y de aquellas susceptibles a cambio o rediseño.		
	- Lista de partes mecánicas y eléctricas.		
	- Cálculo para la selección de partes nuevas.		
	- Resultados de pruebas		
	- Muestra funcional		

8	OTROS ENTREGABLES.		
	- Costo final de la repotenciación del equipo, mano de obra, que incluye: Costo del proyecto con partes mecánicas y accesorios eléctricos electrónicos.		
	- Tiempo de diseño y desarrollo:	10	meses

Fuente: Elaboración propia.

NOTA: se restringe el uso de materiales los siguientes materiales a mecanizar:

- Maderas naturales y laminadas.
- Cerámicos.

Debido a su alto poder abrasivo y al ser materiales que no están realionados con el area de mecatronica y mecánica experimental.

5 DIAGNOSTICO DEL SISTEMA

El término diagnóstico indica el análisis que se realiza para determinar la situación de un sistema, maquina o parte de una maquina, Esta determinación se realiza sobre la base de informaciones, datos, hechos recogidos y ordenados sistemáticamente, que permiten juzgar mejor qué es lo que está pasando. El diagnostico es un método muy usado en mantenimiento de maquinas y equipos permite conocer mejor el equipo y sus subsistemas, además ayuda a planificar rigurosamente el trabajo de recambio de partes.

Para este proyecto es indispensable realizar un diagnostico, por el estado del equipo y tiempo de inactividad será necesario ejecutar una serie de inspecciones a cada uno de los subsistemas, para el torno EMCO 220 se han identificado 4 subsistemas: (software, electrónico, neumático y mecánico), más adelante se hará una descripción breve de cada subsistema y un listado de las partes que los componen para seleccionar cuales de estas serán susceptibles de diagnostico o reposición.

Antes de iniciar el diagnostico de los subsistemas será interesante realizar un Inventario general de la información existente relacionada con este equipo por ejemplo: planos, documentos, informes cotizaciones, registros de mantenimientos etc.

La metodología anteriormente descrita facilitara la comprensión y magnitud del proyecto logrando la obtención de criterios que permitirán seleccionar o diseñar los elementos o partes necesarios para regresar la maquina en lo posible a sus condiciones iniciales de funcionamiento.

5.1 INFORMACIÓN EXISTENTE.

A continuación se presenta un listado de los documentos encontrados los cuales hacen referencia a la maquina torno EMCO 220 serie básica, la información a continuación descrita fue suministrada casi en su totalidad por el taller de maquinas y herramientas de la Universidad EAFIT.

Tabla 2. Documentos Torno EMCO 220.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
D1-E220-IM062-EU	Documento en (pdf), que hace referencia al “Análisis del estado y medidas necesarias para prever el funcionamiento en un centro de manufactura flexible” compuesto por los equipos: Torno EMCO TURN, centro de maquinado vertical Benchman BXT, y Robot EAFIT-AEROTECH, no tiene autoría ni fecha de realización.
D2-E220-IM062-EU	Documento en (pdf), contiene contrato de prestación de servicios en proyecto de celda flexible de manufactura, entre la Universidad EAFIT y el Ingeniero Hans Ley. Autoría (ingeniero Hans Ley), este documento contiene, una propuesta de reconversión del Torno EMCO 220, utilizando la plataforma LINUX y tarjetas electrónicas que complementan el funcionamiento del equipo.
D3-E220-IM062-EU	Documento Escrito, “Electrical Documentation”, contiene algunos planos eléctricos de torno EMCO-220. Edición: 94-4 versión 1, Referencia: VS 2722 Autor: EMCO (Abril de 1992)

D4-E220-IM062-EU	<p>Documento Escrito, contiene planos eléctricos, lista de partes y sistemas y “Modo de Empleo un Torno EMCO-TURN120/120P con EMCOTRONIC TM02”.</p> <p>Edición: 1991</p> <p>Referencia: SP2725</p> <p>Autor: EMCO</p>
D5-E220-IM062-EU	<p>Documento Escrito, contiene “Manual de programación EMCOTRONIC TM02”. (Torneado).</p> <p>Edición: 91-5</p> <p>Referencia: SP4 247</p> <p>Autor: EMCO (Mayo de 1991)</p>
D6-E220-IM062-EU	<p>Documento Escrito, contiene planos eléctricos, lista de partes y sistemas y “Modo de Empleo un Torno EMCO-TURN220 con EMCOTRONIC TM02”.</p> <p>Edición: 89-11</p> <p>Referencia: SP2370</p> <p>Autor: EMCO</p>

Fuente: (elaboración propia)

La documentación descrita en la Tabla 2, se considera útil en un 30%, el 70% restante es documentación que hace referencia a otros modelos de la misma marca, los cuales no ofrecen mucha coincidencia en su aspecto funcional y estructural.

Otros documentos hallados corresponden a propuestas de investigación en manufactura o propuestas para la reconversión del equipo por parte de contratistas de la universidad en años anteriores.

Uno de los documentos más útiles es el documento denominado como: “Modo de Empleo de un Torno EMCO-TURN220” donde se incluye una descripción detallada de los subsistemas de un torno EMCO 220, así como características técnicas y algunos esquemas o planos de los sistemas electro neumáticos.

Desarrollo del diagnostico de los subsistemas instalados en el torno.

- Diagnostico Interface con el Usuario o Software.

El sistema de control o interface de control, usado originalmente por el torno EMCO 220, se conoce como EMCOTRONIC TM02, denominado así por el fabricante, del sistema EMCOTRONIC TM02, solo se hallaron los manuales de programación, documento codificado como: “D1-E220-IM062-EU”, Y un listado con datos técnicos encontrado en el documento “D6-E220-IM062-EU” los cuales permitirán identificar el reemplazo del sistema operativo para el Torno EMCO 220, a continuación algunos de los datos técnicos más significativos, del control EMCOTRONIC TM02, se describen a continuación:

- Control de trayectoria de 2 ejes con microprocesador.
- Interpolación circular y lineal en 2D
- Memorias de programas para 20kB, (aproximadamente 110m de cinta perforada).
- Visualización de posición Real.
- Visualización de recorrido restante.
- Control de velocidad de giro del Husillo
- Corrección de la herramienta.
- Pantalla de 9" en blanco y negro.
- Modalidades de funcionamiento.
- Funcionamiento manual, (desplazamiento manual de los carros).
- Ejecución de la memoria de entrada.
- Entrada de programa mediante teclado, interfaces, registro de datos de herramientas, registro de desplazamiento de posición).
- Ejecución automática de los programas de NC.
- Sub modalidades de funcionamiento.
- Registro individual, registro oculto, marcha en seco, punto de referencia, estado, gráficos.
- Formato de programas.
- Estructura según DIN 66025 (ISO 1056), Entrada de punto decimal.
- Entrada/salida de datos.
- Interface RS232C (24V y 20mA), 150-4800 baudios.
- Grabadora de cassettes (Phillips MDCR) 600 caracteres/s (equivalente a 6 kbaudios).

5.2 DIAGNOSTICO DE SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO.

Durante este proceso se evidencio el cambio de modelo en el sistema de control realizado por un contratista externo a la Universidad EAFIT, durante los años de 2004 a 2005, el modelo de control hallado es un sistema de control de equipos usando el puerto paralelo de un PC, para el control de los motores y la adquisición de datos provenientes de los sensores digitales.

Según entrevista con el asistente del laboratorio de Maquinas herramientas, el sistema no logro el desempeño esperado y el proceso de reconversión con este contratista se detuvo.

Ilustración 13. Foto recepción del equipo.






Fuente: Elaboración propia.

Al momento de la recepción del equipo por parte del laboratorio de Mecatrónica de la Universidad EAFIT, no se evidencio el uso de un PC ò algún otro dispositivo como un CNC.

A continuación se hará un listado de las partes eléctricas electrónicas con las que originalmente vino dotado el equipo, donde además se determina si estas partes se encontraban instaladas en la maquina al momento de la recepción.

Listado de partes o piezas eléctricas electrónicas de un torno EMCO 220 configuración básica.

Tabla 3. Componentes eléctricos electrónicos instalados, torno EMCO 220.

ÍTEM	IMAGEN	PIEZA	INSTA-LADO.	FUNCI-ONA
1	---	Tablero de control electrónico.	No	No
2	---	Transformador de aislamiento DTS 5/5 KVA Ref. 271 030-3x208VAC.	No	No
3		Servomotor del Husillo principal. TYP: GNA FF 100 LV – 380VAC, con su respectivo Motor de de enfriamiento.	si	si
4	---	Controlador de husillo principal	No	No
5	---	Lámpara de iluminación.	No	No
6		Moto Bomba hidráulica. WILLY VOGEL 122 024 510	si	si
7		Moto Bomba SIEMENS Ref. 2AB1 122- 0XA-Z 220V 0.52 A, para suministro de líquido refrigerante.	si	si
8		Motor DC MAXON ref. 2332-968-21-216-200, para realizar el cambio de herramienta.	si	si

9	---	Paro de emergencia.	si	no
10		Sensores inductivos, conectados al pistón del contrapunto.	si	si
11		Electroválvulas.	si	50%
12		Sistema de relés. (Imagen extraída de otro modelo).	Si	no
13		Motor ejes X y Z referencia. RDM 595/50 BERGER LAHR.	no	no
14		Encoder del husillo principal.	si	si
15		Encoder del sistema Portaherramientas.	si	si

Fuente: Elaboración propia.

- Tablero de de control electrónico:

Este dispositivo no fue localizado instalado en la maquina por tal motivo resulta imposible realizar un análisis o diagnostico, la conclusión es que el tablero no se encontró instalado en la maquina al momento de la recepción.

- Transformador de aislamiento DTS 5/5 KVA:

Este elemento al igual que el anterior no fue encontrado instalado en la maquina por lo que también fue imposible de diagnosticar.

- Servomotor del Husillo principal:

Este elemento si fue encontrado instalado en la maquina, pero debido a la configuración de motor compuesto fue muy difícil poner en funcionamiento en el numeral 1. Del Anexo K se muestran con mayor detalle las pruebas realizadas a este elemento y los parámetros con los cuales se tomó la decisión de no utilizar este motor para la reconversión del torno EMCO 220.

- Controlador de husillo principal:

Este dispositivo no se encontró instalado en la maquina, esta fue una de las razones por las cuales, el elemento anterior Servomotor del Husillo principal, no se logró utilizar en el proceso de reconversión.

- Lámpara de iluminación:

Elemento no encontrado instalado en la maquina.

- Moto Bomba hidráulica. WILLY VOGEL 122 024 510.

Este elemento se encontró instalado en la maquina en Anexo K, se pueden observar las pruebas realizadas a este elemento, las cuales demostraron que este se encontraba en perfectas condiciones de operación, por lo cual su utilización en el proceso de reconversión es evidente.

- Moto Bomba SIEMENS Ref. 2AB1 122- 0XA-Z 220V 0.52 A.

Este elemento se encontró instalado en la maquina en el Anexo K, muestra con más detalle las pruebas realizadas a este elemento, las cuales demuestran la viabilidad de utilización en la repotenciación del equipo.

- Motor DC MAXON ref. 2332-968-21-216-200.

Este elemento se encontró instalado en la maquina se realizaron pruebas de movimiento y torque, ya que este elemento es el encargado de, transmitir el movimiento, al sistema portaherramientas, las pruebas fueron satisfactorias, el numeral 4. Del Anexo H, muestra con más detalle las pruebas realizadas sobre este elemento, el cual podrá ser usado para la reconversión del equipo.

- Paro de emergencia.

Este elemento no fue encontrado instalado en la maquina, debido a su naturaleza simple este elemento, es muy viable la utilización de un nuevo elemento de este tipo para la reconversión del equipo.

- Sensores inductivos, conectados al contrapunto.

Estos sensores se encontraron instalados en la maquina, y funcionan correctamente.

- Electroválvulas.

Estos elementos se encontraron instalados en la maquina, las seis electroválvulas con la que originalmente viene este equipo se encontraron funcionando correctamente, se realizaron pruebas de accionamiento de cilindros y estos respondieron de acuerdo a lo esperado.

- Motor ejes X y Z referencia. RDM 595/50 BERGER LAHR.

Estos elementos no se encontraron instalados en la maquina, al momento de la recepción se encontraron otro tipo de motores de paso, instalados por personal de laboratorio de maquinas herramientas de la Universidad EAFIT, estos motores fueron entregado de nuevo al personal del laboratorio de herramientas ya que las

especificaciones diferían en gran medida de las especificaciones de los motores originales, en el numeral 6. Del Anexo G.

- Encoder del husillo principal.

Este elemento se encontró instalado en la maquina, funciona correctamente, es un encoder que, posee una entrada de alimentación, dos canales de dirección A y B y por ultimo un canal encardado de conteo de vueltas, de estas tres señales la más útil para el nuevo sistema será la señal de conteo de vuelta, para poder realizar trabajos de roscado.

- Encoder sistema Portaherramientas.

Este elemento, se encontró ubicado en la maquina funciona correcta mente el numeral 4, del Anexo H, indica con mayor detalle la configuración de las señales producidas por este elemento.

Es importante mencionar que originalmente el torno EMCO 220, serie básica cuenta con un sistema de cableado, el cual permite conectar cada parte del subsistema eléctrico – electrónico, específicamente para la maquina en cuestión el torno EMCO 220 de la Universidad EAFIT, se encontró con menos del 50% de su cableado original.


Algunos otros elementos no mencionados en este capítulo, no tienen mucha trascendencia sobre la funcionalidad del equipo, además todavía tienen vigencia en el mercado eléctrico electrónico, por lo que se decidió no mencionarlos.



5.3 DIAGNOSTICO DE SISTEMA MECÁNICO Y NEUMÁTICO.

Listado de componentes instalados en la maquina, Torno EMCO 220 a enero de 2011, la Tabla 4 hace referencia a los componentes instalados en la maquina pero no describe su estado, solo es parte del inventario realizado al equipo y contribuye al diagnostico de la maquina.

Tabla 4. Componentes mecánicos instalados, torno EMCO 220.

ÍTEM	IMAGEN	PIEZA	INST.
1		Bancada revestida de la maquina, con guías tipo cola de milano.	si
2		Soporte para motor del spindle.	si
3		Polea dentada del motor del spindle.	si
4	-----	Polea dentada motores ejes X y Z.	no
5		Carro longitudinal, (Compuesto de Sistema tuerca tronillo).	si
6		Carro transversal, (Compuesto de Sistema tuerca tronillo).	si
7		Plato porta herramientas.	si
8		Mecanismo de transmisión de movimiento para el plato portaherramientas.	si

9		Soporte para sujeción de husillos de bolas en ejes X y Z.	si
10		Soporte para Contrapunto.	si
11		Sistema de automático para alimentación de material, con Actuador mecánico para cierre de mordaza.	si
12		Mordaza para sujeción de pieza	si
13		Mecanismo para recepción y almacenamiento de piezas.	si
14		Carcasa para ubicación de sistema de relés.	no
15		Bancada soporte principal de todo el sistema mecánico.	
16		Actuador neumático con su respectiva electroválvula para recepción y almacenamiento de piezas.	

17		Actuador neumático con su respectiva electroválvula para activación de sistema de contrapunto, incluye Conjunto de 3 sensores inductivos que proporcionan la retroalimentación del la posición del contrapunto.
18		Unidad de mantenimiento neumático incluye 2 manómetros de 0-10 bares y válvulas reguladoras de presión.

Elaboración propia

5.3.1 CONCLUSIONES DE DIAGNOSTICO REALIZADO AL EQUIPO.

- Sistema mecánico y neumático.

Es importante destacar que las tapas y elementos que conforman la parte exterior del sistema mecánico, no se mencionan con gran detalle en este diagnostico ya que no se consideran elementos que pueden de algún modo dificultar la operabilidad del equipo, a modo de información más del 80% de estas tapas o carcasas fueron encontradas instaladas en la maquina, el 20% restante serán elementos considerados susceptibles de diseño o selección según sea el caso.

También es importante destacar que el sistema mecánico, al igual que el sistema neumático son los sistemas más completos, esto permitirá inicialmente centrar toda la atención en los sistemas eléctricos, electrónicos y de control (software y Hardware).

- Sistema eléctrico electrónico

Este sistema presenta un porcentaje de partes instaladas y en funcionamiento aproximadamente del 40%, las partes que encuentran operando correctamente no representan una importancia para la operabilidad del equipo, de tal forma si se considera al control y al sistema motriz como un 80% del sistema eléctrico electrónico.

Se estaría hablando de un de una porcentaje de partes eléctricas electrónicas funcionando correctamente de un 20%, es evidente que al no contar con los motores que desplazan los ejes X y Z, se tendrá que hacer énfasis en la reposición inmediata de éstos o que puede significar un incremento en los costos de repotenciación del equipo.

El motor del husillo principal o spindle, no posee un control para su operación este fue encontrado en mal estado y su operabilidad al 100% se muestra en duda debido a la complejidad de su estructura interna.

Sistema de control o interface de usuario.

El sistema de control principal no se encontró instalado por lo que se deberá incluir en la selección de partes susceptibles de selección.

Sistema de control o interface de usuario.

Como se menciona anteriormente este subsistema no tiene nada instalado, por lo que se deberá, seleccionar una nueva interface de usuario y un sistema de control para todo el sistema eléctrico electrónico y motriz.

El capítulo siguiente hará uso de las herramientas de cálculo y especificaciones de fabricante en algunos casos para facilitar el proceso de selección de partes susceptibles de reposición, además cálculos de motores y sistemas de transmisión y selección de componentes según especificaciones originales

6 DISEÑO Y SELECCIÓN DE PARTES.

El diagnostico realizado a todos los sistemas del Torno EMCO 220, indica que una gran cantidad de estos elementos debe ser cambiado ò implementado, a continuación se presentan una serie de cálculos y modelos para la selección de estas partes en cada uno de los sistemas de este equipo los cuales se han dividido así:

- SISTEMA MECÁNICO.
- SISTEMA DE CONTROL Y SOFTWARE.
- SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO.
- SISTEMA ELECTRO-NEUMÁTICO.

Estos sistemas evidentemente deben ser intervenidos debido al estado en el que se encuentra el equipo, para dar un determinado orden de funcionalidad a este capítulo se empieza calculando y seleccionando las partes mecánicas luego se seleccionan las partes más importantes del sistema eléctrico electrónico como lo son controladores de motores y sistema de interpolación cartesiana y por último se selecciona el control más adecuado para esta aplicación.

A continuación se presenta un listado de las partes que se deberán seleccionar o calcular en el sistema eléctrico electrónico, incluyendo tarjetas de control y motores.

A continuación la tabla 5, muestra los componentes que deberán ser calculados y seleccionados para restablecer el sistema eléctrico electrónico del torno EMCO 220.

6.1 SISTEMA MECÁNICO.

Tabla 5. Listado de partes mecánicas, para selección o calculo.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN.
2	Piñones para los motores X y Z.
2	Poleas para los tornillos de los ejes X y Z.
2	Bandas para ambos sistemas de transmisión.
1	Calculo Motor para husillo principal.
1	Calculo Motor para el desplazamiento del eje X
1	Calculo Motor para el desplazamiento del eje Z
2	Platina para soporte de motores ejes X y Z
1	Platina para protección de tornillo eje Z.
1	Carcasa frontal.
1	Carcasa

Fuente: (elaboración propia).

- Selección de los piñones, poleas y bandas para transmisión de movimiento desde los motores a los ejes X y Z.

L: longitud de la banda en pulgadas

C: distancia entre centros de poleas

D: paso de la polea de mayor diámetro

d: paso de la polea de menor diámetro

Los valores de las anteriores variables todos en pulgadas.

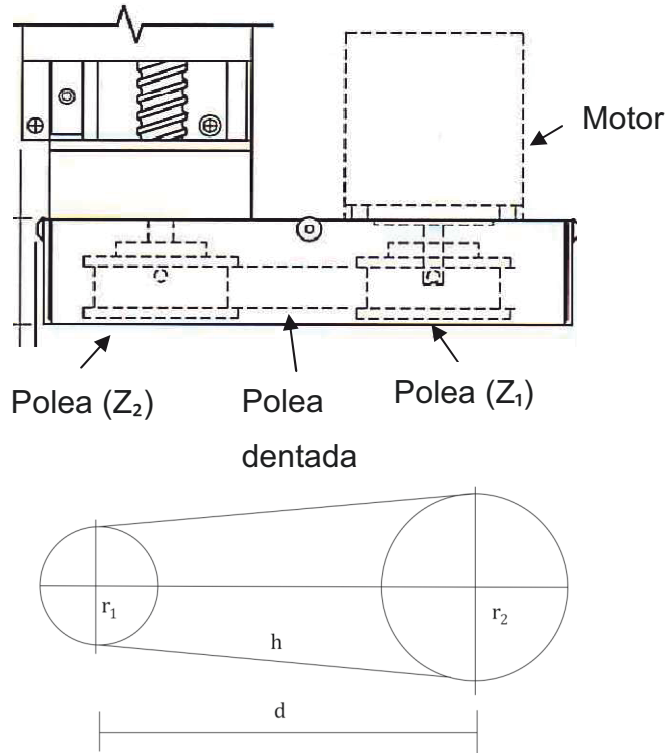
D (IN)	d (IN)	C(IN)
2,546	1,253	2,4

$$L = 2C + \frac{(D - d)^2}{4C} + 1,57(D + d)$$

$$L = 2C + \frac{(2,546 - 1,253)^2}{4 * 2,4} + 1,57(2,546 + 1,253)$$

L (IN)
10,93858094
L ≈ 12 IN

Ilustración 14. Sistema de transmisión de potencia por poleas.



- Selección de poleas eje X y Z

$$P_2 = 2\pi \phi_2$$

$$\phi_2 - P_2$$

$$\frac{\phi_1}{2} - P_1 =$$

$$\text{Pendiente} = 2\pi r$$

$$P_1 = 2\pi \phi_1$$

C; distancia entre centros

$\frac{1}{2} \cdot \frac{20}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{20}{2}$
$\frac{1}{2} \cdot \frac{20}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{20}{2}$
$\frac{1}{2} \cdot \frac{20}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{20}{2}$
$\frac{1}{2} \cdot \frac{20}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{20}{2}$
$\frac{1}{2} \cdot \frac{20}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{20}{2} = 15,75\text{mm}$
$\frac{1}{2} \cdot \frac{20}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{20}{2}$
$\text{banda} = \frac{20}{2} + \frac{20}{2} + 2 \cdot 65 = 2(32,05) + 2(15,75) + 2(65)$ $= 100,06 + 49,5 + 130$
$\text{banda} = 280\text{mm} \sim 280/2 = 140$
$\text{Perímetro 1} = 201,065 \sim 100,5$
$\text{Perímetro 2} = 100,5 \sim 50,25$
$100,5 + 50,25 + 2(66) = 282,75 \sim 279,40\text{m} = 110\text{XL}$
$279,40 = 110\text{XL} = 11''$

Valores de los diámetros de las poleas que se utilizaran para reemplazo de las originales. (Ver planos de estos elementos en el Anexo G).

Tabla 6. Características de las poleas y piñones seleccionados para los ejes X y Z.

Descripción	Cantidad	referencia
diámetro del piñón motores $Z_{20} \times 20$ (mm)	32	20XL-037
Numero de dientes de los piñones.	20	
diámetro polea tornillos $Z_{40} \times 20$ (mm)	64	40XL-037
Numero de dientes de las poleas.	40	
Longitud de la banda.(mm)	280	110XL
Relación de transmisión.	2	

Fuente: elaboración propia.

- Calculo de la potencia y velocidad angular para el motor del husillo principal

Tabla 7. Definición de variables para los cálculos mecánicos.

DENOMINACIÓN	DEFINICIÓN	UNIDADES
(cte1)	Constante para la determinación del numero de revoluciones	---
(Dm)	diámetro de la pieza	(mm)
(L)	Longitud de corte de los ejes	(mm)
(cte2)	Constante para la determinación del número de la potencia de corte.	---
(η)	Eficiencia del sistema de transmisión de movimiento.	----
(ap)	Profundidad de corte específica para cada material.	(mm)
(s)	Avance de corte.	(mm/rev)
(Vc)	Velocidad de corte específica para cada material.	(m/min)
(n)	numero de revoluciones del husillo	(rev/min)
(Kc)	fuerza especifica de corte, para una profundidad de corte de 0.4mm	(N/mm ²)
(fc)	Fuerza de corte.	(N)
(Pc)	Potencia de corte.	(KW)- (Hp)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Características técnicas del equipo.

cte1 (RPM)	(Dm) max pieza (mm)	(L) longitud, (mm) de corte eje Z	(L) longitud, (mm) de corte eje X	cte2 (Pc)	() eficiencia	factor de Kw - Hp
1000	88	131	75	60000	0,8	0,745

Fuente: (documento ref. D6-E220-IM062-EU)

Tabla 9. Condiciones iniciales de propósito general, torneado.

# Mat.	Material de la pieza	(ap.)profundidad de corte (mm)	(s) avance, (mm/rev)	(Vc) velocidad de corte, (m/min)
1	Aceros aleados	3	0,350	90
2	Aleaciones de Cu y Latón	3	0,250	260
3	Aluminio Técnico	3	0,325	490

Fuente: (Metal Tablas, 1979)

Valores de las variables de operación para uso de propósito de torneado general.

# Mat.	(n) numero de revoluciones RPM	(Kc) fuerza especifica de corte, (Mpa)	(fc) fuerza de corte en (N)	(Pc) Potencia de corte.	
		kc en (N/mm ²)	$f_c = K_c * a_p * f_n$	$\frac{K_c * a_p * f_n}{60}$	$\frac{K_c * a_p * f_n}{746}$
1	325,554	2000	2100	3,94	2,933
2	940,489	700	525	2,84	2,118
3	1772,460	500	487,5	4,98	3,707

Tabla 10. Intervalo para rectificado y acabado, torneado.

# Mat.	Material de la pieza	(ap) profundidad de corte (mm)	(s) avance, (mm/rev)	(Vc) velocidad de corte, (m/min)
1	Aceros aleados	2	0,625	97,5
2	Aleaciones de Cu y Latón	2	0,45	320
3	Aluminio Técnico	2	0,325	435

Fuente: (JUTZ, 1979)

Valores de las variables de operación para rectificado y acabado del material, en un proceso de torneado.

# Mat.	(n) numero de revoluciones	(Kc) fuerza especifica de corte, (Mpa)	(fc) cálculos de fuerza de corte en (N)	(Pc) Potencia de corte.	
				(KW)	(Hp)
	$n = \frac{V_c}{f_c \cdot a_p}$	kc en (N/mm ²)	$f_c = K_c \cdot a_p \cdot f_n$		
1	352,68	2000	2500	5,08	3,783
2	1157,52	700	630	4,20	3,129
3	1573,51	500	325	2,95	2,194

Fuente: elaboración propia

Tabla 11. Requerimientos para la selección del Motor del Husillo.

Potencia requerida		velocidad angular requerida	
(KW)	(Hp)	RPM	Rad/s
5,078	3,783	1772,46	185,61

Fuente: elaboración propia.

Valores máximos, con parámetros obtenidos del PDS, Tabla 1.

- Cálculo del torque requerido por el motor que desplaza el sistema en los ejes X y Z.

Tabla 12. Aplicación horizontal (eje Z).

A	$T_{Total-Accel} = T_{ACC} + T_{Friccion} + T_{Breakaway} + T_{Gravity}$
B	$T_{Total-Constant} = T_{Friccion} + T_{Breakaway} + T_{Gravity}$
C	$T_{Total-Decel} = T_{ACC} - T_{Friccion} - T_{Breakaway} - T_{Gravity}$

Fuente: (LinTECH, 2000)

DEFINICIÓN DE VARIABLES.

$T_{Total-Accel} = T_a =$ Torque requerido para aceleracion.

$T_{Total-Constant} = T_c =$ Torque con velocidad constante.

$T_{Total-Decel} = T_d =$ Torque requerido para desaceleracion.

$T_{ACC} =$ torque requerido para acelerar la carga, [N * cm].

$T_{Friccion} =$ Torque de friccion causado por la precarga del tornillo,

[N * cm]

$T_{Breakaway} =$ Torque necesario para comenzar el movimiento, [N * cm]

su valor es de 2 a 2.5 veces el valor del torque de friccion producido por la precarga.

$T_{Gravity} =$ Torque requerido para superar la fuerza de gravedad.

Fuente: (LinTECH, 2000)

Torque requerido para movimiento acelerado del eje Z.

$$T_{Total-Accel} = T_{ACC} + T_{Friccion} + T_{Breakaway} + T_{Gravity}$$

$$\bullet \quad T_{ACC} = (J_{piñon} + J_{Srew}) + \left(\frac{Z_1}{Z_2}\right)^2 [(J_{polea} + J_{Motor}) + J_{load}] \frac{\omega}{t_a}$$

J_{Load} : momento de inercia de la carga, [kg * cm²]

$J_{piñon}$ = momento de inercia del piñon, [kg * cm²]

J_{Srew} : momento de inercia del tornillo, [kg * cm²]

Z_1 : numero de dientes del piñon.

Z_2 : numero de dientes de la polea.

J_{polea} : momento de inercia de la polea, [kg * cm²]

J_{Motor} : momento de inercia del rotor del motor, [kg * cm²]

L : paso del tornillo [cm]

D : diametro del tornillo [cm]

M_{load} = masa de la carga, [kg]

M_{Other} = masa de otras partes, [kg]

η = eficiencia del tornillo de bolas (90% = 0.9)

g = aceleracion de la gravedad $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

ω = velocidad angular $\left[\frac{rad}{s}\right]$

t_a = tiempo de avance en rapido [s]

- Cálculo de los momentos de Inercia del sistema, sobre el eje Z.

$$J = \frac{\pi\gamma}{32} D^4 l \text{ [kg * cm}^2\text{]}$$

$$J_1 = J_{\text{piñon}} = \frac{\pi(7,8 * 10^{-3}) \text{kg/cm}^3}{32} * (3,2 \text{cm})^4 * 1,4 \text{cm}$$

Inercia del piñon
$J_1 = 0,1124 \text{kg * cm}^2$

Inercia ejercida por el rotor del motor ejes X y Z
$J_4 = J_{\text{Motor}} = 0,340 \text{[kg * cm}^2\text{]}$

$Z_1 = 20$; numero de dientes del piñon.

$Z_2 = 40$; numero de dientes de la polea.

$$J_{\text{polea}} = J_2 = \frac{\pi(7,8 * 10^{-3}) \text{kg/cm}^3}{32} * (6,4 \text{cm})^4 * 1,4 \text{cm}$$

Inercia de la polea
$J_2 = 1,798 \text{kg * cm}^2$

$$J_{3z} = \frac{\pi * \left(7,7 * \frac{10^{-3} \text{kg}}{\text{cm}^3}\right)}{32} * (1,2 \text{cm})^4 * 27 \text{cm}$$

momento de inercia del tornillo
$J_{\text{srew}} = J_{3z} = 0,0423 \text{[kg * cm}^2\text{]}$

$$J_{\text{Load}} = M_{\text{load}} \left(\frac{L}{2\pi}\right)^2$$

Masa que debe desplazar el motor del eje Z.

$$M_Z = M_{ejeZ} + M_{ejeX}$$

$$M_Z = 22,5 + 17,4$$

Masa sobre el eje Z
$M_Z = 39,9kg$

$$J_{Load} = (M_{load} + M_{ejeX}) \left(\frac{0,5cm}{2\pi} \right)^2$$

$$J_{Load} = (39,9kg) \left(\frac{0,5cm}{2\pi} \right)^2$$

<i>momento de inercia de la carga</i>
$J_{Load} = J_{5z} = 0,2526 [kg * cm^2]$

- Calculo de la velocidad angular, para un avance en rápido del eje Z.

$$\omega_{motor} = \text{velocidad angular} \left[\frac{rad}{s} \right]$$

La velocidad de avance para los ejes X y Z del torno EMCO 220 se encuentran en el manual, (MODO DE EMPLEO DE EMCO TURN 220), en el numeral 2 donde se especifican las características técnicas del equipo.

Velocidad de avance max.

$$V = 3000 \left[\frac{mm}{min} \right] \rightarrow V = 3 \left[\frac{m}{min} \right]$$

El avance por revolución del sistema de transmisión de ambos ejes es de:

$$sa = 2,5 \left[\frac{mm}{rev} \right]$$

Por consiguiente de la siguiente expresión se despeja la velocidad angular requerida por el sistema el motor, para desplazar este carro a esa velocidad.

Interpolando exponencialmente, para obtener el valor de precarga para un tornillo de 12mm de diámetro se obtiene el valor de 2,7 N

El valor de precarga corresponde a un 10% de la carga estática permisible por un tornillo de 12mm de diámetro por lo tanto.

$$F_p = 0,1 \cdot F_{est} = 0,1 \cdot 27000 = 2700 \text{ N}$$

Calculo del torque originado por la fricción de las partes móviles del eje Z.

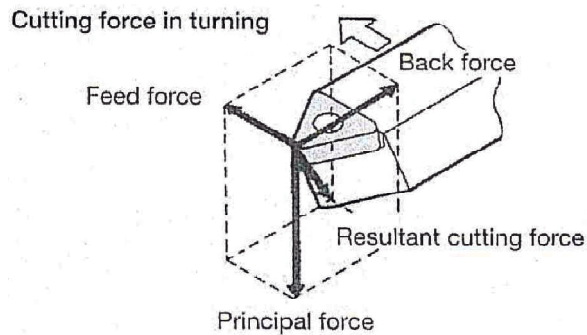
$$T_f = \frac{F_p \cdot d \cdot \mu}{2} = \frac{2700 \cdot 0,012 \cdot 0,15}{2} = 24,3 \text{ Nm}$$

La fuerza de avance para el eje Z del torno EMCO 220 se encuentra en el manual, (MODO DE EMPLEO DE EMCO TURN 220), en el numeral 2 donde se especifican las características técnicas del equipo.

Fuerza de avance en Z.

$$F_z = 2000 \text{ N}$$

Ilustración 15. Acción de la fuerza de corte F_c , sobre el eje Z



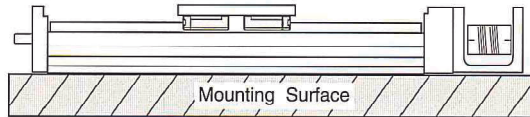
Fuente: (MISUMI, 2004)

$$\tau_z = \tau_{z0} \cos \theta$$

$$\tau_z = \tau_{z0} \cos 0$$

$$\tau_z = \tau_{z0} \cdot 1$$

Ilustración 16. Movimiento horizontal eje Z, $\theta = 0$; $\cos \theta = 1$.



Fuente: (LinTECH, 2000)

$$\tau_{z0} = \frac{F_{load} \cdot L}{2}$$

$$\tau_{z0} = \frac{m \cdot g \cdot L}{2}$$

Torque requerido para superar la fuerza de gravedad sobre el eje Z.

$$\tau_z = \tau_{z0} \cos \theta$$

$$\tau_z = \tau_{z0} \cos 0$$

$$\tau_z = \tau_{z0} \cdot 1$$

Para el desplazamiento del eje Z, desplazamiento horizontal, el Angulo (θ) de inclinación es igual a (0) por lo tanto el torque requerido por la gravedad también es (0). Por lo que la ecuación para el torque total requerido para un movimiento acelerado sobre el eje Z queda así:

$$\tau_z = \tau_{z0} \cos \theta$$

$$\tau_z = \tau_{z0} \cos 0$$

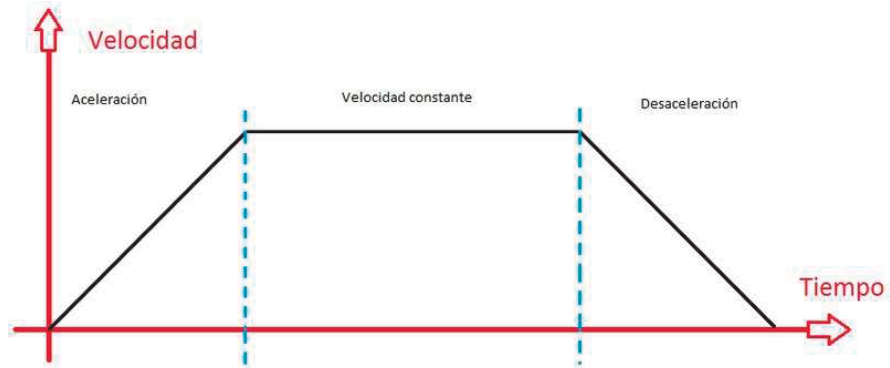
$$\tau_z = \tau_{z0} \cdot 1$$

$$\tau_z = \tau_{z0}$$

$$\tau_z = \frac{m \cdot g \cdot L}{2}$$

- Torque requerido para movimiento con velocidad constante sobre el eje Z

Ilustración 17. Rampa de velocidades eje lineal.



Fuente: (elaboración propia).

$$T_{Total-Constant} = T_{Breakaway} + T_{Friccion} + T_{Gravity}$$

$$T_{Gravity} = 0$$

$$T_{Total-Constant} = (5,6 + 132)[N * cm]$$

$$T_{Total-Constant} = 137,6[N * cm] \rightarrow T_{Total-Constant} = 1,37[N * cm]$$

- Torque requerido para movimiento con desaceleración sobre el eje Z

$$T_{Total-Decel} = T_{ACC} - T_{Breakaway} - T_{Friccion} - T_{Gravity}$$

$$T_{Gravity} = 0$$

$$T_{Total-Decel} = (394,6 - 5,6 - 132)[N * cm]$$

$$T_{Total-Decel} = 257[N * cm] \rightarrow T_{Total-Decel} = 2,57[N * m]$$

- Aplicación vertical movimiento ascendente (eje x).

Tabla 14. Aplicación vertical (eje X).

$T_{Total-Accel} = T_{ACC} + T_{Friccion} + T_{Breakaway} + T_{Gravity}$
$T_{Total-Constant} = T_{Friccion} + T_{Breakaway} + T_{Gravity}$
$T_{Total-Decel} = T_{ACC} - T_{Friccion} - T_{Breakaway} - T_{Gravity}$

Fuente: (LinTECH, 2000)

Torque requerido para movimiento ascendente, acelerado sobre el eje X.

$$T_{Total-Accel} = T_{ACC} + T_{Friccion} + T_{Breakaway} + T_{Gravity}$$

$$T_{ACC} = (J_{piñon} + J_{Srew}) + \left(\frac{Z_1}{Z_2}\right)^2 [(J_{polea} + J_{Motor}) + J_{load}] \frac{\omega}{t_a}$$

Cálculo de las inercias para el eje X.

$$J = \frac{\pi\gamma}{32} D^4 l [kg * cm^2]$$

$$J_1 = J_{piñon} = \frac{\pi(7,8 * 10^{-3})kg/cm^3}{32} * (3,2cm)^4 * 1,4cm$$

Inercia del piñon
$J_1 = 0,1124kg * cm^2$

Inercia ejercida por el rotor del motor ejes X y Z
$J_4 = J_{Motor} = 0,340[kg * cm^2]$

$Z_1 = 20$; numero de dientes del piñon.

$Z_2 = 40$; numero de dientes de la polea.

$$J_{polea} = J_2 = \frac{\pi(7,8 * 10^{-3})kg/cm^3}{32} * (6,4cm)^4 * 1,4cm$$

Inercia de la polea
$J_2 = 1,798kg * cm^2$

Velocidad angular requerida por el motor, para desplazar este carro a la velocidad (V).

$$\frac{V}{r} = \frac{V}{\frac{D}{2}} = \frac{2V}{D}$$

$$\omega = \frac{2V}{D}$$

Tiempo de aceleración para el eje X.

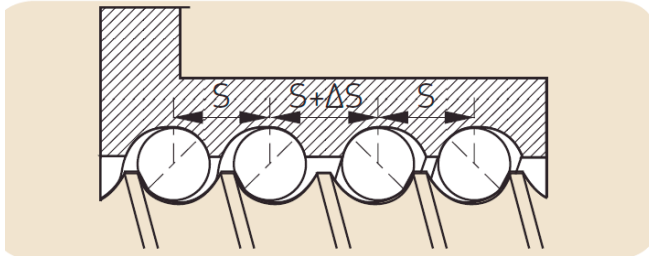
$$t = \frac{V}{a}$$

$$t = \frac{V}{\frac{V}{t}} = t$$

- Calculo del torque originado por la precarga de la tuerca sobre el tornillo.

$$T_{breakaway} = \text{Torque causado por la precarga del tornillo, } [N * cm]$$

Ilustración 18. Juego entre las pistas y bolas.



Precarga

Un desplazamiento Δs es rectificado en la pista de rodadura de la tuerca, entre dos series de recirculación. Este desplazamiento es realizado en una parte de la pista no utilizada. De este modo las bolas tienen dos puntos de contacto incluso bajo pequeñas cargas externas.

Fuente: (Husillos SKF, 2006)

Este efecto es disminuido por la precarga de la tuerca sobre el tornillo, disminuyendo el efecto pero creando un aumento del torque necesario, para iniciar el movimiento del sistema, conocido como $T_{breakaway}$.

$$T_{breakaway} = T_p = k \frac{P_L * L}{2\pi} [N * cm]$$

$$T_{breakaway} = T_p = 0,1373 \frac{510N * 0,5}{2\pi} [N * cm]$$

$$T_{breakaway} = T_p = 5,6 [N * cm] \rightarrow T_p = 0,056 [Nm]$$

- Calculo del torque originado por la fricción de las partes móviles del eje X. $[N * cm]$

$$T_{Friccion} = \frac{L * F_T * \cos 62^\circ}{2\pi\eta} [N * cm]$$

$$F_X = 2000N$$

$$F_T = \text{Fuerza de fricción, (N)}$$

- Diagrama de cuerpo libre para el movimiento sobre el eje X.

$$\sum F_Z = 0;$$

$$F_Z - F_T = 0$$

$$F_Z = F_T = 2000N$$

movimiento horizontal con $\phi = 62^\circ$; $\cos 62^\circ = 0,469$

$$T_{Friccion} = \frac{0,5cm * 2000N * 0,469}{2\pi * 0,9}$$

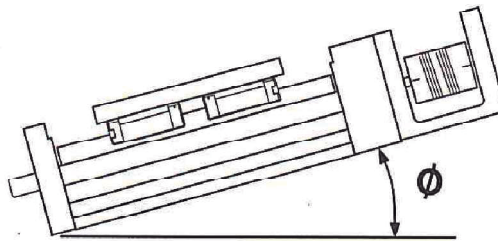
$$T_{Friccion} = 82.9[N * cm] \approx 0,82[N * m]$$

- Torque requerido para superar la fuerza de gravedad

*Torque requerido para superar la fuerza de gravedad, [N * cm]*

movimiento horizontal con $\phi = 62^\circ$; $\cos 62^\circ = 0,469$

Ilustración 19. Movimiento plano inclinado sobre el eje X 62° .



Fuente: (LinTECH, 2000)

$$T_{Gravity} = \frac{L(Mg) \sin 62^\circ}{2\pi\eta}$$

$$T_{Gravity} = \frac{0,5cm * (17,4kg * 9,81 \text{ m/s}^2) * \sin 62^\circ}{2\pi\eta}$$

$$T_{Gravity} = \frac{0,5cm * (17,4kg * 9,81 \text{ m/s}^2) * 0,469}{2\pi\eta}$$

$$T_{Gravity} = 7,07[N * cm]$$

- Torque requerido para el desplazamiento ascendente del eje X, con aceleración.

$$T_{Total-Accel} = T_{ACC} + T_{Breakaway} + T_{Friccion} + T_{Gravity}$$

$$T_{Total-Accel} = (194,77 + 5,6 + 82,9 + 7,07)[N * cm]$$

$$T_{Total-Accel} = 290,34 [N * cm] \rightarrow T_{Total-Accel} = 2,90 [N * m]$$

- Torque requerido para el desplazamiento ascendente del eje X, con velocidad constante.

$$T_{Total-Constant} = T_{Breakaway} + T_{Friccion} + T_{Gravity}$$

$$T_{Total-Constant} = (5,6 + 82,9 + 7,07)[N * cm]$$

$$T_{Total-Constant} = 95,57[N * cm] \rightarrow T_{Total-Constant} = 0,955[N * m]$$

- Torque requerido para el desplazamiento ascendente del eje X, con desaceleración.

$$T_{Total-Decel} = T_{ACC} - T_{Breakaway} - T_{Friccion} - T_{Gravity}$$

$$T_{Total-Decel} = (290,34 - 5,6 - 132 - 95,57)[N * cm]$$

$$T_{Total-Decel} = 57,17[N * cm] \rightarrow T_{Total-Decel} = 0,57[N * m]$$

APLICACIÓN VERTICAL MOVIMIENTO DESCENDENTE (EJE X).

Tabla 15. Aplicación vertical (eje X).

$T_{Total-Accel} = T_{ACC} + T_{Friccion} + T_{Breakaway} + T_{Gravity}$
$T_{Total-Constant} = T_{Friccion} + T_{Breakaway} + T_{Gravity}$
$T_{Total-Decel} = T_{ACC} - T_{Friccion} - T_{Breakaway} - T_{Gravity}$

Fuente: (LinTECH, 2000)

- Torque requerido para el desplazamiento descendente del eje x, con aceleración.

$$T_{Total-Accel} = T_{ACC} + T_{Friccion} + T_{Breakaway} - T_{Gravity}$$

$$T_{Total-Accel} = (194,77 + 5,6 + 82,9 - 7,07)[N * cm]$$

$$T_{Total-Accel} = 276,2 [N * cm] \rightarrow 2,76 [N * cm]$$

- Torque requerido para el desplazamiento descendente del eje X, con velocidad constante.

$$T_{Total-Constant} = T_{Breakaway} + T_{Friccion} - T_{Gravity}$$

$$T_{Total-Constant} = (5,6 + 82,9 - 7,07)[N * cm]$$

$$T_{Total-Constant} = 81,42[N * cm] \rightarrow T_{Total-Constant} = 0,841[N * cm]$$

- Torque requerido para el desplazamiento descendente del eje X, con desaceleración.

$$T_{Total-Decel} = T_{ACC} - T_{Breakaway} - T_{Friccion} - T_{Gravity}$$

$$T_{Total-Decel} = (276,2 - 5,6 - 82,9 - 7,07)[N * cm]$$

$$T_{Total-Decel} = 180,63[N * cm] \rightarrow T_{Total-Decel} = 1,803[N * m]$$

Resumen de valores de Potencia, Torque y Velocidad angular, obtenidos mediante los modelos de cálculo desarrollados en este capítulo para la selección de los motores de de los ejes X, Z y Spindle.

Tabla 16. Valores requeridos para la selección motores ejes X, Z y Spindle.

MOTOR	POTENCIA		TORQUE		VEL ANGULAR	
	kW	Hp	N*cm	N*m	rev/min	Rad/s
SPINDLE	5,078	3,783			1772,46	185,61
EJE X.	0,364	0,48	290,34	2,90	1200	125,66
EJE Z.	0,853	1.10	394,66	3,94	2400	251,32

Fuente: elaboración propia.

El resto de las partes mecánicas diseñadas se encuentran en el anexo H, los cuales corresponden a: Platina para soporte de motores ejes X y Z, Platina para protección de tornillo eje Z. Carcasa frontal. Carcasa

Nota: los valores mostrados en la tabla corresponden a los máximos valores obtenidos para cada variable.

A modo de verificación de los cálculos anteriores se presenta un modelo de diferente cálculo, donde se incluye la fuerza de corte para el desplazamiento horizontal, y requiere conocer el valor del torque para efectuar el corte.

Torque requerido para movimiento a velocidad constante del eje Z

$$T = \frac{C \cdot P}{\eta} + \frac{C_p \cdot P}{\eta} + \frac{C_d \cdot P}{\eta} + \frac{C_e \cdot P}{\eta}$$

$$T = \frac{3,85 \cdot 1000}{0,9} + \frac{385 \cdot 1000}{0,9} + \frac{5,9 \cdot 1000}{0,9} + \frac{590 \cdot 1000}{0,9}$$

Valores de carga y Precarga máximos para sistemas tuerca tornillo de bolas tipo de precisión grado C5, diámetro de 1,2cm

(C) max carga dinámica (KN)	(C) max pre-carga dinámica (N)	(C _d) max carga dinámica (KN)	(C _e) max pregar-carga estatica (N)
3,85	385	5,9	590

(Tp) torque, fricción causado por la precarga (N*cm)	(K) coeficiente de fricción interna	() Angulo del paso del tronillo	(L) paso diametral del tornillo (cm)	(D) diámetro externo del tornillo. (cm)
6,447	0,1373	7,56	0,5	1,2

Definición de variables

DENOMINACIÓN	DEFINICIÓN	UNIDADES
(Tp)	Par del motor a velocidad constante.	(N*cm)
(P)	Carga axial externa. (P ₁ P ₂ P ₃ P ₄)	(N)
(C _d)	Fuerza de reacción producida por la fuerza de corte F _c .	(N)
()	Eficiencia del sistema de transmisión de movimiento. (η ₁ η ₂)	----
(μ)	Coeficiente de fricción de las superficies de deslizamiento. (μ ₁ μ ₂)	----
(M)	Masa de la pieza de trabajo.	(Kg)

(g)	Aceleración de la gravedad. ($9,8 * 10^2 \text{ cm/s}^2$)	(cm/s^2)
(l)	Paso del tornillo de bolas.	(cm)
(Tp)	Torque de fricción causado por la precarga.	($\text{N} * \text{cm}$)
(P_L)	Precarga para la tuerca del tornillo.	(N)
(Z)	Numero de dientes del piñón.	----
(Z)	Numero de dientes de la polea.	----

(P) carga axial, (N) ($P = F_c + \mu Mg$)	(L) paso del tornillo, (cm)	(η) eficiencia de la transmisión.	(PL) máx. precarga estática (N)	(Tp) torque de fricción. ($\text{N} * \text{cm}$)
2500,22	0,5	0,9	590	6,447

(Tp) torque, por precarga ($\text{N} * \text{cm}$)	(K) coeficiente de fricción interna	(β) Angulo del paso del tronillo	(L) paso diametral del tornillo (cm)	(D) diámetro externo del tornillo. (cm)
6.447	0,1373	7,56	0,5	1,2

$\text{N} * \text{cm}$	$\text{N} * \text{m}$
109,21	1,09

torque, (Nm) método 1	torque, (Nm) método 2	Diferencia entre los cálculos (Nm)
1,09	1,37	0,28

En la tabla anterior se observa una diferencia de 0,28Nm que representa la rigurosidad del primer método con el segundo método por lo que para efectos de asegurar el mejor resultado en la elección de los motores se continuara el proceso de selección con los valores obtenidos en la Tabla 6.

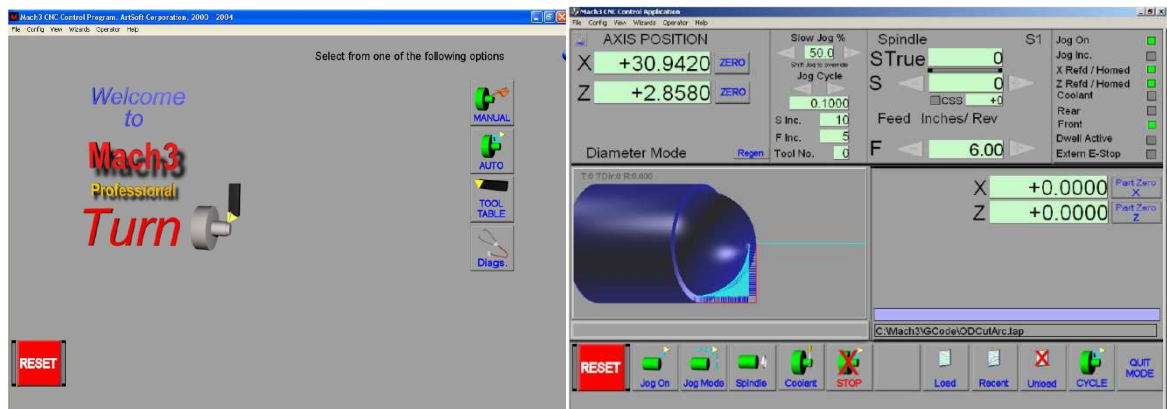
6.2 SISTEMA DE INTERFACE DE USUARIO

Debido a que este sistema no se encontraba instalado en la maquina, se decido utilizar un sistema con orientación (open source), código abierto, esto debido a la funcionalidad que se le quiere dar al equipo por parte de la Universidad es decir que el equipo pueda ser fácilmente operado por estudiantes y profesores como parte de la difusión del control numérico entre los miembros de la universidad relacionados con el área de ingeniería.

A continuación se describen las características principales del software mach 3, en el anexo x se describen con más detalle todas las características de esta poderosa herramienta.

Descripción del software mach 3.

Ilustración 20. Pantallas de inicio y preparación de ciclo en Mach3.



Fuente: (MACH3@2006).

Mach3 es un paquete de software que corre sobre una computadora convirtiéndola en un controlador de máquina muy poderoso y económico para reemplazar los controladores numéricos, (3) Ilustración 21.

Para correr Mach3 se necesita Windows XP (o Windows 2000) idealmente 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. Se puede usar, por supuesto, esta computadora para cualquier otra función en el taller tal Como lo indica la Ilustración 21 (1), por ejemplo correr un software CAD/CAM, cuando no se está utilizando la máquina para Mach3.

Este software es muy comúnmente conectado a los puertos de la impresora y otros puertos del computador para efectos prácticos y económicos.

El uso del software mach3 requiere, que los “Drives”o controladores para los motores de los ejes de la máquina acepten señales de pulsos de paso y de dirección. Casi todos los todos los Drives de motores de paso trabajan así, como lo hacen los modernas sistemas de motores servo DC y AC con codificadores digitales.

Ilustración 21. Sistema típico de una maquina operada por un CNC.

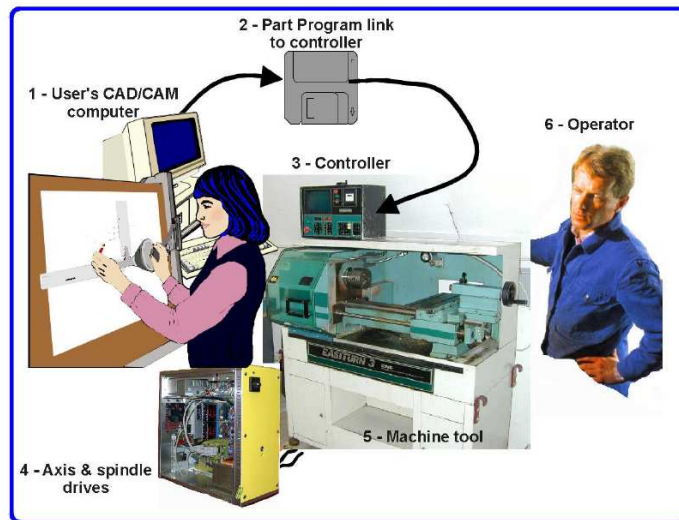


Figure 1.1 - Typical NC machining system

Fuente: (Mach3@2006).

6.3 SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

Este sistema está representado compuesto básicamente por: motores eléctricos con sus respectivos controladores, sensores, tarjeta de control de ejes, sistemas de conmutación de potencia (relés y contactores) y cableado en general.

Tabla 17. Listado de partes eléctricas para selección o calculo.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN.
1	Tarjeta de control general para 6 ejes
1	Tarjeta de control para motor del portaherramientas.
1	Motor y Controlador para husillo principal.
1	Motores y Controladores para eje X y Z
1	Sistema de control para electroválvulas.
1	Sistema de sensores.
1	Sistema de relés para operación de las bombas de lubricación y refrigeración del proceso.
1	Sistema de potencia para alimentación de los controladores de motores.
1	Tarjeta interface Grex-Drivers
1	Gabinete general de control del equipo.

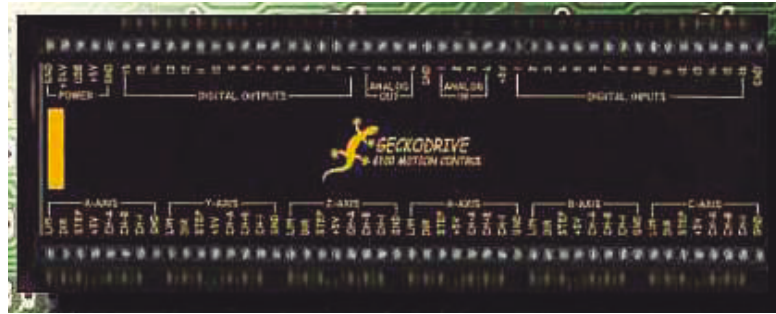
Fuente: elaboración propia.

- Tarjeta de control general para 6 ejes

Este dispositivo permite la comunicación con el computador y a su vez, interactúa con los controladores de los motores, enviando y recibiendo señal de estos, además permite recepción de señales de entrada como micro-suiches, sensores ópticos e inductivos y además controla a través de sus señales de salida la operación de relés que a su vez activan electroválvulas u otros dispositivos de control digital.

La ilustración 15, nos muestra la tarjeta de control GREX-100 seleccionada para control del torno EMCO 220, se selecciono esta tarjeta

Ilustración 22. Tarjeta de 6 ejes de control GREX-100



Fuente: (GECKODRIVE@2011).

- Descripción de la tarjeta.

La tarjeta G100 es un controlador de 6 ejes de movimiento. Utiliza USB o Ethernet como medio de de la comunicación con un PC para ejecutar acciones de control de movimiento, comandos de E/S de los y utiliza el método de Pulso/Dirección para el control de motores de de paso y servomotores.

Cada eje tiene una entrada de codificador de cuadratura (encoder). La tarjeta G100 cuenta también con 22 entradas de uso general, 16 salidas de propósito general, 4 entradas digitales a analógicas y 4 salidas analógicas a digitales. Cada entrada digital y cada salida tienen un LED indicador.

Para la aplicación Mach 3, la tarjeta G100 no se utiliza comunicación debido a que este puerto es muy restringido para control de movimiento.

La comunicación de mach 3 con G100 es cadena de texto a través de comandos y respuestas. Para esto se utiliza la conexión por Ethernet, en el cual todos los ejes pueden funcionar independientemente o en coordinación con otros ejes.

Estos ejes de movimiento son coordinados vectoriales, por el elemento principal asociado a cada eje acelerar, desacelerar y ejecutar simultáneamente movimiento a velocidades constantes.

La tarjeta G100 utiliza un método único de control de movimiento basado en FUGA el cual produce el paso de impulsos proporcional a las frecuencias con una resolución de 16 bits. Esto tiene como resultado un rango de frecuencias de 32767 y 32767 CW uniformemente espaciadas para pulso y dirección. (G100 setup, 2007). Este dispositivo es el encargado de procesar toda la información enviada desde el PC y encargarse de la interpolación de los ejes de movimiento, el computador actúa como interface de usuario y no como dispositivo de control.

- Tarjeta de control para motor del portaherramientas.

Este dispositivo no fue encontrado en la maquina por tal razón en este documento solo se hará referencia al control de velocidad mas no de movimiento, ya que el dispositivo portaherramientas merece un análisis más profundo que no está al alcance de este documento por tal razón a continuación se describe generalmente el dispositivo a utilizarse.

La tarjeta G340, es un dispositivo que permite controlar motores de corriente directa con el uso de un encoder o tacómetro para la retroalimentación del movimiento controlado, este dispositivo tiene un espectro de aplicaciones algunas de sus principales características se listan a continuación.

Ilustración 23. Tarjeta para control de motores de DC.



Fuente: (GECKODRIVE@2011)

- Motor y Controlador para husillo principal.

En la tabla 18, se presentan las características técnicas del motor del husillo principal, originalmente instalado en el equipo con respecto a las características técnicas del motor seleccionado para su reemplazo.

Tabla 18. Motor EMCO vs Motor Siemens.

Características técnicas.	Motor instalados originalmente en el Husillo torno EMCO 220	Motor trifásico Siemens
Marca	Siemens	Siemens
Referencia	1GL 5104-OEZ40-6JU7-Z	1LA7-112-2YA60
Tipo motor	Corriente directa	Corriente alterna
# Pulsos encoder	1/rev	N.A
T max (Nm)	10,44	10,44
T _o (Nm)	5,2	5,2
# fases	2	3
corrientes fase (A)	8,1	16
voltaje de fase (V)	400	220
Max Potencia a (T _o) (W)-(Hp)	3280 - 4,4	3730 - 5
vel angular ω (Rad/s) – (RPM)	314.15 – 3000	376,98 – 3600
Tipo de enfriamiento	Convectivo.	Convectivo.
Factor de potencia.	No especificado	0,85
Precio	No disponible.	US 306

Fuente: Elaboración propia. (N.A: no aplica para esa clase de motor.)

Algunas otras importantes características del motor Siemens se encuentran descritas en el Anexo C.


Tabla 19. Datos del motor seleccionado para Husillo pp.

Motor Siemens de 5Hp referencia FR-D720		
Rango de potencia	0,1 kW – 4.4 kW	
Clase de protección	IP20	
Fuente de alimentación (50/60Hz)	Monofásica - trifásica 200 - 240V	
Frecuencia de salida	60Hz	

Fuente: (Siemens@2008)

El uso de un motor con estas características facilitan el mantenimiento de esta parte del equipo, ya que esta marca tiene representación directa en el país y la facilidad de operación y control de los motores trifásicos también favorecen la selección de este motor.

Tabla 20. Datos técnicos del controlador para el motor del Husillo principal.

Variador de velocidad Mitsubishi referencia FR-D720		
Rango de potencia	0,1 kW - 7 kW	
Clase de protección	IP20	
Fuente de alimentación (50/60Hz)	Monofásica - trifásica 200 - 240V	
Frecuencia de salida	0.2 - 400Hz	

Fuente: (MEAU@2011)

- Motores y Controladores para eje X y Z

Se harán uso de los valores obtenidos en la tabla 11 como parámetros para la selección de los nuevos motores del torno EMCO 220.

El documento (MODO DE EMPLEO DE UN TORNO EMCO TURN 220), referencia los motores Berger Lahr, Referencia 595/50, como los motores utilizados inicialmente por el equipo para la transmisión de movimiento.

En la tabla 21 se presenta una comparación entre las especificaciones del motor BERGER LAHR, referencia 595/50, y el motor seleccionado para su reemplazo marca Sure-servo ref. SVL-204, el cual cumple con las especificaciones de la tabla 16.

Tabla 21. Motor EMCO vs motor SVL-400.

Características técnicas.	Motores instalados inicialmente ejes X, Z torno EMCO 220	Servomotor ref. SVL-400
Marca	BERGER LAHR	Sure - servo
Referencia	595/50	SVL-204
Tipo motor	Paso/Paso	servo
# Pasos / # encoder	1000/500	1024
Angulo de paso (°)	0,36-0,72	N.A
T max (Nm)	1,3	3,82
T _o (Nm)	1,2	1,27
# fases	5	3
corrientes fase (A)	0,75	3,3
voltaje de fase (V)	29	200
Max Potencia (W)-(Hp)	108,75	1200
vel angular ω (Rad/s) - (RPM)	83,65 - 798,98	314,15 - 3000

Fuente: Elaboración propia. (N.A: no aplica para esa clase de motor).

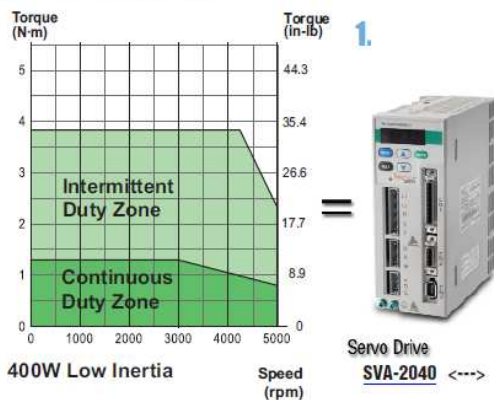
Algunas de las características del motor SVL-400 de baja inercia son

Características del motor baja inercia son:

- Brida cuadrada de montaje con dimensiones métricas: 40, 60, 80 y 100 mm de las bridas.
- Unidad de apoyo a los ejes sin llave de pinza de acoplamiento estilo
- codificador integrado con 2.500 (x4) pulsos / revolución, más marcador de impulsos (una vez por revolución).
- Opción de 24 VDC conjunto de frenos de retención.
- Conector estándar para cables para motor / freno y encoder
- Norma DIN-rail montado ZIPLink break-out kit para el conector de la unidad CN1 (con conexiones de los terminales de tornillo).

Ilustración 24. Datos del motor seleccionado con su respectivo controlador.

400W Low Inertia System



$$J_m = \text{Motor Inertia} = 0.0003 \text{ lb-in-s}^2 \text{ (} 0.000034 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \text{)}$$

Fuente: (Automation direct, 2011)

El sistema de control de servomotores SVA-2040, es un controlador para motores de baja inercia y alta precisión.

El esquema de la ilustración 25, muestra parte de las conexiones que a nivel eléctrico electrónico requiere el controlador para entrar en operación en el Anexo E, se encuentra el manual completo de operación de controlador SVA-2040.

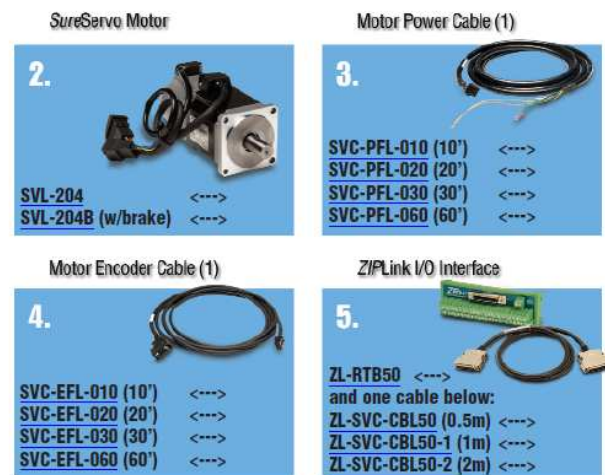
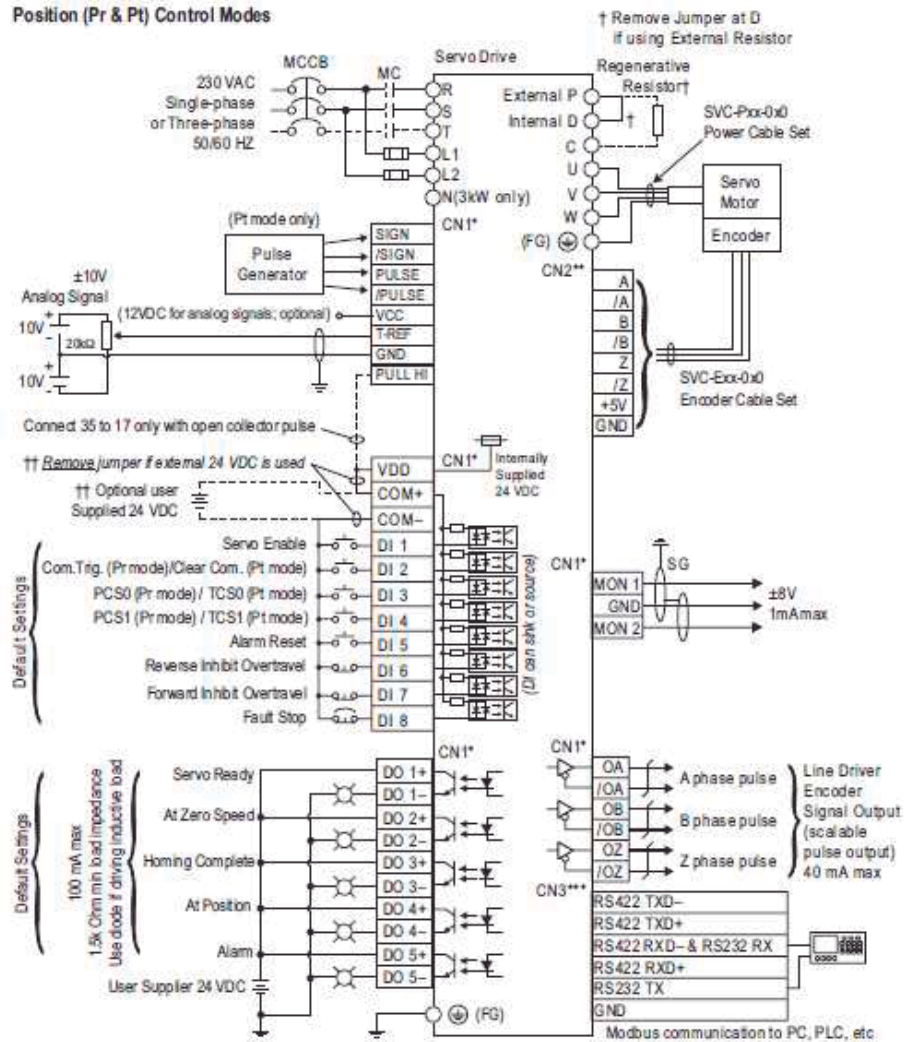


Ilustración 25. Esquema eléctrico para control de servomotores.



Fuente: (Automation direct, 2011)

- Sistema de sensores.

Este sistema está compuesto por los sensores de contrapunto los cuales indican el límite al cual debe llegar la punta para sostener la pieza montada en el husillo.

Ilustración 26. Sensor inductivo montado en la base del contrapunto.



Fuente: (elaboración propia)

Por otra parte se considera necesario adicionar un sistema de sensores final de carrera y de cero máquina para el torno EMCO 220, ya que esta operación originalmente estaba asignada a los controladores de los motores de paso, es decir la ubicación del cero maquina la realizaba un control por trayectoria de los motores de paso y la seguridad de los finales de carrera también estaba en poder del controlador del los motores, en la nueva versión del torno EMCO.

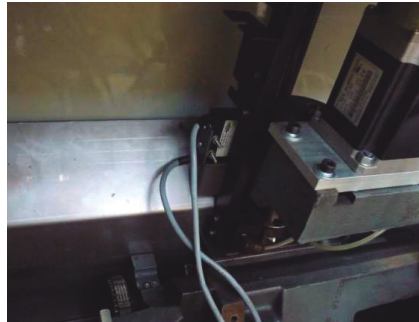
Ilustración 27. Sensor inductivo utilizado para (home y final de carrera).



Fuente: (elaboración propia)

Estas dos funciones las cumplen los sensores inductivos marca (VISOLUX-ELECTRONIK ref FT2 2023/11KL), los cuales envían una señal a la tarjeta de control G100 para en el caso de la posición cero ubicar los ejes X y Z cerca de los extremos de la maquina ilustración 28.

Ilustración 28. Ubicación de sensores inductivos eje X.

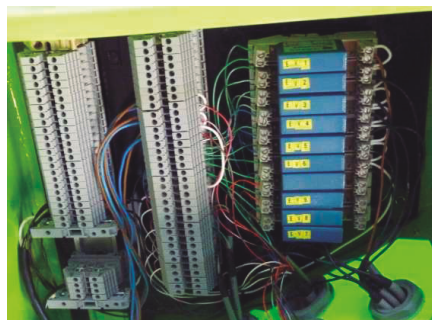


Fuente: (elaboración Propia)

En caso de una posible salida del sistema coordinado por parte de los ejes, otro juego de dos sensores actúa como final de carrera. Ilustración 28 permitiendo al usuario del equipo tener más seguridad a la hora de correr los códigos de sus programas, ambas señales llegan a la tarjeta G100, por el modulo de entrada de señales digitales.

- Sistema de relés para operación de las bombas de lubricación y refrigeración del proceso.

Ilustración 29. Esquema eléctrico para control de señales IO.



Fuente: (elaboración propia)

Este sistema es el encargado de acondicionar las señales de entrada y salida hacia la tarjeta controladora G100 o desde esta, para el caso del control de las electroválvulas esta tarjeta se encarga de amplificar la señal de 24VDC, la cual es muy débil en corriente y para el caso de las entradas digitales provenientes de los

sensores lograr la reducción o amplificación en voltaje de estas para que la tarjeta las pueda leer y posteriormente enviar al PC.

- Sistema de potencia para alimentación de los controladores de motores.

Ilustración 30. Esquema eléctrico general de potencia.



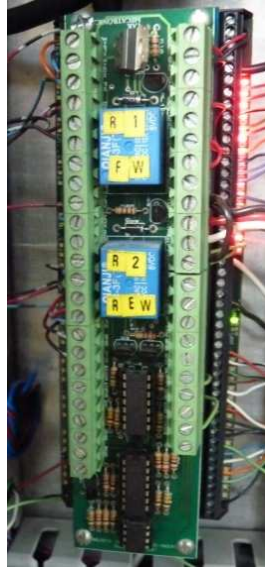
Fuente: (elaboración propia)

El sistema eléctrico originalmente no contaba con un conjunto de protección tan refinado como con el que cuenta actualmente este sistema de control permite el apagado o encendido independiente del sistema de control y potencia, uno de los requisitos expuesto en este documento por el PDS.

- Tarjeta interface Grex-Drivers

Como se menciona anteriormente en este documento, la tarjeta de control principal G100 permite la salida o el envío de datos hacia los controladores de los motores de un modo pulso y dirección, para el caso de los controladores sure-servo SVA-204, este requerimiento conlleva una restricción en la velocidad de operación, por tal motivo se debió diseñar la tarjeta de interface, para garantizar una velocidad de operación de los motores según requerimientos de PDS hasta 3000RPM.

Ilustración 31. Esquema eléctrico tarjeta de interfase.



Fuente: (elaboración propia)

La ilustración 32 muestra la conclusión del sistema eléctrico electrónico en el gabinete de operación general.

Ilustración 32. Gabinete de control torno EMCO220.



Fuente: (elaboración propia)

6.4 SISTEMA ELECTRO-NEUMÁTICO.

Ilustración 33. Sistema de control neumático.



Fuente: (elaboración propia)

Este sistema se encontró en buen estado solo se le adiciono una nueva unidad de mantenimiento y cambio de dos electroválvulas 3/2, ambos elementos marca micro.

A continuación se listan algunas otras mejoras realizadas al torno EMCO 220, como parte del proceso de repotenciación de dicho equipo.

Tabla 22. Otras mejoras introducidas al equipo torno EMCO 220.

Actividad	Evidencia
Puesta en funcionamiento de sistema de refrigeración.	
Puesta en operación del sistema de lubricación de guías.	
Puesta en operación de sistema de recolección de piezas.	
Adecuación de porta-buril a portaherramientas, (incluyo tratamiento térmico a las pieza y diseño de porta buril)	
Pintura partes del torno.	
Cambio de superficie para soporte de computador y marca.	

Fuente: (elaboración propia)

Tabla 23. Costos de fabricación del prototipo.

Cantidad	Descripción	Marca	Costo unitario	Costo total.
1	Motor 5Hp (Husillo principal)	Siemens	\$568.000	\$568.000
1	variador de velocidad ref FR- D720	Mitsubishi	\$893.750	\$893.750
2	Servo Motores SVL-204	Sure-servo	\$880.000	\$1.760.000
2	controladores SVA-204	Sure-servo	\$1.000.000	\$2.000.000
1	Elementos eléctricos cotización 1938.	Proelectrico	\$91.872	\$91.872
1	caja para guardamotor IP65 cotización 22930	medición y control	\$99.000	\$99.000
1	elementos eléctricos según, cotización 78438	eléctricas Medellín	\$72.948	\$72.948
1	elementos eléctricos según, cotización 8891	eléctricas Medellín	\$170.359	\$170.359
1	elementos eléctricos según, cotización 54458	eléctricas Medellín	\$152.280	\$152.280
1	elementos eléctricos según, cotización 2076	Proelectrico	\$39.900	\$39.900
1	fabricación de laminas	CN cortar	\$222.250	\$222.250
1	Pintura general	Aprodec	\$700.000	\$700.000
1	elementos electronicos4536	eléctricas de Medellín	\$823.000	\$823.000
1	tarjeta Grex -100	Gecko-drive	\$1.000.000	\$1.000.000
2	juegos de piñones, poleas y bandas referencia	poleas y bandas	\$90.000	\$180.000
1	tornillería en general	Tornifer	\$200.000	\$200.000
1	Unidad de mantenimiento. De aire comprimido	Micro.	\$107.730	\$107.730
2	electroválvulas 3/2	Micro.	\$208.000	\$416.000
1	acrílico para aplicación de nueva marca	exquisito-EAFIT	\$150.000	\$150.000
1	licencia de mach 3	Artsoft	\$200.000	\$200.000
1	computador configuración básica con pantalla plana	HP, DX5150	\$1.500.000	\$1.500.000
1	mueble en cuarzo negro	mederato	\$300.000	\$300.000
700	Valor de mano de obra promedio.	EAFIT	\$12.000	\$8.400.000
	TOTAL			\$ 20.047.089

Fuente: (elaboración propia)

7 CONCLUSIONES

El proyecto invita a todo el sector industrial nacional a conocer más sobre este tipo de tecnologías aplicadas para la reconversión o repotenciación de equipos.

Con este tipo de proyectos el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad EAFIT, fortalece sus capacidades y expande su campo de acción para lograr un impacto no solo a académico sino también a nivel industrial, en el área de reconversión de equipos convencionales a CNC.

Una de las ventajas de reconvertir los equipos es la apropiación en el manejo de la tecnología con la que se repotencia el equipo, facilitando intervenciones a nivel de mejora y/o mantenimiento.

Las empresas antioqueñas muestran interés en la posibilidad de repotenciar sus equipos para alargar la vida útil de estos y aumentar los niveles de producción de sus plantas, la Universidad debe reconocer allí un gran campo de acción y futura fuente de ingresos.

El sector metalmecánico a nivel regional (Antioquia), posee un alto número de máquinas susceptibles de recambio o mejora, esta es una oportunidad para hacer uso de la reconversión de máquinas como herramienta para ampliar y mejorar la capacidad instalada.

La información de detalle recopilada en este proyecto, permite con mayor facilidad reproducir el modelo de reconversión de equipos similares.

Con el análisis mecánico realizado a todo el sistema se pretende encontrar los elementos susceptibles a cambio o mejora, que permitan obtener un funcionamiento del equipo similar al original.

Para la modelación de partes de máquina previa a su construcción se recomienda el uso de Software CAD, la modelación detalle prevé dificultades de construcción

y ensamble, lo que permite realizar modificaciones previas a la fabricación y se disminuyen tiempos perdidos y costos.

En general, el trabajo realizado sobre el equipo construido cumple un alto porcentaje de necesidades establecidas en el PDS, logrando los objetivos.

Aunque este proyecto cumple con gran parte de los requerimientos de reconversión, es recomendable activar el equipo para uso por parte de personal calificado del centro de laboratorios brindando la posibilidad de implementar mejoras, orientadas a la seguridad de futuros usuarios.

El costo total del proyecto es relativamente bajo, comparado con la inversión que se demandaría adquirir un equipo con características similares a las logradas con la reconversión del torno EMCO, los costos del proyecto se pueden ver en la (Tabla 23).

Las pruebas realizadas en el laboratorio de Mecatrónica de EAFIT fueron suficientes para verificar el funcionamiento general del torno, una vez se apruebe este equipo como parte de los activos de la Universidad, es necesario realizar puesta a punto e implementar mejoras detectadas por los usuarios del equipo.

El proyecto quedo abierto a su continuación, es decir hasta el momento no existe una caracterización de su operación y mantenimiento, de tal forma que se requiere la participación de otros proyectos para dar continuidad al proceso de reconversión de equipos al interior de la Universidad, para posteriormente obtener de este proceso una metodología que se use como herramienta para trabajos de este tipo.

8 BIBLIOGRAFÍA

8.1 CONVENCIONAL

AUTOMATION DIRECT. The #1 Value in Automation. Copyright 2000, Vol. 12. 15-17; 15-34p.

COOPER, William, HELFRICK, Albert D. Instrumentación Electrónica Moderna. Editorial Prentice Hall, 1991

EMCOTRONIC TM02, Modo de empleo EMCOTURN, edición 89-11.

HIBBELER, R.C. Mecánica de Materiales, Tercera Edición. Prentice Hall, 1998, tercera edición (págs. 180-200).

IGUS, Catálogo Industrial. Cojinetes, Cables, Cadenas, Portacables. Igus, 2007. 3.15-3.23 p.

JUTZ, Hermann. SCHARKUS, Eduard. Tablas Para la industria metalúrgica, segunda edición, REVERTÉ, S .A. 1979. 100-107p

KALPAKJIAN, Serope. Schmid, Steven R. (2008). Manufactura, ingeniería y tecnología, PEARSON quinta edición. 679-687p

Kurt Gieck, reiner Gieck (2003), Manual de fórmulas técnicas, Technische Formelsammlung, setenta y cinco aba edición. P5-Q2p

LARBURU Arrizabalaga, Nicolás. Máquinas Prontuario Técnicas, Máquinas, Herramientas, THOMSON, 1989, decimotercera edición, segunda reimpresión 316-319p

LINTECH. LinTech Positioning Systems, Copyright 2000. A-27; B-27p

MICRO, Programa Integral De Productos y Servicios, Micro, 2010.6.1.2.0-6.3.0.1p

NORTON, Robert L, Diseño de Maquinas. Primera Edición. México, Prentice Hall, 1999.

Husillos SKF, recomendaciones para la selección de sistemas con tornillos de bolas recirculantes. Primera Edición. Francia, SKF, 2006.

TERUEL, Cruz Francisco. Control numérico y programación. Primera Edición. México, Alpha Omega Group Editor. S.A, 2007.

8.2 INTERNET

AUTOMATIONDIRECT@2011

Automation Direct. The #1 Value in Automation Recuperado el 16 de Octubre de 2011, de <http://www.automationdirect.com/adc/Shopping/Catalog/Drives>

AUTOMATIZACION INDUSTRIAL@2011.

Ventajas de la automatización, [Citado el 15 de mayo. de 2011]. Disponible en internet en:

<http://es.scribd.com/doc/29338450/AUTOMATIZACION-INDUSTRIAL>

BDIGITAL@2006

Evolución del control numérico en Colombia. [Citado el 11 de oct. de 2010]. Disponible en Internet en:

<http://bdigital.eafit.edu.co/bdigital/PROYECTO/P621.9023G516/Capitulo1.pdf>

BLOGS@2011

Imagen torno de control numerico, [Citado el 10 de mayo. de 2011]. Disponible en internet en:

<http://cnc179774.blogspot.com/2011/05/disenio-de-elementos-mecanicos-con-cnc.html>

CANBUS@2011

Diferentes tipos de torno, [citado el 05 de Jun. de 2011]. Disponible en internet en:

http://canbus.galeon.com/mecanizado/tipo_torno.htm

DIRECTINDUSTRY1@2011.

Imagen de torno automatico. [Citado el 10 de mayo. de 2011]. Disponible en internet en:

<http://pdf.directindustry.es/pdf/mupem/tornos-monohusillo-a-cnc-win-2/24784-118855.html>

DIRECTINDUSTRY2@2011.

Imagen operacion de maquinas con cnc, [Citado el 15 de mayo. de 2011]. Disponible en internet en:

<http://www.directindustry.es/prod/mitsubishi-electric-europe/controles-numericos-cnc-para-maquinas-herramientas-12225-291057.html>

FOINDESA@2009

Partes principales de un torno. [Citado el 02 de sep. de 2009]. Disponible en Internet en:

<http://www.foindesa.com/cdtfoindesa/images/Implementaci%F3n%20del%20CNC%20en%20m%20E1quinas%20de%20la%20empresa%201.pdf>

GECKODRIVE@2011

Geckodrive Motor Controls. [Citado el 16 de Octubre de 2011] Disponible en Internet en : <http://www.geckodrive.com/g340-p-47.html>

INTEREMPRESAS@2005

Descripción de sistema de control de movimiento. [Citado el 01 de oct. de 2010].
Disponible en Internet en: <http://www.interempresas.net/PrimeraPagina/>

INTEREMPRESAS2@2011

Imagen de torno revolver, [citado el 10 de mayo. de 2011]. Disponible en internet
en:

<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Tornos-revolver-Urasa-TR-36-42863.html>

MACH3@2006

Using MACH3 Turn, [Citado el 3 de abril de 2011]. Disponible en internet en:

http://www.machsupport.com/docs/Mach3Turn_1.84.pdf

MATRICERIAONLINE@2009

Matricería On Line. Temas relacionados con la tecnología mecánica. . [Citado el
02 de sep. de 2009]. Disponible en Internet en:

<http://www.matriceriaonline.com/lecciones/leccion14.html>

MEAU@2011

Manual de operación de variador MR-D720, [Citado el 9 de agosto de 2011].
Disponible en internet en:

<http://www.lcautomation.com/content/ProductsSuppliers/Products/automation/ACInverters/MitsubishiInverter/FR-D720Inverters/ProductDetail/5967.aspx>

MECANIZADOS@2011

Imagen torno vertical, [Citado el 10 de mayo. de 2011]. Disponible en internet en:

<http://www.mecanizadosmc.com/>

MHIA@2011

Porcentaje de utilización de tornos convencionales y control numérico en talleres de fabricación de mofles, disponible en internet en:

<http://www.mhia.org/>

MISUMI@2004

Selección de motores eléctricos, [Citado el 15 de mayo. de 2011]. Disponible en internet en:

<http://us.misumi-ec.com/contents/tech/mold/>

NI@2005

Control de Movimiento Basado en PC. [Citado el 10 de oct. de 2010]. Disponible en Internet en: http://www.aadeca.org/articulos/Tracnova-Control_Movimiento_basado_en_PC.pdf?phpMyAdmin=WlpYeFOvYmRoxUBG8LbjKa-Kt6c

NI@2010

Sistema de adquisición de datos. [Citado el 5 de oct. de 2010]. Disponible en Internet en: <http://www.ni.com/dataacquisition/esa/whatis.htm>

TECHNOLOGY@2011

Identificación de partes de un torno paralelo, [citado el 10 de Jun. de 2011]. Disponible en internet en:

<http://www.technologystudent.com/equip1/mlathe1.htm>

TOOLINGU@2010

Toolingu book testing. Conceptos de la mecánica del CNC. [Citado el 10 de oct. de 2010]. Disponible en Internet en: <http://www.toolingu.com/definition-301110-32206-torno-de-cnc.html>

Siemens@2008

Hoja de datos del motor trifásico de 5Hp, [Citado el 3 de abril de 2011]. Disponible en internet en:

http://www.siemens.com.co/SiemensDotNetClient_Andina/medias/PDFS/17.pdf

TRACNOVA@2010

Tracnova S.A. Empresa prestadora de servicios de consultoría en el uso de modernas tecnologías. [Citado el 02 de sep. de 2009]. Disponible en Internet en:

<http://www.tracnova.com/control%20de%20movimiento.htm>

9 ANEXOS

ANEXO A. ARTÍCULOS SOBRE LA CADENA METALMECÁNICA.

ANEXO B. METROLOGÍA DE GUÍAS COLA DE MILANO.

ANEXO C. ANÁLISIS DE ESTADO TORNO EMCO-220.

ANEXO D. DATASHEETS MECÁNICOS.

ANEXO E. DATASHEETS ELÉCTRICOS.

ANEXO F. MANUALES DE CONFIGURACIÓN PARA MACH Y CONTROLADOR G100.

ANEXO G. PLANOS ELÉCTRICOS.

ANEXO H. PLANOS MECÁNICOS.

ANEXO I. MANUAL “MODO DE EMPLEO EMCO-TURN”

ANEXO J. COTIZACIÓN RECONVERSIÓN TORNO EMCO-220.

ANEXO K. PRUEBAS.

ANEXO L. ASEGURAMIENTO DE EQUIPO.

ANEXO M. HOJA DE FIRMAS.