

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL CNC PARA CREAR
MODELOS Y ESCULTURAS EN TERCERA DIMENSIÓN A PARTIR DE UN
DISEÑO CAD

IVÁN CAMILO GARCIA MUTIS
JUAN GABRIEL LAGOS LÓPEZ
LUIS FERNANDO URREGO PÉREZ
PETER YESID DELGADO PARRA

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
2009

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL CNC PARA CREAR
MODELOS Y ESCULTURAS EN TERCERA DIMENSIÓN A PARTIR DE UN
DISEÑO CAD

IVÁN CAMILO GARCIA MUTIS
JUAN GABRIEL LAGOS LÓPEZ
LUIS FERNANDO URREGO PÉREZ
PETER YESID DELGADO PARRA

Trabajo de grado para obtener el título
De ingeniero mecatrónico

ASESOR:
ROBERTO BOHÓRQUEZ
Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE MECATRÓNICA
BOGOTÁ
2009

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.2.1 Formulación del problema.....	6
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	6
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.4.1 Objetivo general.....	8
1.4.2 Objetivos específicos.....	8
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.....	8
1.5.1 Alcances.....	8
1.5.2 Limitaciones.....	9
2. MARCO DE REFERENCIA.....	9
2.1 MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL.....	9
2.1.1 EL Control Numérico computarizado.....	9
2.1.1.1 Principio de funcionamiento.....	10
2.1.1.2 Programación en el control numérico.....	10

2.1.1.3 Sistemas de control del movimiento para el CN.....	13
2.1.2 Interpolación.....	15
2.1.2.1 El Proceso de fresado.....	17
2.1.2.2 Tipos de fresadoras.....	18
2.1.2.3 Partes de la fresadora.....	18
2.1.3 Operaciones relacionadas con el fresado.....	19
2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO.....	24
2.2.1 NORMAS ISO PARA MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO.....	24
3. METODOLOGÍA.....	26
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	26
3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	27
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	27
3.5 HIPÓTESIS.....	27
4. DESARROLLO INGENIERIL.....	28
4.1 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO.....	28
4.1.1 Torque de los motores.....	32
4.1.2 Velocidad de corte.....	36
4.1.3 Resistencia de las vigas horizontales de la mesa de la maquina.....	38
4.1.4 Resistencia del material para el acople del motor.....	32
4.2 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	42

4.3 ETAPAS DEL PROCESO.....	46
4.3.1 Diseño CAD/PC.....	46
4.3.2 Conversión CAD/CAM.....	47
4.3.3 Comunicación PC-Máquina.....	47
4.3.4 Maquinado Pieza.....	47
4.4 SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS.....	47
4.4.1 Selección de los motores para los tornillos.....	47
4.4.2 Selección del driver del motor paso a paso.....	51
4.4.3 Selección Del Sistema De Comunicación.....	55
4.4.4 Selección Del Controlador.....	56
4.4.5 Selección Del Encoder.....	58
4.4.6 Selección Del Final De Carrera.....	61
4.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	62
4.6 Análisis del control numérico.....	62
4.7 DISEÑO DE LA COMUNICACIÓN RS232.....	68
4.8 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL.....	72
4.9 CONTROL DE POSICIÓN.....	73
4.10 CONTROL DE VELOCIDAD.....	78
4.11 CONTROL DE LA ACELERACIÓN.....	82
4.12 MODELAMIENTO DINÁMICO DE LOS TORNILLOS.....	92
4.13 ANÁLISIS DE COSTOS Y BENEFICIOS.....	94
4.14 MEJORAS A FUTURO.....	97

4.14.1 Tornillo de Bolas Recirculantes.....	99
4.14.2 Comunicación de la maquina.....	100
4.14.3 Cambio de Herramienta.....	100
4.14.4 Manejo de lenguaje estándar de alto nivel.....	102
5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	102
5.1 Análisis de resultados del motor.....	104
5.2 Análisis y resultados de arranque de viruta.....	105
CONCLUSIONES.....	105
BIBLIOGRAFIA.....	107
CIBERGRAFIA.....	108
MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	110
GLOSARIO.....	160
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

A nivel industrial en los procesos de manufactura para el mecanizado de moldes, las máquinas de control numérico computarizado (CNC), han tenido un gran auge desde los sesentas y setentas con la invención del microchip y la implementación de este en los procesos de mecanizado, actualmente las tendencias de la automatización en la industria, exigen el empleo de equipo especial para controlar y llevar a cabo los procesos de fabricación, donde prevalece que los automatismos sean de fácil operación y mayor exactitud.

Las máquinas CNC tienen la capacidad de dirigir posicionamientos de un órgano mecánico móvil, en forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas definidas por medio de un programa, factor que es de gran ayuda para el mecanizado de figuras, debido a su gran versatilidad para el desarrollo de los diferentes moldes que se requieran mecanizar, ya que se pueden hacer movimientos complejos como círculos, líneas diagonales y figuras tridimensionales con más precisión y mejores tiempos de fabricación que no se pueden lograr en un proceso que se hace manualmente.

El proyecto se encuentra enfocado básicamente hacia el departamento de producción de las pequeñas y medianas empresas dedicadas a la joyería y la elaboración de moldes o accesorios de lujo. Al interior de este departamento se intentarán solucionar los problemas tecnológicos bajo los cuales la mayoría de estas empresas se ven afectadas.

Poco más del 90% de las empresas del sector real de la economía son pequeñas y medianas empresas⁷, sin mayores niveles de desarrollo tecnológico.

⁷ Departamento Nacional de Estadística DANE, <http://www.dane.gov.co>

Para poder mejorar esta situación, se pretendió mejorar el proceso de adquisición del molde para la elaboración de estos accesorios y joyas. Actualmente estas empresas subcontratan a otras empresas para la fabricación de este, lo cual afecta directamente la rígida línea de la cadena de valor del producto, generando mayores costos y demoras en la fabricación final.

Si el departamento de producción realiza una inversión a largo plazo, integrando verticalmente a su cadena productiva un sistema de fabricación de moldes a través de la automatización de una máquina fresadora, mejoraría definitivamente su cadena productiva.

Al ser este proyecto un avance tecnológico para el sector empresarial en la industria colombiana, este contribuirá a la estandarización, especialización y progreso de las compañías que se beneficien de este, que en vez de despedir la mano de obra por automatizaciones costosas (generando así mayores índices de desempleo), mantengan al interior el capital humano que está formado y exploten todo su potencial, que se expandan e inviertan en nuevos mercados, que inventen nuevos productos con características diferenciadoras, que tengan competencia internacional y que contribuyan al desarrollo en repunta que necesita el país.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES⁸

El término control numérico por computador fue introducido en la década de 1950, cuando los comandos de programación eran códigos numéricos. El operario escribía manualmente dichos códigos para la máquina.

⁸ Documento de apoyo. Integración del CNC en los procesos de fresado. Centro educativo virtual del SENA.

Desde entonces se han desarrollado lenguajes simbólicos para comunicar instrucciones a las máquinas herramientas. Por ejemplo, las aplicaciones de diseño asistido por computador (CAD) y de fabricación asistida por computador (CAM) con las cuales puede dibujar una pieza como una serie de líneas y curvas, que se denominan geometrías de la pieza. Las geometrías se utilizan para generar automáticamente instrucciones de código NC para la máquina herramienta.

Algunos aspectos relevantes de la evolución de la investigación del control numérico por computadora⁹:

1. (1725) Máquinas de tejer construidas en Inglaterra, controladas por tarjetas perforadas.
2. (1863) M. Forneaux - primer piano que tocó automáticamente.
3. (1870-1890) Eli Whitney - desarrollo de plantillas y dispositivos.
"Sistema norteamericano de manufactura de partes intercambiables".
4. (1880) Introducción de una variedad de herramientas para el maquinado de metales.

Comienzo del énfasis en la producción a gran escala.

5. (1940) Introducción de los controles hidráulicos, neumáticos y electrónicos.
Aumento del énfasis en el maquinado automático.
6. (1945) Comienzo de la investigación y desarrollo del control numérico.

Comienzo de los experimentos de producción a gran escala con control numérico.

7. (1955) Las herramientas automatizadas comenzaron a aparecer en las plantas de producción para la Fuerza Aérea de producción de los Estados Unidos:

⁹ http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/controlnumericocnc/

8. (1956) Hay concentración en la investigación y el desarrollo del control numérico.
9. (1960) Hasta la actualidad
 - Se crean varios nuevos sistemas de control numérico.
 - Se perfeccionaron las aplicaciones a la producción de una gama más grande de procedimientos de maquinado de metales.
 - Se idearon aplicaciones a otras actividades diferentes del maquinado de metales.
 - Se utilizaron insumos computarizados de control numérico.
 - Se utilizan documentos computarizados de planeación gráficos por control numérico.
 - Se han desarrollado procedimientos computarizados de trazo de curvas de nivel por control numérico, a bajo costo.
 - Se han establecido centros de maquinado para utilización general.

A pesar de estos avances histórico-tecnológicos fundamentales e importantes, en Colombia no han existido soluciones eficientes y aplicables a nano empresas y PYMES, industrias que desean tecnificar su sistema de producción y se quieren beneficiar de las ventajas que brinda la tecnología a precios accesibles y bajos esquemas de financiación que permitan al empresario adquirir esta tecnología.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los procesos de manufactura a nivel industrial requieren diferentes procesos de acabado según el material y según el proceso de mecanizado, un problema que tiene una empresa en particular que fabrica escudería y medallas para el Ministerio de Defensa Nacional (Fuerza Aérea, Ejército, Armada, Policía Nacional),

es el alto costo final de fabricación de modelos en el plano y tres dimensiones (ancho, largo, profundidad), ya que se requiere de un escultor que brinda asesoría externa en la fabricación de estos modelos, por el hecho de no estar vinculado directamente con la empresa, y quien se encarga de diseñar el arte para poder fabricar los modelos. El escultor se encarga de diseñar manualmente la figura en tercera dimensión, proceso que se puede hacer en madera, cera, o resina dependiendo del material en el que se requiere estampar o fabricar la pieza o joya (oro, bronce, cobre etc.) Una vez terminado el arte se procede a sacar el reverso de la escultura, para luego entregarla al pantografista quien es el que se encarga de aumentar o disminuir el molde para así obtener el troquel con el que se desea trabajar, otra técnica que se utiliza una vez teniendo el arte para obtener el molde es por grafito y electro erosionado sobre la pieza final o troquel.

Por otra parte, según el gerente de la empresa GARP Ltda. Dice “comercialmente el costo de una máquina CNC para hacer este tipo de trabajo que hace el escultor, de dar forma al molde oscila entre 9 y 18 mil dólares es una inversión de un alto costo para las pymes”.

Por otra parte, el precio de los insumos dentro de la industria el cual se enfoca la investigación van a tener que continuar pagando por los moldes más un incremento proporcional al IPC efectivo en el año (4.48% 2006; 5.69% 2007; y acumulado en el año hasta septiembre, 6.53% 2008)¹⁰. Pero si se logra integrar en la cadena productiva la fabricación de moldes, se reducirá estos precios ya que estaría sujeto no al precio del bien elaborado, sino a la fluctuación del precio de los insumos requeridos, lo cual resulta beneficioso para establecer estrategias de compra oportuna de materia prima y así reducir significativamente los costos.

¹⁰ <http://www.businesscol.com/economia/precios2.htm>

1.2.1 Formulación del problema. ¿Cómo diseñar e implementar un control CNC a una fresadora manual para crear modelos de joyería en tercera dimensión(ancho, largo y profundidad) a partir de un diseño CAD?

1.3 JUSTIFICACIÓN

La elaboración de este proyecto responde a una necesidad en particular de una empresa, pues actualmente los mercados altamente competitivos hacen que las empresas se vean obligadas a hacer cambios respecto al enfoque de su trabajo ya que lo que requieren es optimizar sus procesos de producción, minimizando costos, aumentando la productividad haciendo más rápidos, precisos y de mejor calidad estos procesos, en ese orden de ideas la aplicación del control numérico suple una necesidad real, en la que la fabricación de estos modelos que ya se ha mencionado anteriormente debido a su complejidad y su elevado costo de fabricación, no garantizan un nivel continuo y productivo del servicio y los productos que ofrecen, sumado a esto la empresa argumenta que las fechas de entrega de los productos que elaboran son cada vez menores y les exigen mayor precisión, un alto control de calidad y los diseños de los modelos son cada vez más complicados.

Este tipo de máquinas únicamente se consiguen en el mercado a un precio realmente poco accesible para las empresas de industrias poco desarrolladas, las máquinas mas económicas que se consiguen en el mercado colombiano de este tipo son importadas de China y de Japón a un precio aproximado de “\$28.000.000”¹¹ pero aunque no son tan costosas en un comienzo no poseen suficientes garantías ni soporte para su implementación generando el pago por mantenimiento e importación de repuestos.

¹¹ <http://www.mercadolibre.com/fresadoracnc/>. (los productos de este enlace de internet son temporales)

Por otra parte, el ambiente laboral en el departamento de producción se encuentra presionado por la gerencia de la empresa ya que no se están satisfaciendo los tiempos de entrega y la calidad necesaria a nivel nacional y mucho menos si se quiere incursionar en competencia internacional. Por esta razón se justifica la implementación de este sistema para poder generar fortalezas en el departamento de producción que marquen una evolución en tecnología de la empresa.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.4.1 Objetivo general. Diseñar e implementar un control numérico computarizado (CNC), para automatizar una fresadora manual, y a partir de esta fabricar modelos en tercera dimensión (largo, ancho y profundidad).

1.4.2 Objetivos específicos.

- Desarrollar un software de comunicación PC-Máquina para el control numérico computarizado.
- Desarrollar un código para el controlador de la máquina, que interprete los datos enviados desde el PC y así poder controlar el mecanizado.
- Diseñar e implementar un circuito de control para automatizar una máquina fresadora manual.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.

1.5.1 Alcances.

- Se pretende con el proyecto, desarrollar un automatismo que se implemente a nivel empresarial y que sea de fácil operación sin la necesidad de ser operado por personal altamente calificado y que permita a la vez mejorar y optimizar los niveles de productividad teniendo como objeto principal lograr este desarrollo a un bajo costo.

- Aunque los componentes para la automatización son muy costosos se compraran aprovechando que se cuenta con el apoyo económico de la empresa GARP Ltda. La cual requiere de este proyecto.
- El control de la máquina CNC debe ser terminado en su totalidad al culminar el proyecto de grado.
- Fomentar una política corporativa de tecnificación y capacitación del capital humano para la expansión, el desarrollo y la evolución del sector económico en el que se desempeñen las empresas y así contribuir al desarrollo sostenible en el largo plazo de la sociedad y del país.

1.5.2 Limitaciones.

- Debido a que el proyecto se basa en la implementación de un control CNC no se realizaran cálculos del diseño mecánico de la máquina.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

2.1.1 EL Control Numérico computarizado.¹² **Se considera de 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. Para maquinar una**

¹² Francisco Cruz Teruel , Control Numérico y Programación , p. 45

pieza se usa un sistema de coordenadas que especificarán el movimiento de la herramienta de corte.

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.

2.1.1.1 Principio de funcionamiento. El sistema se basa en el control de los movimientos de la herramienta de trabajo con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un programa informático ejecutado por un ordenador. En el caso de las fresadoras se controlan los desplazamientos verticales, que corresponden al eje Z. Para ello se incorporan motores eléctricos en los mecanismos de desplazamiento del carro y la torreta, en el caso de los tornos, y en la mesa en el caso de la fresadora; dependiendo de la capacidad de la máquina, esto puede no ser limitado únicamente a tres ejes.

2.1.1.2 Programación en el control numérico. Se pueden utilizar dos métodos, la programación manual y la programación automática.

- ∅ Programación manual. En este caso, el programa pieza se escribe únicamente por medio de razonamientos y cálculos que realiza un operario. El programa de mecanizado comprende todo el conjunto de datos que el control necesita para la mecanización de la pieza.

Al conjunto de informaciones que corresponde a una misma fase del mecanizado se le denomina bloque o secuencia, que se numeran para facilitar su búsqueda. Este conjunto de informaciones es efectuado por el intérprete de órdenes. Una secuencia o bloque de programa debe contener todas las funciones geométricas, funciones máquina y funciones

tecnológicas del mecanizado. De tal modo, un bloque de programa consta de varias instrucciones.

El comienzo del CN (control numérico) ha estado caracterizado por un desarrollo anárquico de los códigos de programación. Cada constructor utilizaba el suyo particular. Posteriormente, se vio la necesidad de normalizar los códigos de programación como condición indispensable para que un mismo programa pudiera servir para diversas máquinas con tal de que fuesen del mismo tipo. Los caracteres más usados comúnmente, regidos bajo la norma DIN 66024 y 66025 son, entre otros, los siguientes:

- N: es la dirección correspondiente al número de bloque o secuencia. Esta dirección va seguida normalmente de un número de tres o cuatro cifras. En el caso del formato N03, el número máximo de bloques que pueden programarse es (1000 N999).→(N000)
- X, Y, Z: son las direcciones correspondientes a las cotas según los ejes X, Y, Z de la máquina herramienta (Y planos cartesianos). Dichas cotas se pueden programar en forma absoluta o relativa, es decir, con respecto al cero pieza o con respecto a la última cota respectivamente.
- G: es la dirección correspondiente a las funciones preparatorias. Se utilizan para informar al control de las características de las funciones de mecanizado, como por ejemplo, forma de la trayectoria, tipo de corrección de herramienta, parada temporizada, ciclos automáticos, programación absoluta y relativa, etc. La función G va seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta 100 funciones preparatorias diferentes.
- M: es la dirección correspondiente a las funciones auxiliares o complementarias. Se usan para indicar a la máquina herramienta que se deben realizar operaciones tales como parada programada, rotación del

husillo a derechas o a izquierdas, cambio de útil, etc. La dirección m va seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta 100 funciones auxiliares diferentes.

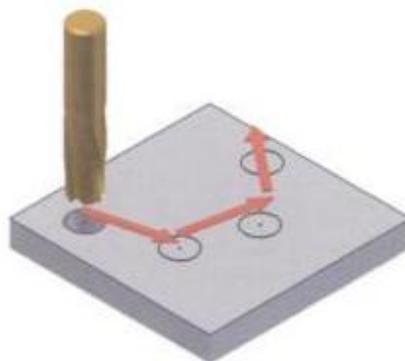
- F: es la dirección correspondiente a la velocidad de avance. Va seguida de un número de cuatro cifras que indica la velocidad de avance en mm/min.
- S es la dirección correspondiente a la velocidad de rotación del husillo principal. Se programa directamente en revoluciones por minuto, usando cuatro dígitos.
- I, J, K son direcciones utilizadas para programar arcos de circunferencia. Cuando la interpolación se realiza en el plano X-Y, se utilizan las direcciones I y J. Análogamente, en el plano X-Z, se utilizan las direcciones I y K, y en el plano Y-Z, las direcciones J y K.
- T es la dirección correspondiente al número de herramienta. Va seguido de un número de cuatro cifras en el cual los dos primeros indican el número de herramienta y los dos últimos el número de corrección de las mismas.

∅ Programación automática. En este caso, trabaja con los mismos comandos pero los cálculos los realiza un computador, que suministra en su salida el programa de la pieza en lenguaje máquina. Por esta razón recibe el nombre de programación asistida por computador.

2.1.1.3 Sistemas de control del movimiento para el CN.¹³ Hay tres tipos básicos de control para el movimiento de las herramientas, es posible que las máquinas utilicen más de uno:

- CN punto a punto. También llamado de posicionado, el control determina y posiciona la herramienta en un punto predefinido sin importar en absoluto la trayectoria seguida. Lo único que interesa es que la herramienta alcance con rapidez y precisión el punto deseado. El posicionamiento puede ser secuencial o simultáneo según lo que la herramienta se desplace siguiendo la dirección de los ejes.(ver figura 1)

FIGURA 1. Control punto a punto

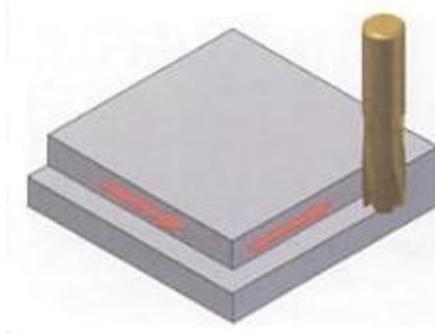


FUENTE: Título: Control Numérico y Programación, Autor: Francisco Cruz Teruel. P 13

- CN Praxial. Permite. El mecanizado en direcciones paralelas a los ejes de la máquina. Los movimientos se obtienen controlando el accionamiento en un eje mientras permanecen bloqueados los accionamientos del resto de los ejes. Este tipo de control no permite efectuar mecanizados en direcciones distintas a la de los ejes. Un control numérico praxial puede ejecutar también movimientos punto a punto. (ver figura 2)

¹³ James Madison , CNC Machining Hand book, Industrial press INC, p. 41

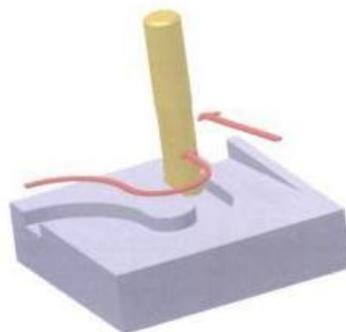
FIGURA 2. Control Praxial



FUENTE: Titulo: Control Numérico y Programación, Autor: Francisco Cruz Teruel. P 13

- CN de Contorneo. Permite que la herramienta siga cualquier trayectoria regulando simultáneamente el movimiento de los distintos ejes. Se controla continuamente el recorrido de la herramienta para generar la pieza con la geometría deseada. Por ello se conoce también con el nombre de control numérico continuo. Es el más complejo de los tres sistemas y permite también el mecanizado praxial y el punto a punto.(ver figura 3)

FIGURA 3. Control de Contorneo



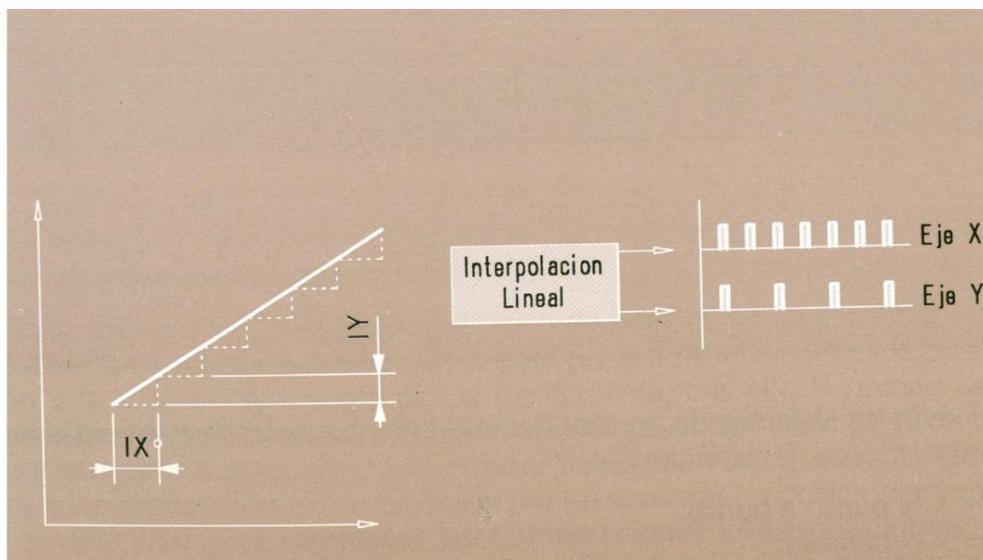
FUENTE: Francisco Cruz Teruel, Control Numérico y Programación, p. 13

2.1.2 Interpolación¹⁴. En estos controles CNC debe existir una sincronización perfecta en el movimiento de todos los ejes para ejecutar la trayectoria deseada. Para ello los controladores incorporan procedimientos de interpolación. En los CNC convencionales los más utilizados son:

- Interpolación Lineal.
- Interpolación Circular.

En la interpolación lineal el controlador mueve la herramienta en dirección recta entre dos puntos mediante trenes de puntos uniformemente repartidos, de forma que la relación de la frecuencia de los mismos en cada eje es la pendiente de la recta (ver figura 4)

FIGURA 4. Interpolación Lineal

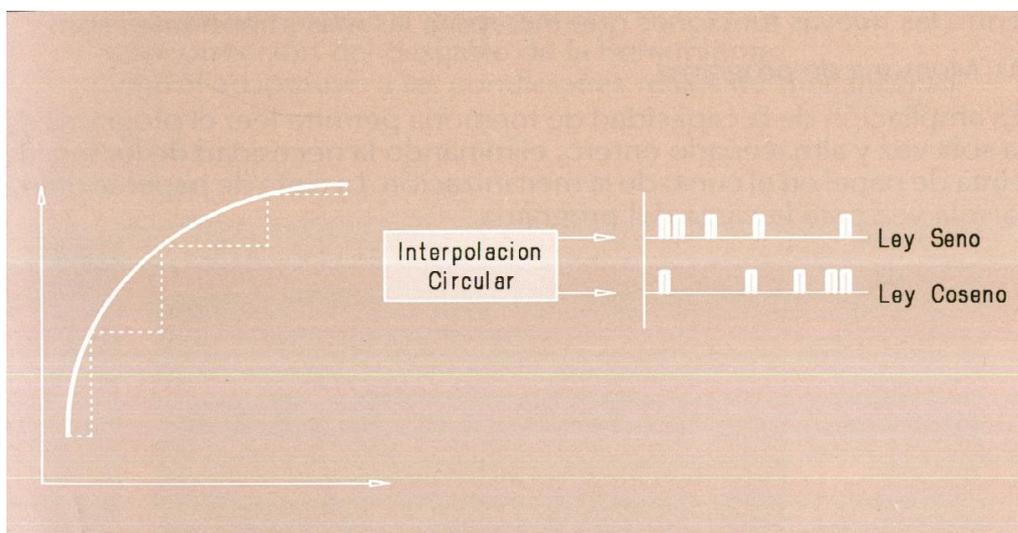


FUENTE: Rafael Ferre Masip (1988), Como Programar un Control Numérico, Productica Marcombo, p. 24.

¹⁴ Rafael Ferre Masip (1988), Como Programar un Control Numérico, Productica Marcombo, p. 25.

En la interpolación circular, el control mueve la herramienta sobre un arco de círculo mediante impulsos cuya frecuencia sigue en cada eje la ley del seno y del coseno respectivamente. Para definir la interpolación circular debe situarse, en primer lugar, el plano que contiene el arco y dar puntos de inicio y final del mismo, así como el radio (ver figura 5).

- FIGURA 5. Interpolación Circular.



FUENTE: Rafael Ferre Masip, 1988, Como Programar un Control Numérico, Productica Marcombo, p 25.

Otros controladores incorporan también la interpolación parabólica y cubica.

Existen programas CAD/CAM que hacen la interpolación lineal, circular, parabólica y cubica internamente como en el caso de Artcam de tal manera que hacen un control paraxial con interpolación y entregan pequeñas rectas que van generando la figura deseada.

2.1.2.1 El Proceso de fresado. Una fresadora es una máquina que haciendo girar una herramienta de corte con el fin de eliminar material de una pieza de trabajo móvil.

- La herramienta de corte se monta en el husillo y gira a distintas velocidades, en función de las especificaciones de la herramienta y del material.
- La pieza se fija a una mesa conocida como carro transversal.
- El carro transversal mueve la pieza de trabajo y la pone en contacto con la herramienta de corte. La herramienta elimina material de la pieza de trabajo en los puntos de contacto, creando piezas terminadas.

En años anteriores, todos los movimientos de la fresadora se realizaban manualmente. Con el desarrollo de la tecnología, las fresadoras más modernas son controladas por las computadoras.

2.1.2.2 Tipos de fresadoras. Hay dos tipos principales de fresadoras:

- Fresadoras verticales, El eje del husillo es vertical, lo que significa que la herramienta se puede mover de arriba a abajo, acercándose o alejándose de la parte superior o de la *superficie* de la pieza.
- Fresadoras horizontales, El eje del husillo es horizontal, es decir que la herramienta puede moverse de lado a lado, acercándose o alejándose de la cara de la pieza.

Mientras que la operación de mecanizado puede variar de una fresadora a otra, los conceptos de mecanizado son los mismos para todas las fresadoras.

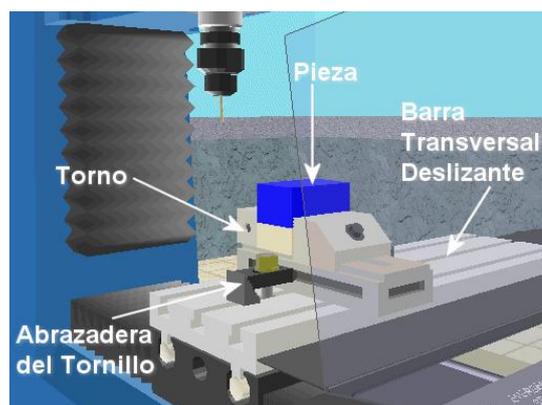
2.1.2.3 Partes de la fresadora. Debido a que el proyecto se focaliza en el proceso de fresado vertical las partes de que la conforman son: (ver figura 6 y figura 7)

Figura 6. Partes de la fresa No 1



FUENTE: Documento de apoyo del SENA, Curso Virtual: Introducción al proceso de fresado.

Figura 7. Partes de la fresa No 2

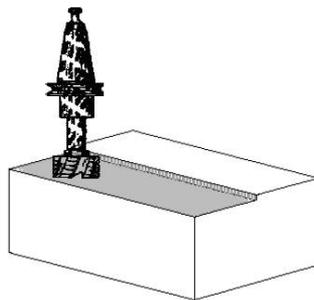


FUENTE: Documento de apoyo del SENA, Curso Virtual: Introducción al proceso de fresado.

2.1.3 Operaciones relacionadas con el fresado.

- **Planeado.** Una operación de planeado consiste en un corte plano a través de toda la superficie de la pieza. Elimina una capa de material, dando como resultado una superficie plana y lisa. Se realiza este proceso normalmente, para determinar o demarcar en el material una superficie de referencia, desde la cual se puede trabajar o crear un acabado de superficie deseado a partir de la pieza en bruto. En la operación de planeado, la herramienta de corte se mantiene a una altura fija, mientras que la pieza se mueve hacia atrás y adelante en recorridos que se superponen ver (figura 8).

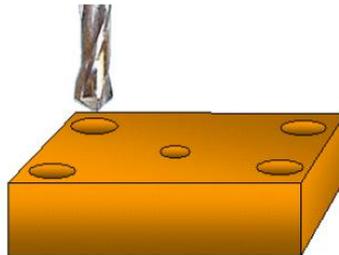
Figura 8. Fresado por planeado



FUENTE: Documento de apoyo del SENA, Curso Virtual: Introducción al proceso de fresado.

- **Taladrado.** En una operación de taladrado, la broca se desplaza a un punto específico en la pieza y se taladra a profundidades específicas. Spectra CAM crea el código de NC que centra la broca en cada punto y taladra un agujero de un diámetro y a una profundidad determinados. Se debe instalar el taladro apropiado para los distintos tamaños de agujero. Las máquinas CNC pueden equiparse con conmutadores automáticos de herramientas, de manera que se pueda instalar distintas fresadoras o fresas sin la intervención de la operación ver (figura 9).

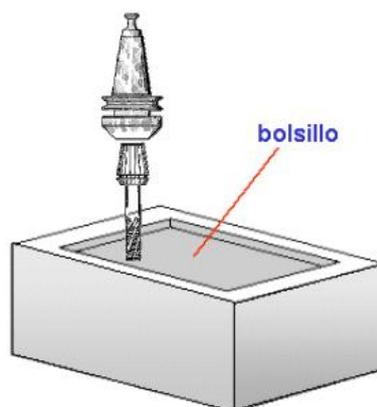
Figura 9. Fresado por taladrado



FUENTE: Documento de apoyo del SENA, Curso Virtual: Introducción al proceso de fresado.

- Vaciado. Las operaciones de vaciado eliminan todo el material dentro de un área cerrada con límites definidos por una geometría CAD. Una geometría es cerrada cuando su punto inicial y su punto final se conectan formando una ruta completa. Círculos, óvalos, cuadrados, rectángulos e incluso polígonos de formas raras son ejemplos de geometrías cerradas. Una geometría es abierta cuando su punto inicial y su punto final no están conectados. Los recorridos de herramientas de vaciado también se pueden esquivar material, para producir islas dentro del bolsillo ver (figura 10).

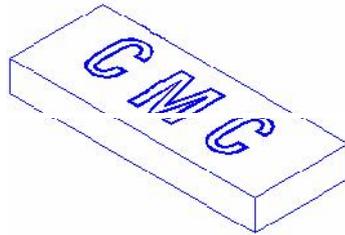
Figura 10. Fresado por vaciado



FUENTE: Documento de apoyo del SENA, Curso Virtual: Introducción al proceso de fresado.

- Grabado. El grabado permite añadir letras a las piezas. Para realizar operaciones de grabado en el plano XY que son creadas en CAD. Se puede especificar la fuente y la profundidad ver (figura 11).

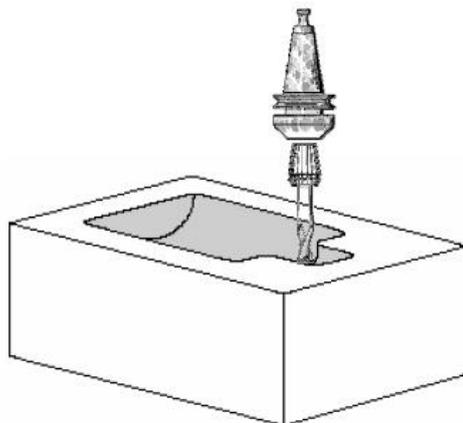
Figura 11. Fresado por grabado



FUENTE: Documento de apoyo del SENA, Curso Virtual: Introducción al proceso de fresado.

- Superficie De Revolución. La operación de superficie de revolución talla una imagen en la pieza, que corresponde a un recorrido de herramienta girado alrededor de un eje central. Esto es útil para fabricar moldes sencillos. La capa de trazado tiene un contorno de un recorrido de herramienta que representa la mitad de la imagen de la superficie. Esta imagen se basa en una línea central definida por el usuario y la geometría gira alrededor del eje de la línea central ver (figura 12).

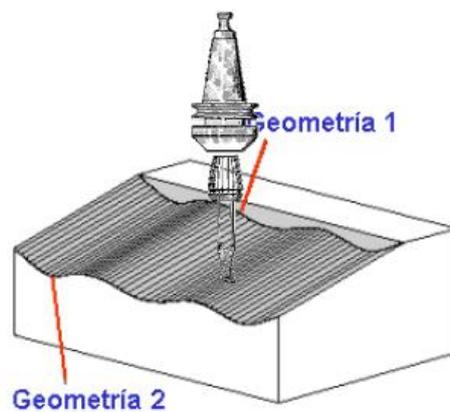
Figura 12. Fresado por revolución



FUENTE: Documento de apoyo del SENA, Curso Virtual: Introducción al proceso de fresado.

- Superficies Pautadas. La operación de superficie pautada permite eliminar el material entre dos geometrías. Estas geometrías pueden ser abiertas o cerradas y residir en planos diferentes. Crea los recorridos de herramienta en líneas rectas, similar a la colocación de una regla de una geometría a otra ver (figura 13).

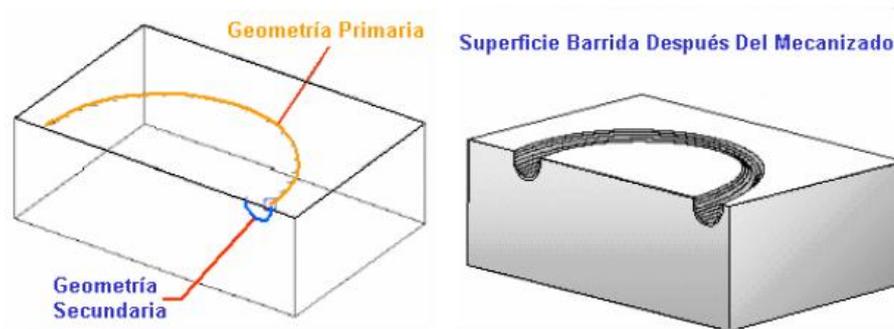
Figura 13. Fresado pautado.



FUENTE: Documento de apoyo del SENA, Curso Virtual: Introducción al proceso de fresado.

- Superficies Barridas. Las superficies barridas se crean seleccionando dos geometrías. Una geometría está en el plano XY y define el área barrida. Esta es geometría primaria. La otra geometría, la secundaria, es perpendicular al área barrida y define el material que se ha de eliminar. Toma la geometría secundaria y la barre a lo largo del contorno de la geometría primaria ver (figura 14).

Figura 14. Fresado por barrido



FUENTE: Documento de apoyo del SENA, Curso Virtual: Introducción al proceso de fresado.

El programa CAM que convierte un archivo tipo CAD en uno de código NC, es enviado a el software de control que lo convierte al lenguaje de máquina para que la fresadora tipo CNC lleve a cabo el proceso de mecanizado de la pieza.

2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO.

2.2.1 NORMAS ISO PARA MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO.

- ISO 230-2:1997 Código de ensayo para máquina-herramienta.
Parte 2: Determinación de la precisión y la repetitividad de posicionamiento de los ejes de control numérico.
- ISO 230-4:1996 Código de ensayo para máquina-herramienta.
Parte 4: Circular de las pruebas de control numérico para máquina-herramienta.

- ISO 841:1997 Control de las máquinas.
Nomenclatura de ejes y movimientos
- ISO 2806:1994 Sistemas de automatización industrial.
Máquinas de Control numérico.
Vocabulario.
- ISO 2972:1979 Control numérico de máquinas.
Símbolos.
- ISO 3592:2000 Sistemas de automatización industrial.
Máquinas de control numérico.
Procesador de la estructura NC del archivo de salida y el lenguaje de formato.
- ISO 4342:1985 Control numérico de máquinas.
Procesador de entrada NC.
Parte del programa básico de referencia de idiomas.
- ISO 4343:2000 Sistemas de automatización industrial.
Control numérico de máquinas.
Transformador de salida posterior procesador de comandos NC.
- ISO/TR 6132:1981 Control numérico de máquinas.
El mando operativo y formato de datos.
- ISO 6983-1:1982 Control numérico de máquinas.
Formato de programa y la definición de dirección de las palabras. Parte 1:
Formato de datos de posicionamiento, línea de movimiento y control de los sistemas de control.
- Ley 4 87 del acuerdo de Cartagena (Marco Legal Normativo). De las patentes y de los derechos de autor de propiedad intelectual.
La investigación, el desarrollo y la creación de ideas y conceptos que sean objeto de propiedad intelectual serán especificados en dos ramas de propiedad intelectual tecnológica; de Los circuitos integrados y de

Esquemas de trazado (en relación con el diseño de los mapas o esquemas de trabajo, de la metodología investigativa del proyecto, de los diseños tridimensionales y diseños industriales)

Esta investigación tiene un contenido intelectual, cognoscitivo y científico que es exclusivamente para uso académico y de desarrollo de esta investigación, de ser utilizado para otro fin tendrá que contar con la autorización de los autores.¹⁵

3. METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Dado que se pretende transformar una realidad, dar un tipo de aporte desde el punto de vista ingenieril, el enfoque investigativo adecuado para el desarrollo del proyecto es el empírico-analítico teniendo como objetivo dar una solución a una necesidad que surge en la industria.

El enfoque de la investigación está dirigido hacia la selección de los mecanismos que se puede implementar, qué materiales utilizar y qué software-hardware seleccionar.

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.

La propuesta de grado está ubicada entre las siguientes líneas y sublíneas de investigación que son:

Línea Institucional: Tecnologías actuales y sociedad.

Sublíneas de la facultad: Instrumentación y control de procesos.

¹⁵ Derecho Comercial; Código de Comercio Colombiano. Acuerdo de Cartagena Ley 4 87.

Campos de la investigación: Electrónica. Mecatrónica.

Nodo: Mecatrónica

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

Las técnicas de recolección de información serán libros, internet, y entrevistas a entidades educativas y empresariales, diarios, noticias, televisión, mediciones, ensayos de prueba y error y simulaciones relacionadas a:

Controles CNC, resistencia de materiales, diseño de estructuras, diseño de mecanismos, lenguaje de control numérico, diseño CAD, programación para los sistemas de control, dispositivos necesarios.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.

Las personas que interfieren en la investigación de este proyecto son los técnicos operarios de las máquinas de mecanizado, las personas con conocimientos en lenguajes NC, las personas que conocen el proceso de diseño de los moldes manualmente, los docentes universitarios con conocimientos de nuestro proyecto, la empresa que financia el proyecto.

3.5 HIPÓTESIS

Se requiere de un software de control que convierta un diseño CAD a lenguaje de control numérico (NC).

Se requiere de una interfaz que transmita los datos a los controladores de la máquina.

Para el control de los motores se requiere de controladores que comprendan entradas digitales debido a que son datos entregados por el computador.

Para la lograr automatizar el proceso de mecanizado se considera que se deben utilizar motores paso a paso que se dejan programar para manipular el cojinete que lleva la pieza en un plano cada 0.9° de 0 a 360° .

Se requiere acoplar la señal de los controladores a los motores.

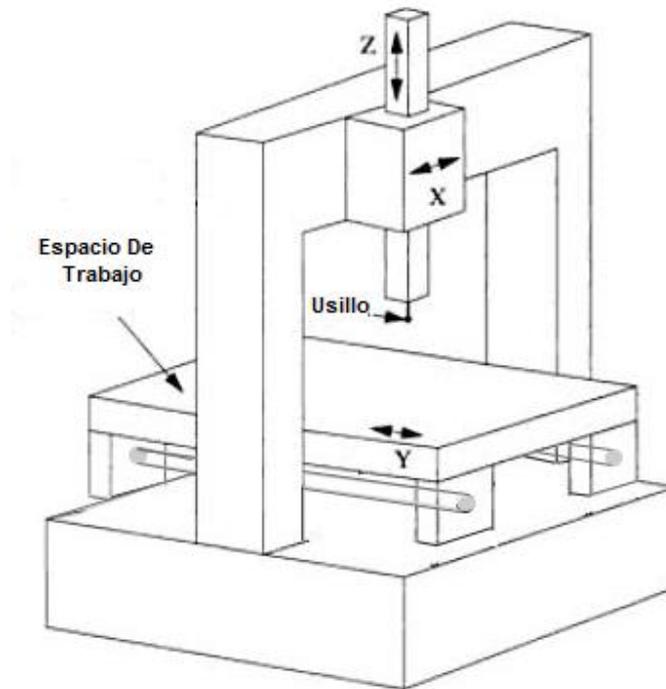
4. DESARROLLO INGENIERIL

4.1 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO

Para la implementación de la automatización del control CNC se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros y requisitos:

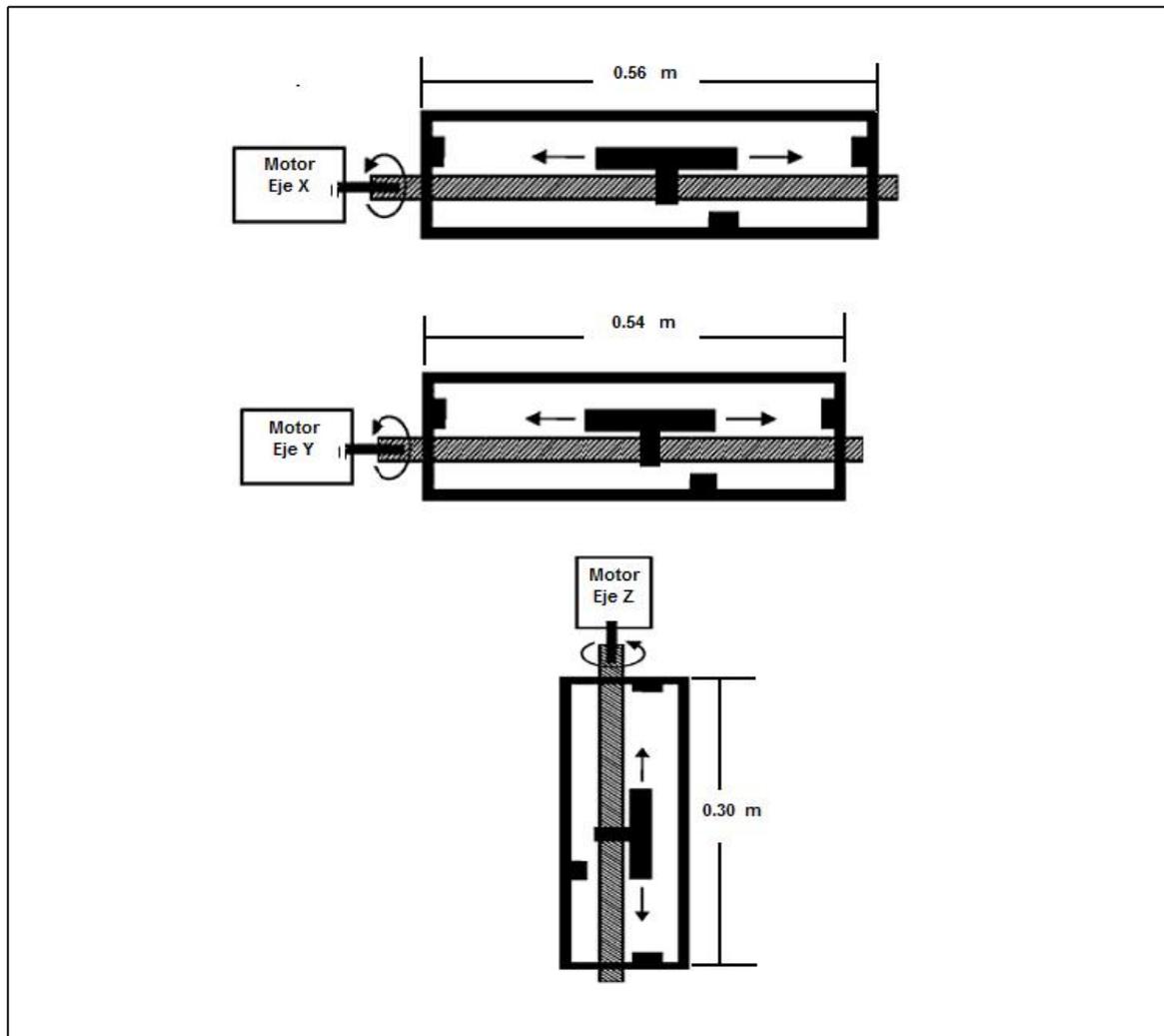
- La forma del movimiento de la máquina es: (ver figura 15).

FIGURA 15. Forma del movimiento de los ejes de la máquina



- La trayectoria máxima de recorrido para el mecanizado de una pieza es de 0.55m.
- Las dimensiones de los ejes de la máquina son de 0.56m X 0.54cm X 0.30m, (largo, ancho y alto).

FIGURA 16. Dimensiones de los ejes de la máquina



- Se definió una precisión de $5 \mu\text{m}$ en la resolución del mecanizado ya que se requiere una tolerancia de $10 \mu\text{m}$
- El avance del tornillo del mecanismo es de 1.25 mm de $\frac{1}{4}$ de pulgada.
- La máquina va a trabajar 20 ciclos por hora, 8 horas diarias 250 días al año durante 5 años

- Capacidad de mecanizar materiales como polímeros pasticos, madera, cera y aluminio.
- Con base a estos materiales se requiere de una velocidad lineal de avance máximo de 1250 mm/min de acuerdo a los estándares implementados en las máquinas de fresado del Sena Metalmecánico.
- La vida útil expresada en distancia requerida por la empresa en términos de el uso al cual va a ser sometida en cuanto a distancia del recorrido, cuantos ciclos por hora, cuantas horas al día, cuantos días al año, y cuantos años está proyectada la máquina a durar antes de ser remplazada por una nueva.

$$56 \left(\frac{1}{1000} \right) \cdot 20 \cdot 8 \cdot 250 \cdot \frac{1}{\dot{n}} \cdot 5 \cdot \dot{n}$$

$$= 11200000 \text{ cm}$$

- Los ejes la máquina están contruidos con acero cold rolled 1020 laminado en caliente con una resistencia a la tención de 380 MPa.
- Peso permitido para el área de trabajo 15Kg
- Puntos de referencia:
 1. Punto cero de la Pieza: es el punto donde se desea comenzar la mecanización de la pieza.
 2. Punto cero de la máquina: es el punto de referencia de la máquina para que entienda que llego a los límites de cada eje.
- Material a mecanizar: Los materiales comúnmente utilizados para la elaboración de los moldes son materiales relativamente blandos, por lo que se escogieron dos tipos de materiales en especial que fueron el aluminio y el plástico para su posterior mecanizado.
- Software de Diseño y Fabricación Asistida por Computador (CAD/CAM): El software que maneja la empresa se llama Artcam es un software de Diseño de elementos artísticos y piezas para joyería que maneja un lenguaje NC de movimientos rectos que significa que los arcos y las curvas están compuestos por rectas muy pequeñas.

4.1.1 Torque de los motores. Para obtener el torque se utiliza el material más duro que la máquina pueda maquinarse.

Se realizaron los cálculos con aleaciones de aluminio según parámetros.

El número de revoluciones de la fresa (N) está dado por :

$$\frac{v}{d}$$

Donde:

= Velocidad periférica de corte. (Ver tabla 1)

= Diámetro de la fresa

Tabla 1. Velocidades y avances para diferentes materiales

MATERIAL A TRABAJAR	FRESAS NORMALES			Fresado con coronas de cuchillas		
	Marca Widia	V = metros minuto	H = avance por diente	Marca Widia	V = metros minuto	H = avance por diente
Acero hasta 75 kg/mm ²	s 1	100—120	0,02—0,0	s 1	150—250	0,02—0,05
	s 3	40—50	0,05—0,5	s 3	40—60	0,05—0,15
Acero 75 - 110 kg/mm ²	s 1	80—100	0,02—0,03	s 1	120—150	0,02—0,05
	s 3	25—35	0,05—0,1	s 3	40—50	0,05—0,15
Acero 110 - 125 kg/mm ²	s 1	60—80	0,02—0,03	s 1	80—120	0,02—0,05
	s 3	20—30	0,02—0,05	s 3	30—35	0,05—0,08
Acero de más 125 kg/mm ²	s 1	30—50	0,01—0,03	s 1	50—70	0,02—0,03
	s 3	15—20	0,02—0,05	s 3	20—25	0,02—0,05
Acero Fundido hasta 50 kg/mm ²	s 1	100—120	0,02—0,05	s 1	150—250	0,02—0,05
	s 3	40—50	0,05—0,1	s 3	40—60	0,05—0,15
Acero Fundido más de 70 kg/mm ²	s 1	80—100	0,02—0,03	s 1	120—150	0,02—0,05
	s 3	25—35	0,05—0,1	s 3	40—50	0,05—0,15
Fundición Gris hasta 200 Brinell	G 1	50—60	0,1 —0,15	G 1	120—180	0,1 —0,2
Fundición Gris más de 200 Brinell	H 1	30—40	0,05—0,1	H 1	35—45	0,05—0,1
Fundición roja, Bronce, Latón	G 1	80—100	0,05—0,1	G 1	100—250	0,1 —0,15
Metales ligeros	G 1	100—800	0,1 —0,15	G 1	800—1.500	0,1 —0,25
Aleaciones de aluminio	G 1	50—70	0,05—0,15	G 1	200—500	0,1 —0,2
Materiales plásticos	G 1	80—100	0,05—0,1	G 1	100—200	0,1 —0,2
Acero INOXIDABLE	s 1	60—80	0,01—0,03	s 1	80—100	0,02—0,03
	s 3	20—30	0,02—0,05	s 3	30—35	0,02—0,05
METAL MONEL	s 1	70—90	0,01—0,03	s 1	90—110	0,02—0,03
	s 3	30—40	0,02—0,03	s 2	40—50	0,02—0,05

FUENTE: A.L Casillas (2001), Máquinas, ed 36, p. 598

Tomando el valor mínimo en la tabla V=50m/nim

Remplazando los valores re tiene:

$$= \frac{1000 \cdot 50}{2} = 7961.7 \text{ RPM}$$

La velocidad de avance por minuto (S) está dada por:

$$S = M \cdot \omega$$

Donde:

M = avance por vuelta

ω = velocidad RPM

=

Donde:

= avance por diente (ver tabla 1)

= número de dientes

Tomando el valor de 0.05 de la anterior tabla se tiene :

$$= 0.05 \cdot 2$$

$$= 0.1 \quad /$$

$$= 0.1 \cdot 7961.7$$

$$= 1500.34 \quad \hat{O} \quad 150.34 \quad \hat{O}$$

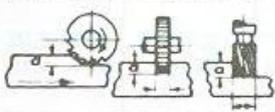
La potencia se calcula con:

$$= \frac{\quad}{100}$$

Donde:

- = Profundidad de corte (Ver tabla 2) donde se toma para fresas frontales de mango y fresado en terminación con única pasada por motivos del control praxial
- = Ancho de la fresa.
- = Volumen de cortado en 50 \bar{O} (Ver tabla 3).

Tabla 2. Profundidad de corte

	Profundidades de fresado «a» y ancho de corte		
	Fresado en terminación y con pasada única	Fresado en desbaste	Fresado en Afinado
1. Fresas Cilíndricas.	Todo el ancho de la fresa, a = 3 mm.	Todo el ancho de la fresa, a = 5-8 mm.	Todo el ancho de la fresa, a = 1 mm.
2. Fresas Frontales.	Ancho = al diámetro de la fresa, a = 3 mm.	La mitad del diámetro de la fresa, a = 5 mm.	Igual al diámetro de la fresa, a = 1 mm.
3. Fresas Frontales de mango.	Igual al diámetro de la fresa, a = 2 mm.	La mitad del diámetro de la fresa, a = 4 mm.	Igual al diámetro de la fresa, a = 0,5 mm.
4. Fresas de disco.	a = Ancho de la fresa como máximo	a = a la mitad del ancho de la fresa	a = 5 % del ancho de la fresa
5. Fresas de forma.	a = Todo el perfil en pequeñas formas	a = 1.ª Pasada 45 % altura, 2.ª 45 %	a = 10 % de la altura de su forma

FUENTE: A.L Casillas (2001), Máquinas, ed 36, p. 597

Tabla 3: Volumen cortado por minuto

MATERIAL A FRESAR	C = Volumen cortado en cm ³ /kW minuto
Acero de 40-60 kg/mm ²	14
Acero de 60-85 kg/mm ²	12
Acero de 85-110 kg/mm ²	10
Acero de 110-180 kg/mm ²	8
Fundición blanda 180 Brinell	25
Fundición Semidura 200 Brinell	20
Latón	40
Bronce corriente.	30
Bronce Fosforoso	20
Aluminio	65
Aleaciones de Aluminio.	50

FUENTE: A.L Casillas (2001), Máquinas, ed 36, p. 595

$$= \frac{0.2 \quad 25 \quad 150.34 \quad /}{100 \quad \underline{50}} = 0.15$$

Pasando las unidades de KW a Hp

$$= 0.20$$

Torque para el motor de los ejes:

$$= \frac{7124.3}{\quad}$$

El valor de ω es 7961 rpm pero la máquina tiene una velocidad máxima de 2000 rpm por consiguiente toma este valor.

$$= \frac{7124.3 \quad 0.20}{2000} = 0.71$$

El torque para el motor de los ejes debe ser mayor a 0.71Nm.

4.1.2 Velocidad de corte. Con el objetivo de determinar las velocidades máximas de corte y avance se hicieron los cálculos con los materiales más blandos o fáciles de mecanizar como plasticos.

El número de revoluciones de la fresa (N) está dado por

$$= \frac{1000}{\quad}$$

= 100 (Ver tabla 4) toma el valor más alto por motivos de encontrar su velocidad máxima de mecanizado.

Tabla 4. Tabla para la velocidad periférica de corte

MATERIAL A TRABAJAR	FRESAS NORMALES			Fresado con coronas de cuchillas		
	Marca Widia	V = metros minuto	H = avance por diente	Marca Widia	V = metros minuto	H = avance por diente
Acero hasta 75 kg/mm ²	s 1	100—120	0,02—0,0	s 1	150—250	0,02—0,05
	s 3	40—50	0,05—0,5	s 3	40—60	0,05—0,15
Acero 75 - 110 kg/mm ²	s 1	80—100	0,02—0,03	s 1	120—150	0,02—0,05
	s 3	25—35	0,05—0,1	s 3	40—50	0,05—0,15
Acero 110 - 125 kg/mm ²	s 1	60—80	0,02—0,03	s 1	80—120	0,02—0,05
	s 3	20—30	0,02—0,05	s 3	30—35	0,05—0,08
Acero de más 125 kg/mm ²	s 1	30—50	0,01—0,03	s 1	50—70	0,02—0,03
	s 3	15—20	0,02—0,05	s 3	20—25	0,02—0,05
Acero Fundido hasta 50 kg/mm ²	s 1	100—120	0,02—0,05	s 1	150—250	0,02—0,05
	s 3	40—50	0,05—0,1	s 3	40—60	0,05—0,15
Acero Fundido más de 70 kg/mm ²	s 1	80—100	0,02—0,03	s 1	120—150	0,02—0,05
	s 3	25—35	0,05—0,1	s 3	40—50	0,05—0,15
Fundición Gris hasta 200 Brinell	G 1	50—60	0,1 —0,15	G 1	120—180	0,1 —0,2
Fundición Gris más de 200 Brinell	H 1	30—40	0,05—0,1	H 1	35—45	0,05—0,1
Fundición roja, Bronce, Latón	G 1	80—100	0,05—0,1	G 1	100—250	0,1 —0,15
Metales ligeros	G 1	100—800	0,1 —0,15	G 1	800—1.500	0,1 —0,25
Aleaciones de aluminio	G 1	50—70	0,05—0,15	G 1	200—500	0,1 —0,2
Materiales plásticos	G 1	80—100	0,05—0,1	G 1	100—200	0,1 —0,2
Acero INOXIDABLE	s 1	80—80	0,01—0,03	s 1	80—100	0,02—0,03
	s 3	20—30	0,02—0,05	s 3	30—35	0,02—0,05
METAL MONEL	s 1	70—90	0,01—0,03	s 1	90—110	0,02—0,03
	s 3	30—40	0,02—0,03	s 2	40—50	0,02—0,05

FUENTE: A.L Casillas (2001), Máquinas, ed 36, p. 598

$$= \frac{1000 \cdot 100}{2}$$

$$= 15915.49 \text{ RPM}$$

=

= 0.1 Ver (tabla 4) tomando el valor más alto para hallar la velocidad máxima

$$= 0.1 \cdot 4$$

=

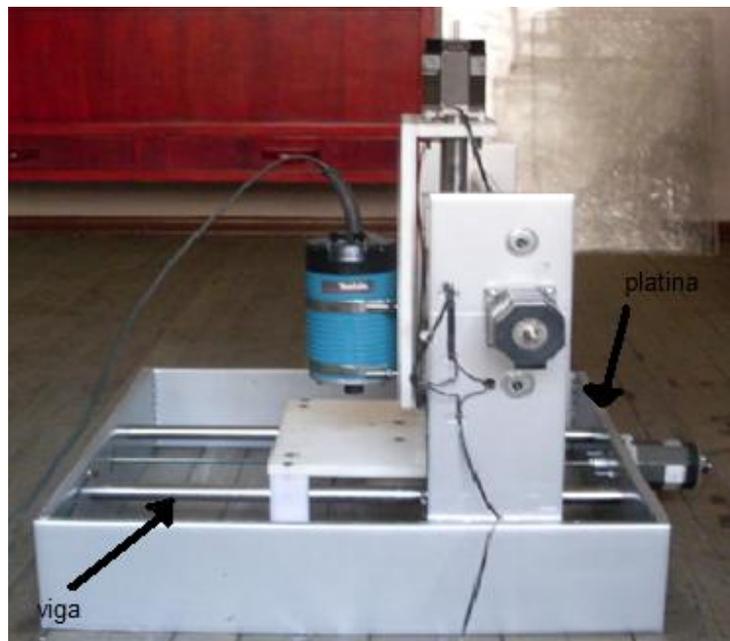
$$= 0.4 \cdot 15915.49$$

$$= 6366.19 \hat{O} \quad 106 \quad /$$

Según los cálculos la velocidad de la mesa para mecanizar polímeros (plásticos) es de 106 mm por segundo.

4.1.3 Resistencia de las vigas horizontales de la mesa de la máquina: **Para determinar si la máquina puede soportar las cargas aplicadas para los procesos a los que se va a enfrentar se calculó la resistencia de las vigas horizontales.**

FIGURA 17. Vigas horizontales de la máquina.

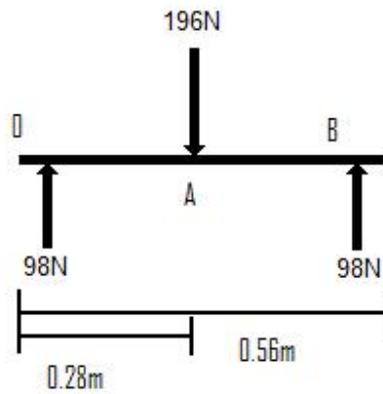


La viga es de acero 1020 o colroll de una pulgada de diámetro y una resistencia a la tención de 380 MPa.

Haciendo el diagrama de fuerzas para determinar su resistencia a la tención, y teniendo en cuenta que el máximo peso para trabajar es de 15Kg y que la mesa pesa 5Kg se tiene un peso total de 20Kg

$$20 \quad 9.8 \quad \hat{O} \quad = 196$$

Diagrama de fuerzas



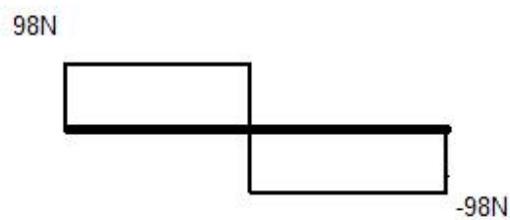
$$= 1 \cdot 0.56 \cdot 196 - 0.28 = 0$$

$$1 = 98$$

$$= 98 \cdot 196 + 2 = 0$$

$$2 = 98$$

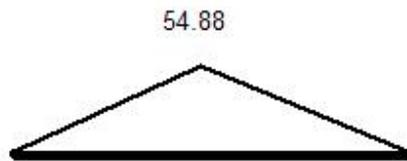
Diagrama de fuerzas



Calculo del momento máximo

$$= 196 \cdot 0.28 = 54.88$$

Diagrama de momentos



Inercia para círculos

$$= \frac{m}{64}$$

D= diámetro

$$= \frac{0.0254}{64} = 2.04 \cdot 10^{-6}$$

$$= \frac{m}{64}$$

= cortante

m= momento

c=radio

I= inercia

$$= \frac{54.88 \cdot 0.127}{2.04 \cdot 10^{-6}} = 34.1$$

$$=$$

Sy= resistencia a la tensión

K=factor de seguridad¹⁶

¹⁶ DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA. De Joseph E. Shigley pag 29

Para soportes de maquinaria ligera impulsada con eje transmisión o motor

$$1.20$$

$$S_y = 1.20 * 34.1 \text{MPa}$$

$$S_y = 40.92 \text{MPa}$$

Como se puede observar la fuerza aplicada a la viga no supera el límite del material por lo que se puede decir que la viga esta no presentará ningún tipo de falla.

4.1.4 Resistencia del material para el acople del motor. La platina es de acero 1020 con 0.57m de base 0.1m de alto y 1.27cm de fondo el motor tiene un peso de 1.23 Kg. ver figura 17

$$1.23 \text{Kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 = 12.05 \text{N}$$

Diagramas de fuerza

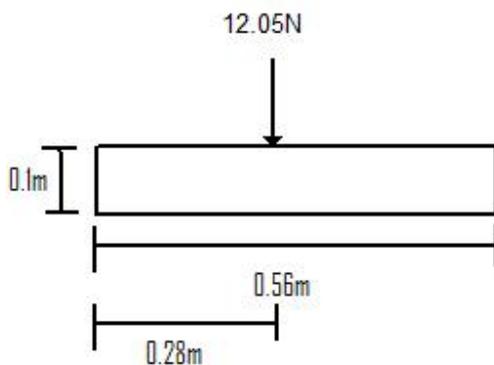
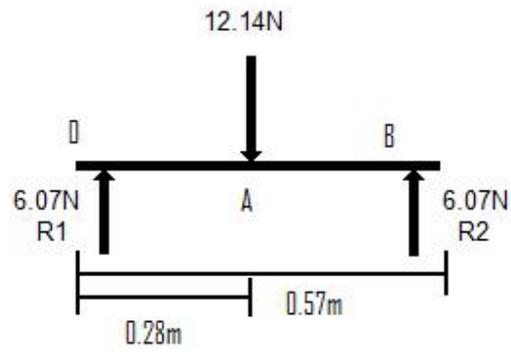


Diagrama de fuerzas



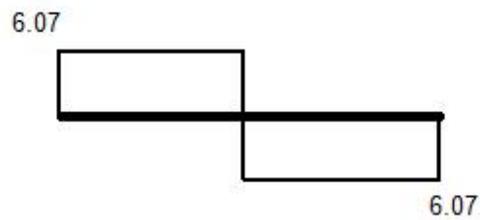
$$\sum M_A = 0 \Rightarrow 12.14 \cdot 0.28 - 6.07 \cdot 0.57 = 0$$

$$R1 = 6.07N$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow 6.07 - 12.14 + R2 = 0$$

$$R2 = 6.07N$$

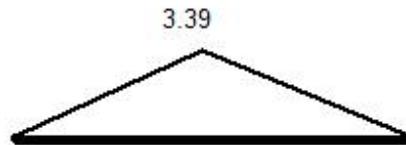
Diagramas de fuerza



Calculo del momento máximo

$$M_{max} = 6.07 \cdot 0.28 = 1.70$$

Diagrama de momentos



Momento de inercia para rectángulos

$$\begin{aligned} &= \frac{\quad}{12} \quad = \frac{\quad}{12} \\ &= \frac{0.57 \cdot 0.1}{12} = 4.75 \cdot 10 \\ &= \frac{0.34 \cdot 0.1}{12} = 3.27 \cdot 10 \\ &= 8.02 \cdot 10 \\ &= \frac{3.39 \cdot 1.27}{8.02 \cdot 10} = 5.36 \\ &= \\ &S_y = 6.44 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Como se puede observar la fuerza aplicada a la plaqueta no supera el límite del material por lo que se puede decir que la plaqueta esta no presentara ningún tipo de falla.

4.2 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Para identificar el sistema de control, se tuvo en cuenta la hipótesis del proyecto en el cual se requiere de los siguientes componentes:

- *Comunicación PC Máquina:* Necesaria para la transmisión de datos del computador al sistema de control.
- *Controlador:* Para el manejo de señales digitales ya que el computador entrega señales digitales que contienen los datos para la posición y velocidad.
- *Motores paso a paso:* tres motores que serán los encargados de mover los carros X,Y,Z.

Conociendo que “los motores paso a paso son sistemas electromecánicos que convierten una señal de entrada digital de pulsos en un movimiento angular del rotor en pasos correspondiente al número de pulsos”¹⁷ muy efectivamente y con baja inercia “no es necesaria la implementación de feedback¹⁸ (encoder) a diferencia de los servomotores”¹⁹ y los motores DC, sin embargo se pensó utilizarlo como un método de comprobación del movimiento mas no como un requisito para el control del motor.

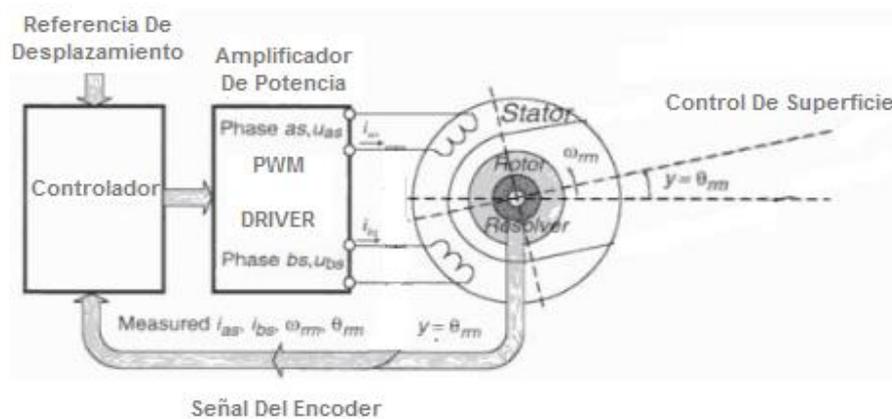
Ver la siguiente figura para entender la forma del mecanismo (ver figura 18)

¹⁷Robert H Bishop (2002), The Mechatronics HandBook , ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Edicion ilustrada, CRC Press, p. 20-47

¹⁸ Feedback: es la medicio del error utilizada en sistemas de lazo cerrado.

¹⁹ Robert H Bishop. The Mechatronics HandBook 2da Edicion, CRC Press p. 15-3

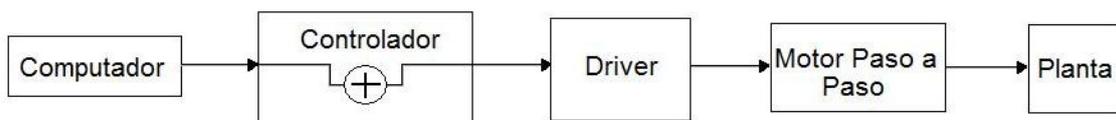
Figura 18. Forma del mecanismo



FUENTE: Robert H Bishop. The Mechatronics HandBook 2da Edicion, CRC, p.143

Según los parámetros anteriores se construyó un diagrama de bloques que corresponde al sistema de control necesario para la automatización de la máquina. (Ver figura 19).

FIGURA 19. Diagrama de bloques del sistema de control



“El motor paso a paso está considerado como un dispositivo ideal de posicionamiento *read/write*²⁰; debido a la habilidad para localizar el rotor en una posición específica (después de un número de pulsos enviados) esto permite un

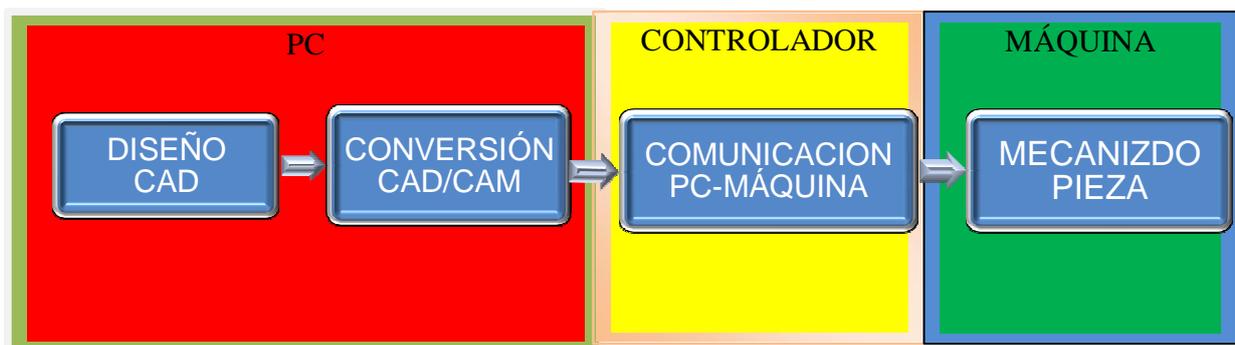
²⁰ Dispositivos que reciben y ejecutan exactamente lo que se pide con gran efectividad.

posicionamiento preciso para los dispositivos mecánicos y hace del motor paso a paso como un modelo ideal para este tipo de aplicaciones”²¹.

4.3 ETAPAS DEL PROCESO

Con el fin de que el lector conozca el proceso completo para el mecanizado de la pieza que debe realizar la máquina, se realizó el siguiente diagrama esquemático ver (Esquema 2):

Esquema 2 Etapas de la máquina



4.3.1 Diseño CAD/PC En el campo de la Ingeniería hay muchos paquetes de software especializado, que ayudan en las tareas de diseño y de cálculo de las piezas y máquinas, con los cuales se pueden simular estas piezas.

4.3.2 Conversión CAD/Cam. Realización de un lenguaje de computador que puede ser interpretados por la por la fresadora.

4.3.3 Comunicación PC-Máquina Es la herramienta de hardware que convierte de lenguaje de PC a lenguaje de la máquina.

²¹ Michael Predco y Mike Predco (2007), Programming and Customizing the PIC Microcontroller, 3ra edición, McGraw-Hill Professional , p. 725

4.3.4 Maquinado Pieza. Proceso final donde se puede apreciar la pieza físicamente se realizó en el computador.

4.4 SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

4.4.1 Selección de los motores para los tornillos. En este cuadro comparativo se pueden ver algunas características de los motores pasos a paso, los motores dc y el servo motores y sus aplicaciones más comunes. (Ver tabla 5).

Tabla 5: Comparación de motores

TIPO DE MOTOR	CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES
Motor DC	Económico	Control de velocidad
	Alta velocidad	Controles de lazo cerrado
	Alto torque	
Motor Paso A Paso	Micropasos	Controles de lazo abierto
	Control Ideal	Posicionamiento
	No para cargas variables	Micromovimientos de precisión
	Alta precisión	
Servo Motores	Velocidad moderada	Controles de lazo cerrado
	Buen torque	Posicionamiento
	costo moderado	Controles de velocidad

De estas características lo más importante para el criterio son los micropasos debido a que se requieren de pequeños movimientos para mecanizar pequeños espacios e inercia baja, esta es una gran ventaja por lo que no se necesitan un freno externo para detenerlo en la posición deseada, con lo que se justifica la utilización de un motor paso a paso.

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez y por motivos de este proyecto es necesario que sean micropasos. Estos micropasos pueden variar desde tan solo 0.8° hasta cualquier valor en grados o número de vueltas que se requieran.

Dentro de los motores paso a paso se encuentran los unipolares y los bipolares, y se encontró que los bipolares a pesar de que su control es más complejo, al manejar voltajes positivos y negativos entregan un mejor torque y mejor precisión por lo que se seleccionó este tipo de motor.

Los criterios de selección para el motor paso a paso fueron:

- Torque necesario: El torque mínimo necesario para la mecanización del aluminio que es uno de los materiales más duros que la máquina puede mecanizar, dio como resultado 0.71Nm.
- Número de pasos por vuelta: teniendo en cuenta que en los requisitos y parámetros de diseño la resolución debe ser de aproximadamente 0.005mm y que el tornillo tiene un avance de 1.25mm/vuelta entonces:

Tomando el motor a paso completo son 200 pasos por vuelta:

$$= \frac{360 /}{200 /}$$
$$= \frac{1.8}{}$$

$$= \frac{1.8 / \quad 1.25 /}{360 /}$$

$$= 0.006$$

La resolución no cumple con los requisitos siendo 0.006mm mayor que 0.005mm.

Entonces para trabajar a medio paso son 400 pasos por vuelta:

$$= \frac{360 /}{400 /}$$

$$\underline{\quad} = \frac{0.9}{\quad}$$

$$= \frac{0.9 / \quad 1.25 /}{360 /}$$

$$= 0.003$$

Esta resolución si es aceptable al ser 0.003mm menor a 0.005mm.

En el mercado Colombiano es difícil conseguir motores paso a paso bipolares con micropasos a un precio considerable asequible para las pequeñas y medianas empresas que los requieran o mejor existe opciones para adquirirlos comprándolos vía internet en su país de origen e importándolos, por lo que se

examinaron las diferentes opciones en cuanto a precio, referencias, características y requerimientos por la empresa para su real implementación.

Teniendo en cuenta que la velocidad lineal máxima para mecanizar los materiales es 1250 mm/min entonces la velocidad requerida del motor es:

$$= \frac{(\quad / \quad)}{(\quad / \quad)}$$

$$= \frac{1250 /}{1.25 /}$$

$$= 1000$$

El motor seleccionado para accionar los tornillos de los ejes X,Y,Z es:

- El motor Pacific Scientific – PowermaxII tipo nema 23, bipolar, 2.6 amperios, 65V, Torque 1.51Nm, (ver tabla 6)

Tabla 6. Torque motor Pacific Scientific

		NEMA 23
		(2.3" square frame)
		Holding Torque
POWERMAX II HYBRIDS		oz-in. (Nm)
M Series - Sigmax® Technology		
	1 stack	95-144 (0.67-1.02)
	2 stacks	161-253 (1.13-1.79)
P Series - Standard Hybrid		
	1/2 stack	42-61 (0.29-0.43)
	1 stack	77-116 (0.54-0.82)
	2 stacks	138-214 (0.97-1.51)

FUENTE: http://www.pacsci.com/products/step_motors/powermaxproducts.html

Para cumplir el parámetro de la precisión el motor se trabajara a micropasos 400 pasos por vuelta y el avance del tornillo es de 1.25mm se tiene:

Resolución = 1.25 mm /400 pasos

Resolución = 3.125 10 mm

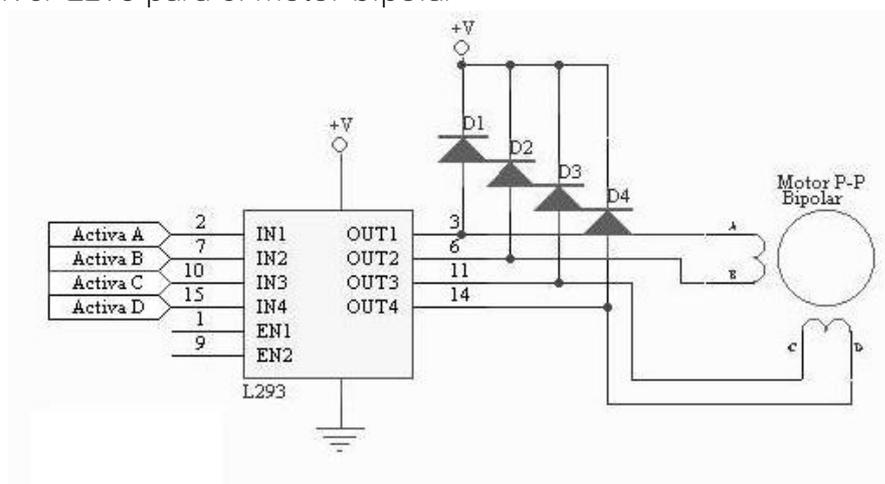
La resolución pedida es 0.005 mm con estos motores se tiene una resolución mucho mayor, cumpliendo con los parámetros.

4.4.2 Selección del driver del motor paso a paso. Para la selección de los driver que permitirán realizar el control de los motores se tuvo en cuenta como requisito principal la facilidad para realizar dicho control como la estabilidad y confiabilidad del mismo para esto se investigó en la implementación de los siguientes drivers:

- driver L293

Como primer requisito para lograr el movimiento del motor se encontró este circuito donde explica claramente como realizar un óptimo movimiento implementando el controlador L293 de motor paso a paso con entradas digitales enviándoselas desde otro controlador con la secuencia especifica (ver figura 20).

Figura 20. Driver L293 para el motor bipolar

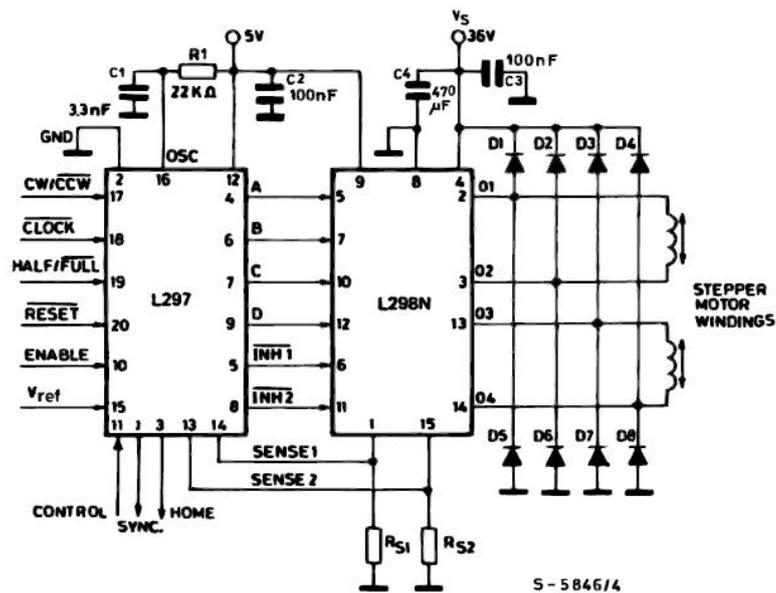


FUENTE: <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

- driver L297

El integrado L297 posee la particularidad que simplifica en gran medida el control debido a que posee características especiales posteriormente explicitas. (Ver figura 21).

Figura 21. Circuito para el control del motor con L297



$$R_{S1} = R_{S2} = 0.5 \Omega$$

$$D1 \text{ to } D8 = 2 \text{ A Fast diodes } \begin{cases} V_F \leq 1.2 \text{ V @ } I = 2 \text{ A} \\ \text{trr} \leq 200 \text{ ns} \end{cases}$$

FUENTE: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/c/0g0gh362kxwx30o7xi4x2i4jzffy.pdf>

Este integrado L297 permite:

- ∅ Cambiar la dirección de giro del motor con un bit 0 o 1.
 - ∅ Inhibir la corriente que pasa por el motor parcial o totalmente.
 - ∅ Mandar señal de un paso cuando cada pulso de una entrada de flanco descendente del pulso del reloj.
 - ∅ Trabaja con 5 V.
-
- Driver Us-Digital MD2S. El MD2S es un driver universal microstepping (micropasos) del controlador de motor. Se pueden seleccionar las corrientes de motor de 0,5 a 7,0 amperios simplemente cambiando unos jumpers de 0.5 A cada uno, La opción-L (baja corriente) es seleccionable de 0,20 a 3,6 amperios por disolución en incrementos de 0.05 amperios. El MD2S es alimentado por una única tensión de alimentación de 16 a 50 VDC lo que permite utilizar motores que de 50 voltios. (ver figura 22)

Figura 22. Driver Driver Us-Digital MD2S



FUENTE: <http://www.ecnmag.com/Universal-Programmable-Microstepping-Stepper-Motor.aspx?menuid=304>

Esta versión ofrece un método práctico para hacer girar un motor paso a paso sin necesidad de un controlador de motor. 4 entradas digitales y 8 interruptores DIP

que proporcionan la capacidad de seleccionar si quiere trabajar a medio paso o a paso completo, y revertir las direcciones

Los driver convencionales utilizan una variación baja (PWM), ciclo indeseable que genera la onda de corriente de Foucault y pérdidas. En cambio, la MD2S utiliza una variación más eficaz PWM de recirculación modificados que reduce significativamente el ciclo y por consiguiente menos pérdida de calor. Esto es más notable cuando el motor está cerca de velocidad cero.

Observando las características de cada driver, el que cumple con las especificaciones es el MD2S de la empresa Us digital. Ya que este posee una línea de alimentación de los motores de 50v, limitadores de corriente y una mejor disipación térmica entre otras ventajas.

4.4.3 Selección Del Sistema De Comunicación. El conocimiento de los sistemas de transmisión digital es indispensable para lograr la transmisión de Datos.

En el proyecto se debe tener en cuenta los siguientes protocolos para la transmisión de datos son los puertos RS232, el USB y Ethernet

- Puerto USB. (Universal Serial Bus) es un puerto que sirve para conectar periféricos a una computadora.

No se encontró información completa para la programación de un controlador y poder implementar la comunicación USB para este proyecto.

- Ethernet. Este sistema es muy veloz en cuanto a transmisión de datos, pero es muy costoso para su control debido a que es necesario implementar dispositivos especiales de Ethernet o de un PLC y la cantidad de información que se requiere enviar no es tan grande para justificar su utilización.

- Puerto serial RS232. Es un estándar de comunicaciones propuesto por la Asociación de Industrias Electrónicas (EIA) Antiguamente se utilizaba para conectar terminales a un ordenador Host. Se envían datos de 7, 8 o 9 bits. La velocidad se mide en baudios (bits/segundo) y sólo son necesarios dos pines, uno de transmisión y otro de recepción.

Este sistema de comunicación seleccionado fue el RS232 ya que aparte de ser de costo más bajo con relación al los anteriores, la velocidad de comunicación y las demás características se acomoda a las necesidades del proyecto.

4.4.4 Selección Del Controlador. Para la selección del sistema de controlador programable más acorde con el proyecto se tuvieron en cuenta las siguientes variables a las que se les otorgó un porcentaje donde la suma de estas dan como resultado el 100% de conformidad (ver tabla 10).

Precio: 50 %

Tamaño: 10%

Operaciones matemáticas: 10%

Memoria: 5%

Punto flotante: 5%

PWM: 10%

Comunicación RS232: 10%

Tabla 7. Comparación de controladores

VARIABLES		MICROCONTROLADOR		PLC	
Nombre	% de variable	factor del dispositivo	% del dispositivo	factor del dispositivo	% del dispositivo
Precio	50	4	40	2	20
tamaño	10	4	8	2	4
Operaciones	10	3	6	4	8
memoria	5	2	2	4	4
punto flotante	5	2	2	4	4
Pwm	10	4	8	3	6
comunicación RS232	10	2	4	4	6
porcentaje total	100		70		52

En el anterior cuadro se da un valor de 0 para menor capacidad del dispositivo y de cinco para capacidad máxima del dispositivo para realizar la variable requerida.

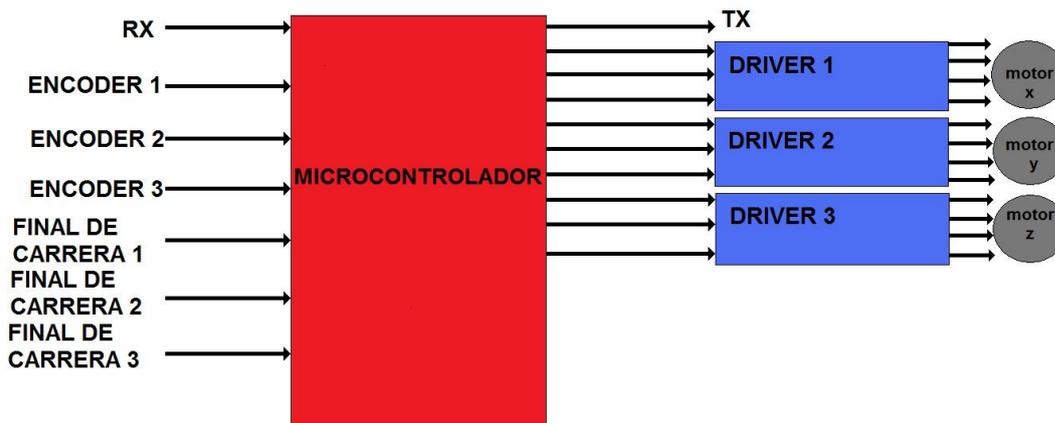
Como se observa en el cuadro, el dispositivo más favorable para el proyecto según los requisitos fue el microcontrolador con un puntaje del 70 % contra un 52% del PLC.

Entre los microcontroladores se encuentran los PIC y los MOTOROLA, de estos dos se optó por programar en PIC ya que se conoció el software en lenguaje C para PIC el cual facilita su programación.

Para el sistema de control teniendo en cuenta que se seleccionó el microcontrolador de PIC, la comunicación RS232, el encoder incremental US Digital E7P, el driver de los motores US digital MD2S-P y los motores paso a paso bipolares de Pacific Scientific, se procedió a determinar el tipo de microcontrolador más apropiado teniendo en cuenta tanto la cantidad de entradas y salidas que se requieren como la comunicación RS 232.

Para la determinación de la cantidad de entradas y salidas requeridas se realizó el siguiente cuadro (ver figura 22).

Figura 22. Cantidades de entradas y salidas requeridas



Según la gráfica se requiere de 7 entradas y 10 salidas, significa que son 17 pines I/O necesarios en el microcontrolador.

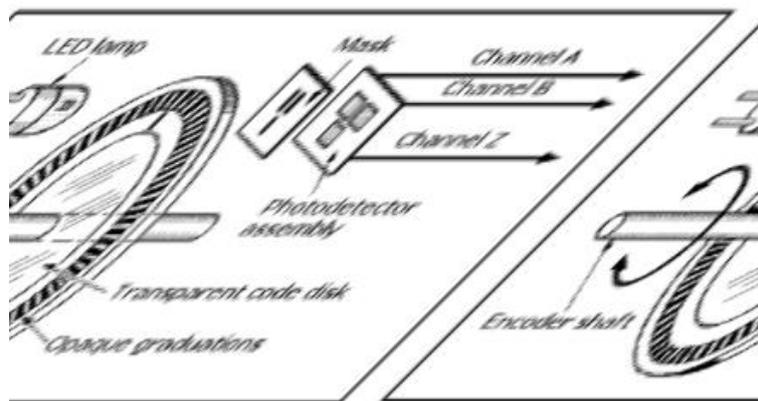
Esto sumado a la necesidad de ser un dispositivo comercial y con la posibilidad de la comunicación RS232 se optó por seleccionar el microcontrolador PIC16F877A que posee 3 puertos de 8 pines I/O de los que 2 son para comunicación RS232 y más un puerto de 6 pines I/O lo cual suma 30 pines disponibles.

4.4.5 Selección Del Encoder. En el mercado existen dos tipos de encoders incrementales y absolutos.

- Encoder incremental: este genera pulsos correctamente escuadrados y sin interferencias. Este tipo de encoder determina la posición por el

computo del número de impulsos con respecto a la marca cero, pero no reconoce la posición en la que termina.(ver figura 23)

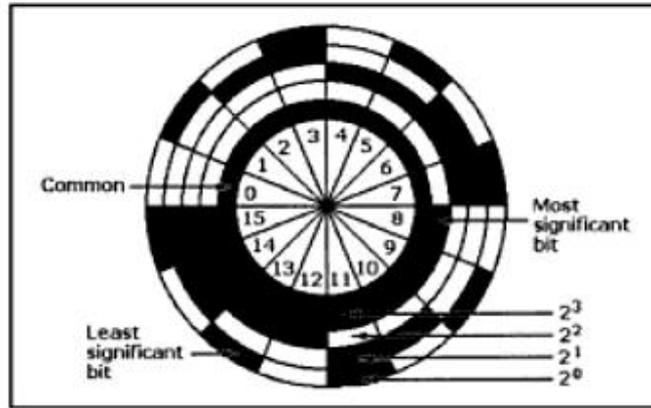
Figura 23. Encoder Incremental



FUENTE: Nicholas P.Chironis 4 Edition, illustrated, (2007). Mechanisms and mechanical devices sourcebook, McGraw-Hill Professional.P 38

- Encoder absoluto: El encoder absoluto la posición queda determinada mediante la lectura del código de salida, que es único para cada una de las posiciones dentro de la vuelta. (Ver figura 24)

Figura 24. Encoder Absoluto



FUENTE: Nicholas P.Chironis 4 Edition, illustrated, (2007). Mechanisms and mechanical devices sourcebook, McGraw-Hill Professional.P 39z

No es necesario saber en qué posición se encuentra el motor en una vuelta hay que determinar el número de pulsos a partir de la marca cero, por tal motivo se utilizará encoder incrementales.

Los encoders analizados fueron:

Encoder E1, E2, E4P y E7P todos de la empresa US Digital, por características de costo y precisión se decidió utilizar el encoder E7P ver figura (25).

Figura 25. Encoder E7P



FUENTE: <http://www.usdigital.com/products/encoders/incremental/rotary/kit/e8p/>

Parámetros y especificaciones del encoder (ver tabla 8 y 9)

Parámetros del encoder E7P (tabla 8)

Tabla 8.

Parameter	Min.	Max.	Units
Vibration (5 Hz to 2kHz)	-	20	G
Shaft Axial Play	-	±.020	in.
Off-axis Mounting Tolerance	-	0.010	in.
Acceleration	-	250,000	rad/sec ²
Maximum RPM e.x. CPR = 512, max. rpm = 7031 e.x. CPR = 180, max. rpm = 20000		minimum value of (3600000/CPR) and (60000)	rpm
Relative Humidity	-	90	%
Storage Temperature	-40	100	C
Operating Temperature	-20	100	C

► Note: 60000 rpm is the maximum rpm due to mechanical considerations. The maximum rpm due to the module's 60kHz maximum count frequency is (3600000/CPR).

FUENTE: <http://www.usdigital.com/products/encoders/incremental/rotary/kit/e8p/>

Especificaciones del encoder E7P (Tabla 9)

Tabla 9.

Specifications	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
Supply Current	-	22	30	mA	
Supply Voltage	4.5	-	5.5	V	
High Level Output	2.4	3.4	-	V	I _{oh} = -20 mA
Low Level Output	-	0.2	0.4	V	I _{ol} = 20 mA
Rise Time	-	500	-	ns	
Fall Time	-	100	-	ns	
Frequency Response	-	-	60	kHz	

FUENTE: <http://www.usdigital.com/products/encoders/incremental/rotary/kit/e8p/>

4.5.6 Selección Del Final De Carrera. **Generalmente** estos sensores están compuestos por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento. Su uso es muy diverso, empleándose en general en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta o sigan una trayectoria fija es decir, aquellas que realicen una carrera o recorrido fijo

Dentro de los dispositivos sensores de final de carrera existen varios modelos:

- Fin de carrera de seguridad
- Fin de carrera para entornos peligrosos
- Fin de carrera para impactos fuertes o (set crews)

Se utiliza el final de carrera de seguridad ya que la máquina no se opera bajo entornos peligrosos ni soportar impactos fuertes.

4.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

4.6. Análisis del control numérico. Para el análisis del control numérico se hizo un estudio del lenguaje que entrega el programa Artcam para entender las coordenadas de los ejes y las trayectorias generadas con dichos comandos.

El software que genera Artcam genera un código llamado Max NC que entrega únicamente los movimientos de cada eje en milímetros de X, Y, Z y las velocidades de corte mm/seg. Del siguiente modo.

X, ##### Y, ##### Z, ##### F, #####
A B C D

Con A, B, C en milímetros y D en milímetros por minuto

Este lenguaje no entrega el código en el método abreviado sino que solamente implementa la utilización de rectas para todo tipo de trayectorias sean rectas, curvas, parabólicas, etc, y únicamente ejecuta los movimientos con un eje a la vez. Como lo explica claramente un control Paraxial.

Se analizaron los 3 diferentes tipos de control (*CN punto a punto*, *CN paraxial*, *CN de contorneo*) con los que se puede programar una máquina CNC y se llegó a la conclusión de que el *CN punto a punto* no sirve para el mecanizado de la pieza debido a que “este posiciona la herramienta sin importar en absoluto la trayectoria seguida”²² lo que importa en este tipo de control es obtener la mayor velocidad posible en el movimiento, ahora se trata de identificar cual de los otros dos sistemas implementar en el control.

La característica principal del *CN praxial* es que los movimientos se obtienen controlando el accionamiento en un eje mientras permanecen bloqueados los accionamientos del resto de los ejes esperando a que se realice el movimiento. Para lograr esto se requiere que el accionamiento enviado por el sistema de control vaya haciendo que los movimientos se realicen paso a paso.

Ejemplo:

Para una trayectoria que empieza en X000 Y000 Z000 y termina en X100 Y100 Z100 aplicando un *CN praxial* se realizaría el movimiento de un paso por un paso de cada eje de tal manera que primero mueve un paso de X por ser el de prioridad, luego mueve uno de Y, luego uno de Z, luego vuelve a hacer el siguiente de X y así sucesivamente hasta completar toda la trayectoria.

De esta manera se pueden realizar trayectorias rectas y curvas sin necesidad de realizar operaciones de radios y perímetros para curvas.

Por otro lado el *CN contorneo* trabaja los tres ejes al mismo tiempo entonces para el ejemplo anterior para desplazarse hasta X100 Y100 Z100 se requiere de un control automático de cada eje para que ejecute los tres ejes al mismo tiempo. Con esta configuración se optimiza la velocidad del mecanizado pero “es el más complejo de los sistemas”²³ se requiere de una programación más avanzada y con sistemas de control de alta velocidad de procesamiento de datos.

²² Rafael Ferré Masip (1988), Fabricación asistida por computador-CAM, Marcombo, p223

²³ Rafael Ferré Masip, op. cit., p219

Debido principalmente a que el software Artcam entrega el código tipo paraxial y entonces este es la forma de código que se trabajo.

A continuación se verán algunas líneas de código real generado por ARTCAM.

Esta es la línea de comandos que recibiría al programa realizado en visual Basic (HMI).

(Ball Nose 3 mm)	LÍNEA 1
G90G80G49G21	LÍNEA 2
G00 X 0.000 Y 0.000	LÍNEA 3
M03 S19700	LÍNEA 4
G00 Z 14.131	LÍNEA 5
G41D6	LÍNEA 6
G00 X 0.001 Y 0.001 Z 14.131	LÍNEA 7
G01 Z 2.000 F3000.0	LÍNEA 8
G01 X 0.066 F4560.0	LÍNEA 9
G01 X 54.999	LÍNEA 10
G01 Y 0.061	LÍNEA 11
G01 Y 0.300	LÍNEA 12
G01 X 0.001	LÍNEA 5540
G00 Z 14.131	LÍNEA 5541
G00 X 0.000 Y 0.000	LÍNEA 5542
M30	LÍNEA 5543

Líneas 1 y 2 no son tomadas por la interfaz realizada en Visual Basic.

Línea 3 G00 trabaja Interpolación Lineal Rápida, y a ceros de máquina.

Línea 4 M03 Inicio de la rotación del mandril en la dirección de las agujas del reloj, S19700 es la velocidad del del husillo

Línea 5 Z 14.131 es lo que el mandril debe bajar para realizar la operación deseada.

Línea 6 G41 Compensación a la Izquierda de la línea de desplazamiento, el comando D6 es Profundidad mínima de fresado.

Línea 7 empieza el movimiento en el eje Y con Y001 el resto de ejes y la velocidad permanece constante.

Línea 8 G01 Interpolación lineal de trabajo, F indica el avance.

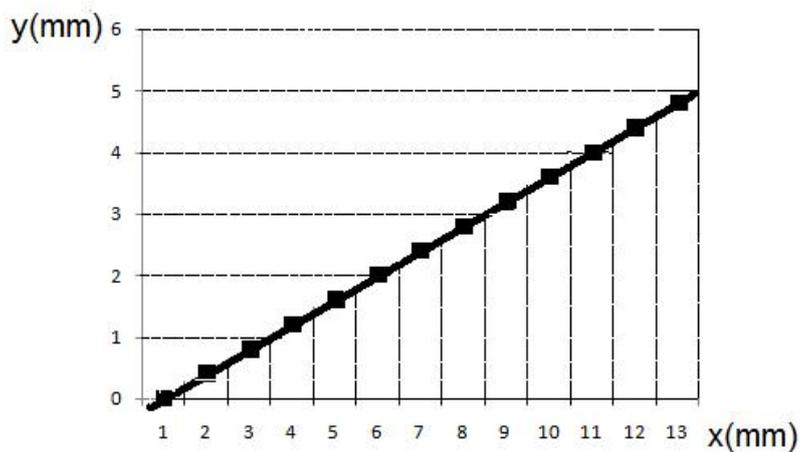
Línea 9 a 5541 movimiento en los ejes sin modificación de velocidad de husillo y/o avance.

Línea 5542 termina el proceso y el husillo vuelve a los ceros de máquina

Línea 5543 M30 termina el programa

Análisis De Trayectorias. La siguiente grafica es un ejemplo de la mecanización de un alineo recta (ver figura 26).

Figura 26 Trayectoria de Línea Recta



La siguiente es la tabla que se obtiene de la siguiente grafica

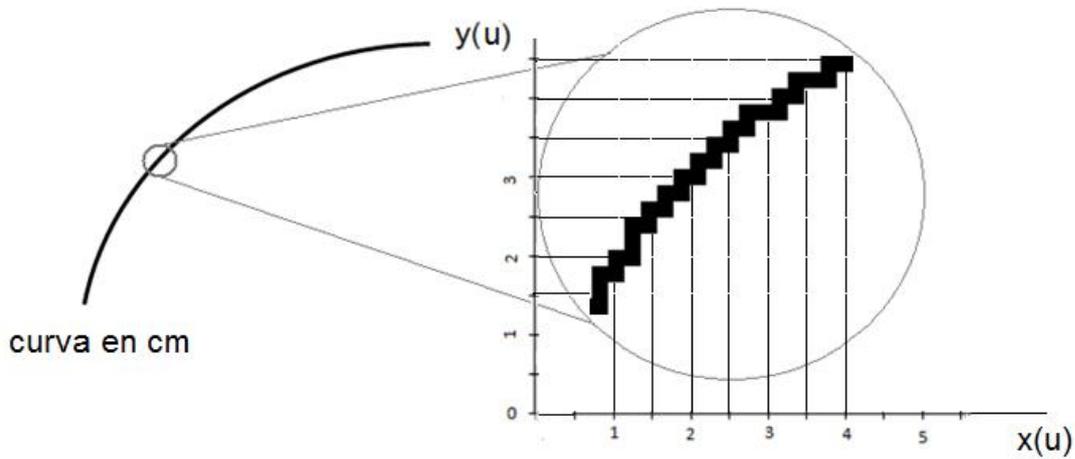
x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
y	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.6	4	4.4	4.8

Esta es la línea de comandos que recibiría al programa realizado en visual basic (HMI).

X 0.0, Y0.0, Z0.0, F50	LÍNEA 1
X 1.0, Y0.4, Z0.0, F50	LÍNEA 2
X 2.0, Y0.8, Z0.0, F50	LÍNEA 3
X 3.0, Y1.2, Z0.0, F50	LÍNEA 4
X 4.0, Y1.6, Z0.0, F50	LÍNEA 5
X 5.0, Y2.0, Z0.0, F50	LÍNEA 6
X 6.0, Y2.4, Z0.0, F50	LÍNEA 7
X 7.0, Y2.8, Z0.0, F50	LÍNEA 8
X 8.0, Y3.2, Z0.0, F50	LÍNEA 9
X 9.0, Y3.6, Z0.0, F50	LÍNEA 10
X 10, Y4.0, Z0.0, F50	LÍNEA 11
X 11, Y4.4, Z0.0, F50	LÍNEA 12
X 11, Y4.8, Z0.0, F50	LÍNEA 13

Como se puede ver el lenguaje está compuesto solo de rectas pero hay rectas que van en dirección diferente al X,Y,Z de esta manera se pueden analizar estas rectas como una especie de interpolación lineal descrita en los libros de CNC, teoría aplicada en el programa de los microcontroladores para realizar las trayectorias posteriormente descritas.

FIGURA 27. Curva a mecanizar



Por ejemplo para la mecanización de la siguiente curva:

x	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	8
y	0.5	1	1	2	2	2.5	2.5	3	3	3.5	3.8	4	4	4.2	4.4	4.4	4.5	4.7

El programa de Artcam generará el siguiente código:

X 1.0, Y0.5, Z0.0, F50	LÍNEA 1
X 1.0, Y1.0, Z0.0, F50	LÍNEA 2
X 2.0, Y1.0, Z0.0, F50	LÍNEA 3
X 2.0, Y2.0, Z0.0, F50	LÍNEA 4
X 3.0, Y2.0, Z0.0, F50	LÍNEA 5
X 3.0, Y2.5, Z0.0, F50	LÍNEA 6
X 4.0, Y2.5, Z0.0, F50	LÍNEA 7
X 4.0, Y3.0, Z0.0, F50	LÍNEA 8
X 5.0, Y3.0, Z0.0, F50	LÍNEA 9
X 5.0, Y3.5, Z0.0, F50	LÍNEA 17
X 6.0, Y3.8, Z0.0, F50	LÍNEA 10
X 6.0, Y4.0, Z0.0, F50	LÍNEA 11

X 7.0, Y4.0, Z0.0, F50	LÍNEA 12
X 7.0, Y4.2, Z0.0, F50	LÍNEA 13
X 7.0, Y4.4, Z0.0, F50	LÍNEA 14
X 8.0, Y4.4, Z0.0, F50	LÍNEA 15
X 8.0, Y4.5, Z0.0, F50	LÍNEA 16
X 8.0, Y4.7, Z0.0, F50	LÍNEA 17

El *CN contorno* requiere que sea entregada la velocidad para cada eje en el lenguaje que se entrega pero el lenguaje que se maneja entrega la velocidad de toda la coordenada en general.

Por todas estas razones y por practicidad de programación se opto por realizar un control tipo *CN praxial*.

4.7 IMPLEMENTACION DE LA COMUNICACIÓN RS232.

Comunicación RS232

La comunicación por el puerto RS232 se encarga de transferir la cadena de datos proveniente del software de control al sistema electrónico.

Los parámetros para la comunicación serial fueron:

Bits por segundo: 19200

Bits de datos: 8

Paridad: Ninguno

Sin Bit de parada.

La velocidad de bits por minuto más utilizada es de 9600 pero debido a que se requiere de una respuesta lo más rápida posible se hicieron pruebas y debido a los cálculos que hace el microcontrolador y el software de control la máxima velocidad que permite realizar bien el proceso fue de 19200 baudios.

Debido a que se necesita enviar la mayor cantidad de bits de datos entonces se seleccionó de 8 bits.

Teniendo en cuenta el siguiente formato:



Donde:

A = letra que identifica la entrada de la cadena (I)

B = número de pasos en X con datos de (0 - 65535)

C = número de pasos en Y con datos de (0 - 65535)

D = número de pasos en Z con datos de (0 - 65535)

E = velocidad de los motores en valores de (0 para velocidad min y 100 para velocidad max)

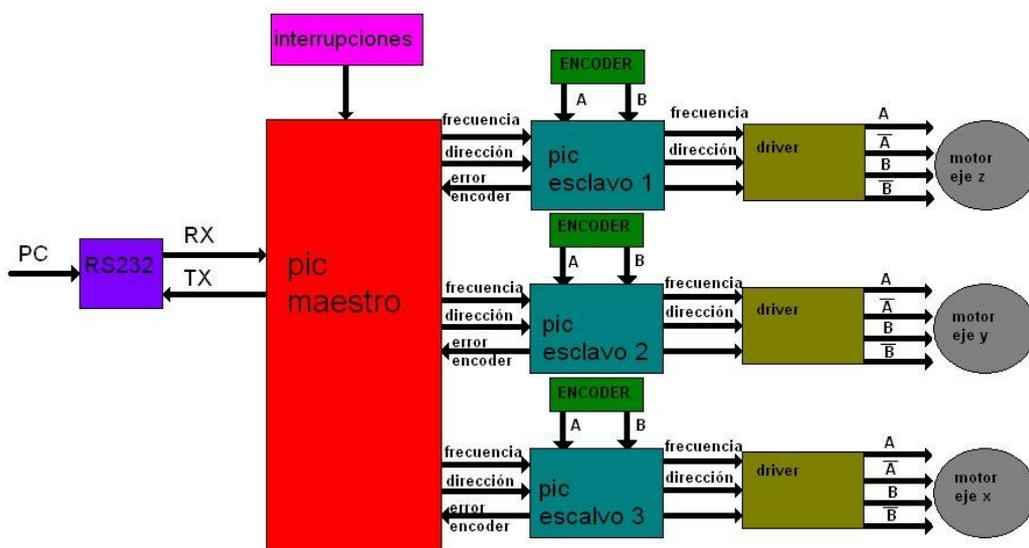
M = velocidad del husillo

F = letra que identifica la terminación de la cadena (F)

4.8 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

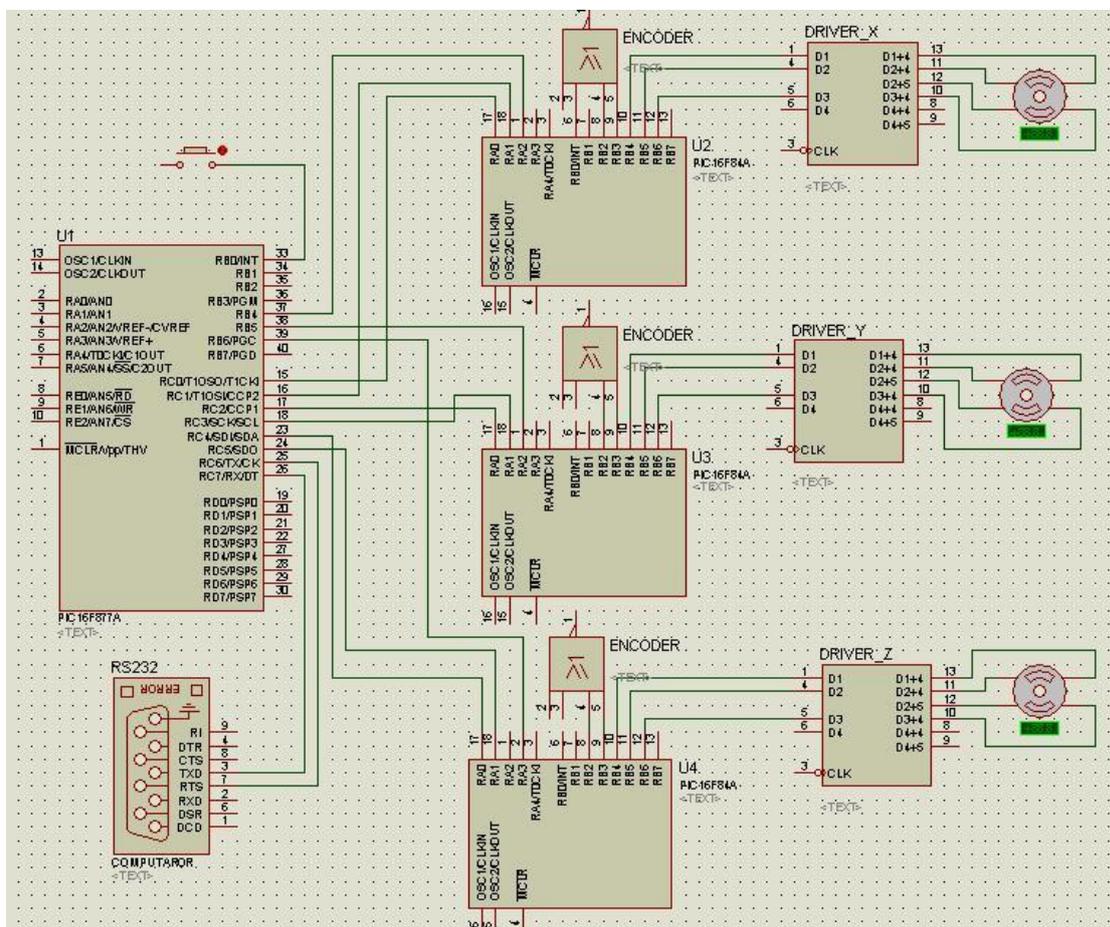
Como ya se explicó en la selección del dispositivo de control el microcontrolador 16F877A tiene la cantidad de entradas y salidas suficientes para realizar el control, se desarrolla un software en PIC C que realizaba la tarea específica con buenos resultados pero con un posible problema: si por algún motivo la herramienta se trababa contra el material y no realizaba un pequeño movimiento se veía afectado en la calidad de la pieza final por lo que se comenzó a ver la posibilidad de implementar un encoder en cada motor de posicionamiento X,Y y Z con el propósito de verificar que el movimiento requerido realmente se cumplió. Como uno de los propósitos era el de utilizar la mínima cantidad de dispositivos para el circuito de control pero la posibilidad de implementar tres microcontrolador PIC16F84A para cada eje los cuales trabajarían como esclavos del PIC16F877A (ver figura 28).

Esquema 5: configuración del sistema electrónico



En la figura anterior se muestra como se trabajo finalmente el esquema electrónico, el microcontrolador maestro PIC16F877A envía oportunamente la señal a cada micro 16F84 y también se ve influenciado por unas interrupciones que se derivan de los finales de carrera de cada eje para que el mecanismo de la mesa no sobrepase el limite, además los micros esclavos son los que detectan la señal de los encoder para verificar si se realizó efectivamente cada movimiento. (Ver figura 28)

FIGURA 28. Plano electrónico del hardware de control



El sistema electrónico está compuesto por:

- Puerto serial RS 232.
- Un Microcontrolador maestro (Pic 16F877A).
- Tres Microcontroladores esclavos (Pic 16F84A).
- Tres Encoder incrementales US digital
- Tres driver MD2S-P

4.8 CONTROL DE POSICIÓN

El puerto RS232 envía los datos necesarios desde el computador para que se realice el movimiento con los pasos de cada eje X, Y y Z y la velocidad necesaria para cada motor paso a paso. Como se explica anteriormente estos datos entran al microcontrolador para que esté basado en un software interno distribuya los correspondientes pasos y la frecuencia específica al driver de los motores.

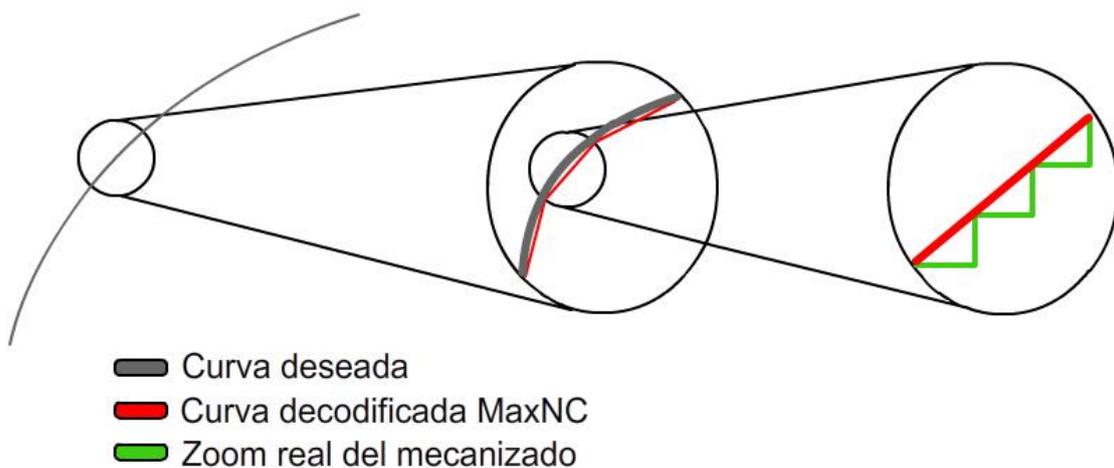
La función del microcontrolador es la de utilizar la cantidad de pasos que designa el software de control y este a su vez provee a los motores la frecuencia correspondiente a la velocidad requerida.

Como primera medida para la sincronización de los pasos el microcontrolador toma los signos de dirección de cada eje (positivos y negativos) que vienen en la cadena de datos entregada por el PC, para que el microcontrolador reconozca la dirección en la que se van a hacer los movimientos. Estos signos son traducidos a un bit (0 y 1) para que el driver reconozca en qué dirección debe mover el motor.

Una vez conocida la dirección que el motor debe seguir para el paso correspondiente teniendo en cuenta que la máquina debe realizar movimientos

curvos, se tuvo presente las ventajas de los pequeños pasos del motor y las características del tornillo para obtener los siguientes resultados (ver figura 29).

Figura 29. Vista ampliada de mecanizado



Como se puede ver en la figura 29, la curva (izquierda) en tamaño real esta compuesta de pequeñas rectas diminutas distribuidas (zoom a la derecha) de tal manera que generan la curva con la ventaja de que no es notable los escalones por tener un avance pequeño por vuelta ya que el motor gira mínimo a 0.9° y el tornillo es de 5mm por revolución generando una resolución de avance por paso del motor de 0.0125mm.

Asi como se aplica para hacer una curva sucede para una recta o una linea curva en 3D. Como la cadena de los datos que llega al microcontrolador es de la siguiente forma:

X (número de pasos) Y (número de pasos) Z (número de pasos)

Para lograr estos movimientos de escalones miniatura, sincronizados de la mesa, se tuvo que implementar un sistema de división entre los pasos de cada eje teniendo como referencia los siguientes factores:

- Siempre se tiene en cuenta el mayor valor del número de pasos entre los tres ejes.
- Se divide el mayor entre los dos menores para determinar cada cuanto se ejecutan los menores luego del mayor.
- Si hay igual número de pasos entre los ejes estos se dividen entre sí, esto quiere decir que se ejecutan uno a uno.
- Comienza a ejecutar por el eje que tiene el mayor número de pasos.
- La operación solamente toma los valores enteros y los fraccionarios los descarta porque el microcontrolador no se programó tipo float (con punto flotante).

Para un valor en pasos igual a X 1000 Y 200 Z 500

1) Como el mayor número de pasos es el de X este valor se divide entre el de Y y el de Z.

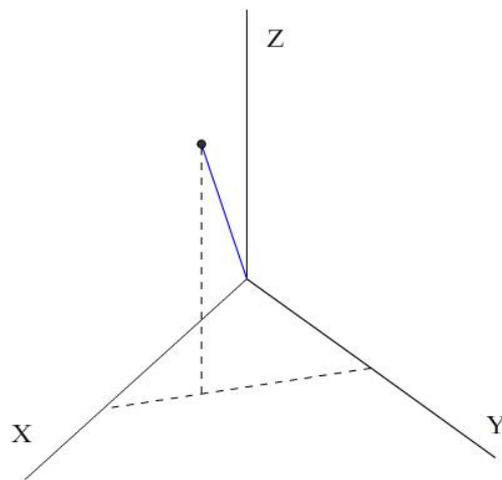
Para Y: $1000/200 = 5$

Para Z: $1000/500 = 2$

Esto significa que por cada 5 pasos del eje X se realiza un paso del eje Y y por cada 2 pasos del eje X se realiza un paso del eje Z.

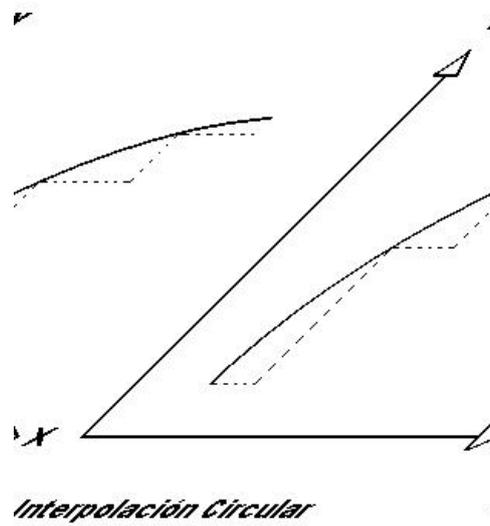
Esto daría aproximadamente una recta en 3 dimensiones así (curva de color rojo) (ver figura 30).

Figura 30. Vista de curva



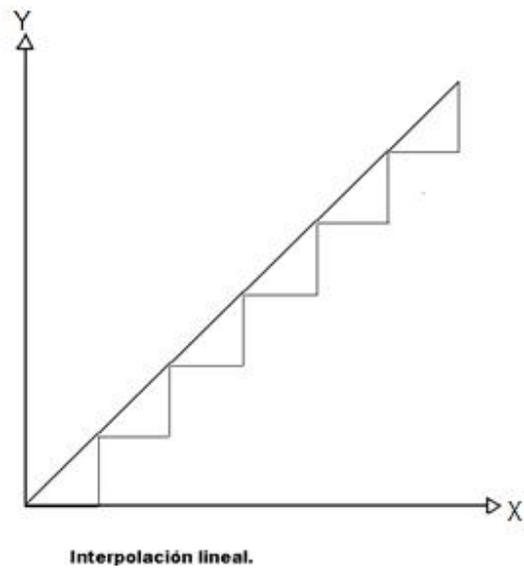
Se aplica esta teoría para todo tipo de trayectorias entonces para una curva en dos dimensiones se obtiene el siguiente resultado (ver figura 31).

Figura 31. Zoom para mecanizar una curva



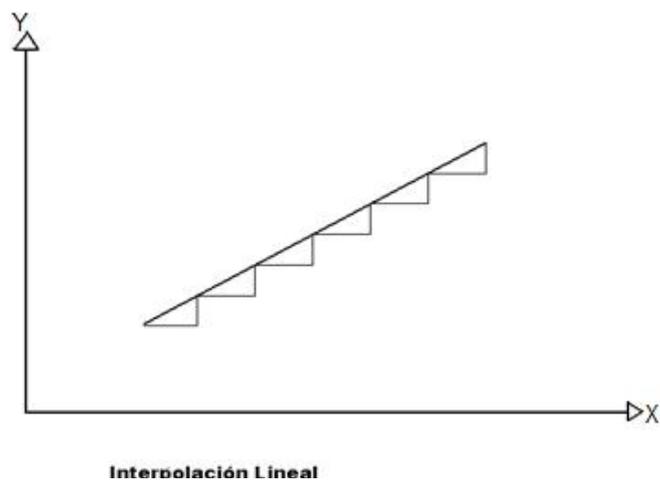
Para la mecanización de una recta que este en dirección de algún eje únicamente trabaja con el eje correspondiente pero si la recta esta en direcciones diferentes a la de los ejes entonces realiza el mismo calculo y se obtiene la siguiente grafica (ver figura 32 y figura 33).

Figura 32. Zoom para mecanizar una recta 45°



Como se observa en una recta de 45 grados se ejecuta primero un movimiento de un eje por uno del otro eje correspondientemente.

Figura 33. Zoom de mecanizado ejemplo para una recta Inclinada



Como se ve para la mecanización de esta recta que tiene menos ángulo se requiere de dos pasos de el eje X por uno del eje Y.

De esta manera la máquina puede mecanizar cualquier trayectoria que se le presente.

Para la relación general de pasos x-y en función del ángulo se utiliza la siguiente propiedad trigonométrica para triángulos rectángulos.

$$= -$$

Tomando la distancia en "X" como el mínimo avance que puede dar la máquina que se toma igual "1"

Despejando "X" de la función se tiene.

$$=$$

Pero como el valor de X=1 queda todo en función del ángulo, para un ejemplo de un ángulo de 63.5° se tiene

$$63.5 = 2.005$$

La relación de pasos para un ángulo de 63.5 es de 1 paso en X y 2 pasos en Y.

Para la posición, el software CAD/ CAM (ArtCAM) entrega al microcontrolador una distancia en milímetros, teniendo que convertirla en un número de pulsos digitales.

$$= \frac{400}{0.5}$$

Donde 400 es el número de pasos para una revolución y 0.5 es el paso del tornillo.

Para una distancia de 10mm se tiene que:

$$= \frac{10 \cdot 400}{0.5} = 8000$$

El driver convierte dichos pulsos direccionando a cada devanado del motor el envío correspondiente de pulsos.

Posteriormente se analiza cuantos grados se mueve el rotor del motor con determinado número de pulsos entregados por el microcontrolador y se tiene:

$$= \frac{360}{400}$$

$$= \frac{360 \cdot 8000}{400} = 7200^\circ$$

$$\text{Posición} = \frac{0.5}{360^\circ}$$

$$\text{Posición} = \frac{0.5 \times 7200^\circ}{360^\circ} = 10\text{mm}$$

4.10 CONTROL DE VELOCIDAD

Como la velocidad máxima del motor es 1500 RPM, se dividió entre 150 datos para lograr un aumento cada 10RPM lo que corresponde a un aumento en la velocidad lineal de 0.2mm por segundo, lo suficientemente para que no haga saltos de velocidad muy bruscos.

Entonces:

Velocidad del motor: 1500RPM

Cantidad de datos: 150 datos

Avance del tornillo: 1.25 mm/revolución

Velocidad mínima del motor = 1500 RPM /150 datos = 10 RPM = incremento mínimo posible.

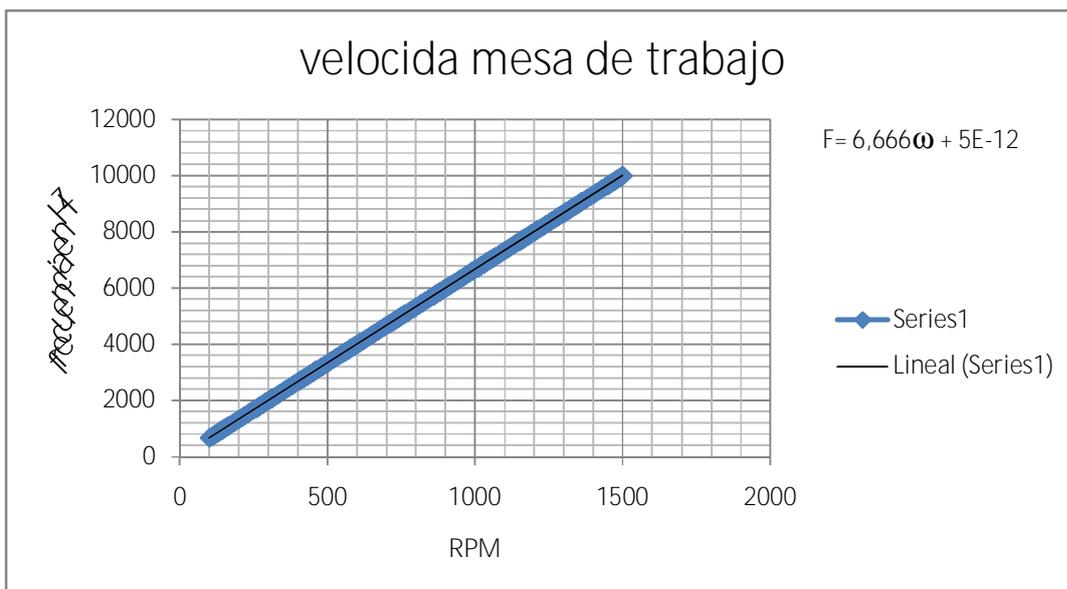
Velocidad lineal máxima = 1500RPM * 1.25mm/rev = 1875mm/min = 31.25mm/seg

Velocidad lineal mínima = 10RPM * 1.25mm/rev = 12.5mm/min = 0.208mm/seg.

Se hizo una tabla con la gama de las velocidades de cero a 1500 con sus respectivas frecuencias, periodos y la diferencia entre un periodo y otro. (Ver anexo VI)

Se realizó una grafica correspondiente a las frecuencias requeridas para dicha velocidad (ver figura 34).

FIGURA 34 Respuesta de Velocidad vs la Frecuencia



Como el rango para las velocidades que proporciona el software de control es de 0 como mínimo a 100 como máximo, se realizó una relación en porcentaje, tomando el valor máximo como el 100%, igual a 1500RPM de tal manera que para encontrar el valor correspondiente dentro de los 150 datos se calcula con el mismo porcentaje para obtener su correspondiente valor.

Para un valor de la velocidad entregada por el software de control en el PC es de $F = 30$ lo cual significa que el microcontrolador la tiene que calcular a partir de una ecuación lineal que empieza en cero y se va incrementando de 10 en 10 hasta 1500 entonces se calcula el 30% de 1500.

$$= \frac{30}{100} \times 1500 = 450$$

Hay que tener en cuenta que para el control de estos motores es necesario variar la frecuencia mas no únicamente el ancho de pulso, como lo hace el PWM (modulación por ancho de pulsos) debido a que como su nombre lo indica en el PWM se trabaja a una misma frecuencia entonces únicamente hay un pulso por cada Hz que esta modulado y lo que se requiere es reducir o aumentar el periodo con el tiempo en el que llega al siguiente pulso o variación en la frecuencia.

Teniendo en cuenta que las revoluciones por minuto del motor van de 0 a 1500 se implementaron las ecuaciones correspondientes para el cálculo de la frecuencia correspondiente a una velocidad determinada.

$$= 6.666Z + 5 \quad 10$$

Por ejemplo para una velocidad requerida de 800RPM

$$= 6.666 \times 800 + 5 \quad 10 = 5333$$

Esta es la frecuencia en la señal que el microcontrolador tiene que enviar al driver para generar una velocidad de 800RPM en el motor.

Internamente el microcontrolador tiene que calcular el valor del periodo de la frecuencia para luego calcular el tiempo de la interrupción que en este caso es el de el set timer 1 el cual es el encargado de enviar la gama de frecuencias para la correspondiente velocidad.

Para ello el periodo es:

$$= \frac{1}{f}$$

Para calcular el valor del set timer 1 se tiene en cuenta la ecuación interna del microcontrolador. Por ejemplo para una velocidad de 630RPM, la frecuencia es igual a 4200Hz que equivale a un periodo de 238.09 μ s la cual hay que tener en cuenta para la ecuación del set timer 1 como se ve a continuación.

$$\text{Valor del set timer 1} = 65535 - \frac{\text{tiempo} \cdot f_{osc}}{4 \cdot \text{preescalado}}$$

$$\text{Valor del set timer 1} = 65535 - \frac{0.000238\text{seg} \cdot 4\text{MHz}}{32} = 29.75$$

De esta manera la interrupción trabaja para generar el periodo necesario para generar la frecuencia requerida para dicha velocidad.

4.11 CONTROL DE LA ACELERACIÓN

Para todos los valores constantes del torque, $\hat{\omega}$ de un cuerpo, la aceleración angular será también constante. Para este caso especial de aceleración máxima está dada por:

$$\alpha = \frac{\tau}{I}$$

Donde:

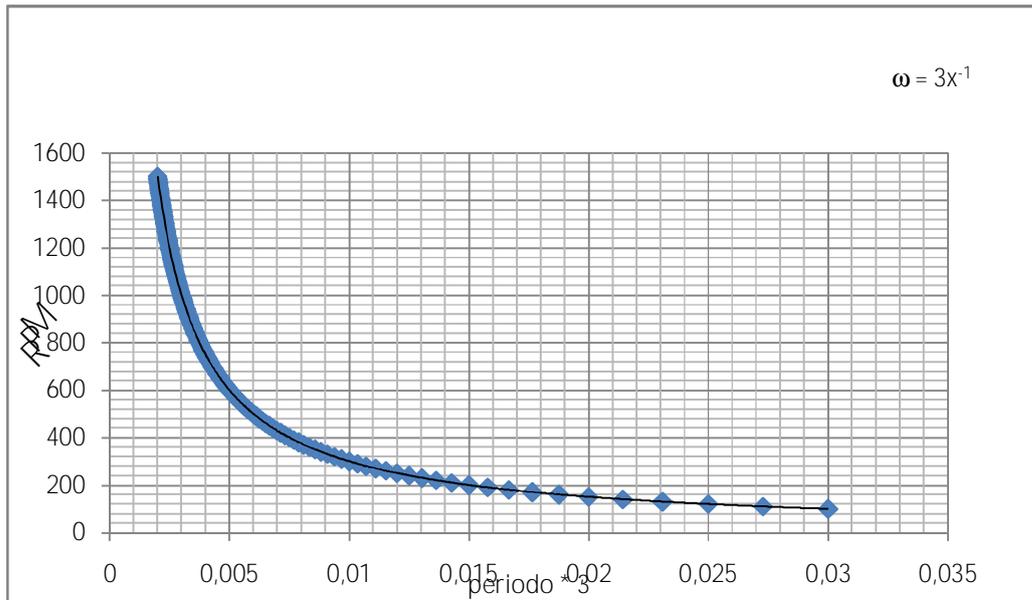
= . Ver anexo (XXVI)

= .Ver anexo(XXVI)

$$= \frac{1.51 \quad \hat{\omega}}{0.00025} = 60400 \text{---} = 60.4 \text{---}$$

Para obtener la aceleración máxima posible implica que se incremente la velocidad luego de un paso, pero por motivos de inercia y respuesta del motor éste solo acepto máximo, una aceleración cada 3 pasos. Ver (figura 35).

FIGURA 35 Curva del Periodo vs Velocidad del motor



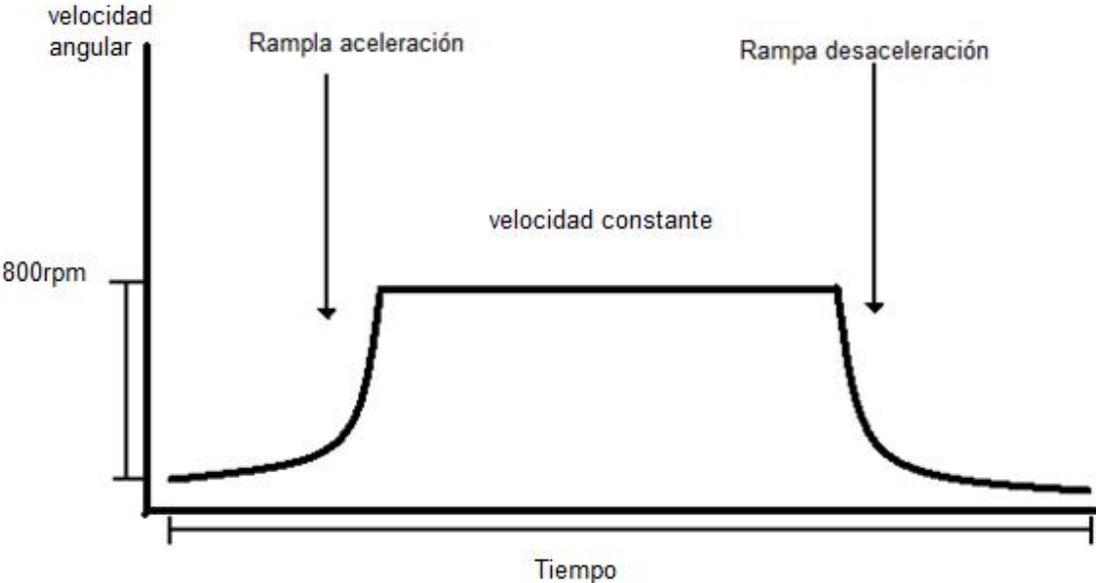
Esta curva aplica tanto para la aceleración como desaceleración y hay que tener en cuenta que cuando llega a la velocidad máxima permitida por el motor igual a 1500 RPM, el motor tiene velocidad constante lo que significa que la aceleración es igual a cero.

La curva está dada por medio de la siguiente ecuación

$$Z = 3$$

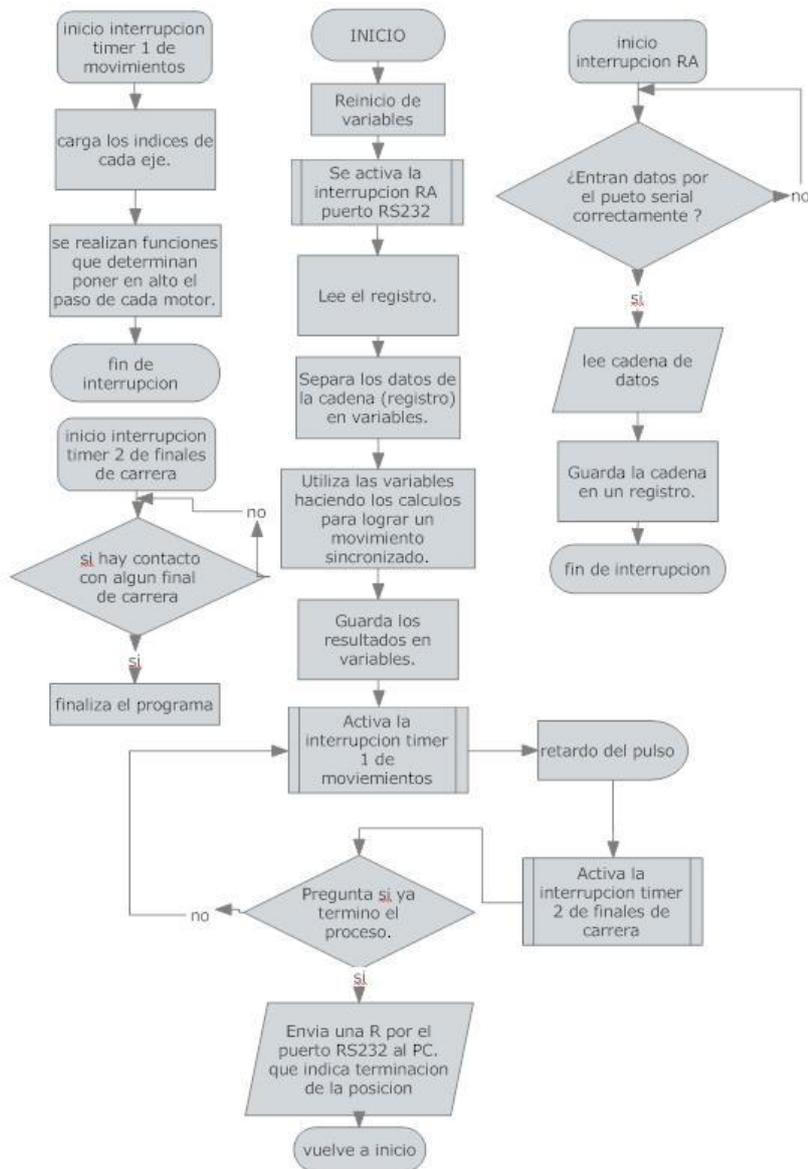
Cada 3 pulsos el motor incrementa 10 RPM ver anexo (VI). Para un ejemplo de una velocidad de trabajo 800 RPM y una distancia de 20 cm se tiene

FIGURA 36. Curva de la rampa de aceleración de la mesa



A continuación se puede ver el diagrama de flujo del programa para el microcontrolador (ver esquema 7).

Esquema 7: Diagrama de flujo del microcontrolador



Una vez el microcontrolador maestro termina sus cálculos de distribución de pasos, rampa de aceleración, frecuencia de pulsos para la velocidad de los motores y el bit de dirección, estos son enviados a los microcontroladores esclavos los cuales retransmiten la señal directamente a los driver.

Estos microcontroladores esclavos tienen la posibilidad de implementar el reconocimiento de los encoder para verificar que el movimiento efectivamente se esté realizando de tal manera que si no se verifica un movimiento envía una señal de error al microcontrolador para que detenga el siguiente paso hasta que no haya sido corregido.

Los microcontroladores esclavos envían la señal de los pulsos y el bit de la dirección a los driver.

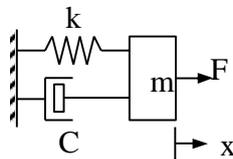
El driver está configurado a medio paso por ser de 200 pasos de tal manera que reconoce los 400 pasos del motor, se activo un pin automático de inhibición de corriente, que hace que cuando el motor está en reposo, se disminuya la corriente en los devanados del motor en un 75% para alargar su vida.

El voltaje necesario para el sistema de control es entregado por un transformador AC-DC que convierte 120 V AC a 48 V DC (voltaje requerido por el motor). El driver tiene la capacidad de entregar un voltaje regulado adicional de 5V DC que suministra la alimentación de toda la tarjeta de control (microcontroladores).

4.12 MODELAMIENTO DINÁMICO DE LOS TORNILLOS²⁴

Una estructura simple con un solo grado de libertad se puede modelar mediante un sistema masa-resorte-amortiguador, ver Figura 37 La ecuación diferencial para dicho sistema está dada por:

Figura 37 sistema masa resorte amortiguador



$$m \ddot{X} + c \dot{X} + k = F(t)$$

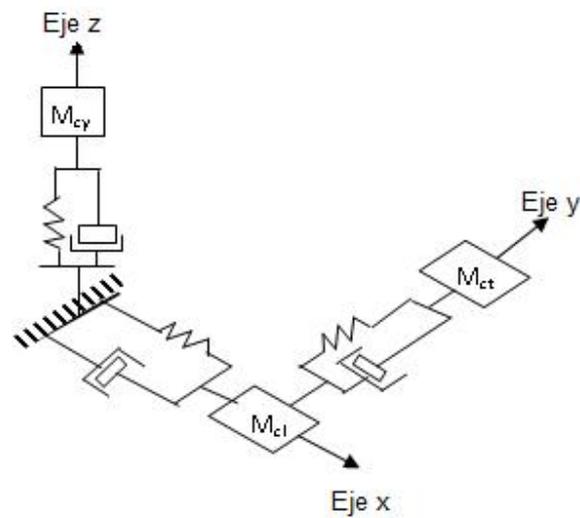
$$\ddot{X} + 2 * \zeta * \sqrt{\frac{k}{m}} \dot{X} + \frac{k}{m} = F(t)$$

$\zeta \leq 0.05$ Para estructuras mecánicas

Para la configuración actual de la máquina cada carro se puede simular como un sistema de segundo orden que se encuentran conectados como se muestra en la figura 38

²⁴ Altintas (2000), Manufacturing automation metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC Desing, Cambridge University press, cap. 3

Figura 38 Sistema masa oscilador



Para la configuración del tornillo de potencia para el carro longitudinal ver (Figura 39), se puede representar el sistema carro longitudinal, para hallar la rigidez total, como un sistema mecánico (masa-resorte), conformado de osciladores en serie y paralelo como aparece en la Figura 40.

Figura 39. Configuración carro longitudinal. a) vista frontal, b) vista lateral

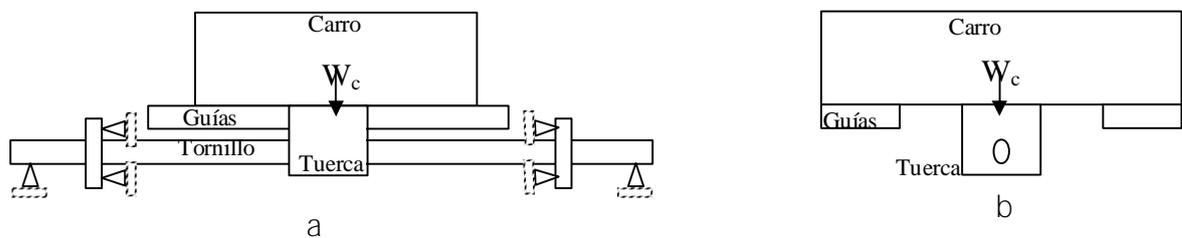


Figura 40. Representación carro longitudinal, como un sistema masa-resorte.

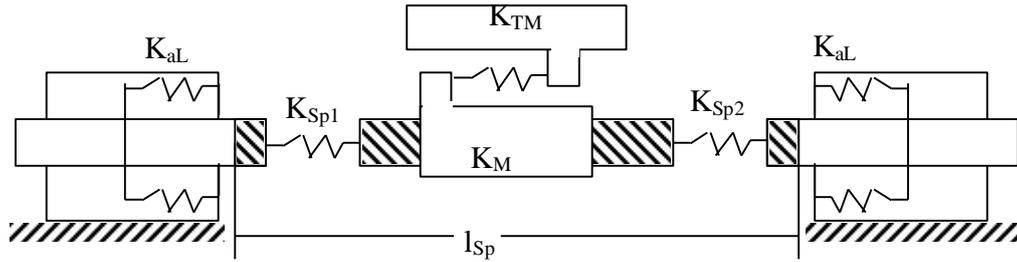
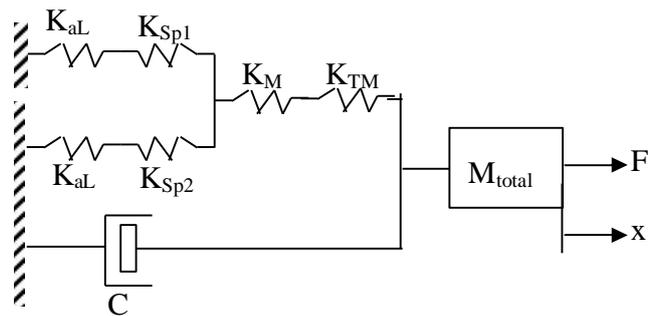


Figura 41. Representación final, como un oscilador simple



La rigidez total del sistema está dada por

$$\frac{1}{K_{Ges}} = \frac{1}{2K_{aL}} + \frac{1}{4K_{Sp}} + \frac{1}{K_M} + \frac{1}{K_{TM}}$$

$$\frac{1}{K_{Sp}} = \frac{1}{K_{Sp1}} + \frac{1}{K_{Sp2}}$$

$$K_{Sp} = \frac{\pi}{4} * \frac{E * d^2}{l_{Sp}} = 1,65 * 10^{-1} \frac{d^2}{l_{Sp}}$$

El sistema de la Figura 41, tiene como ecuación diferencial:

$$M_{Total} \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + K_{Ges} x = F$$

Resolviendo por transformada de Laplace, con un factor de amortiguamiento relativo de 0.05 se tiene la función de transferencia:

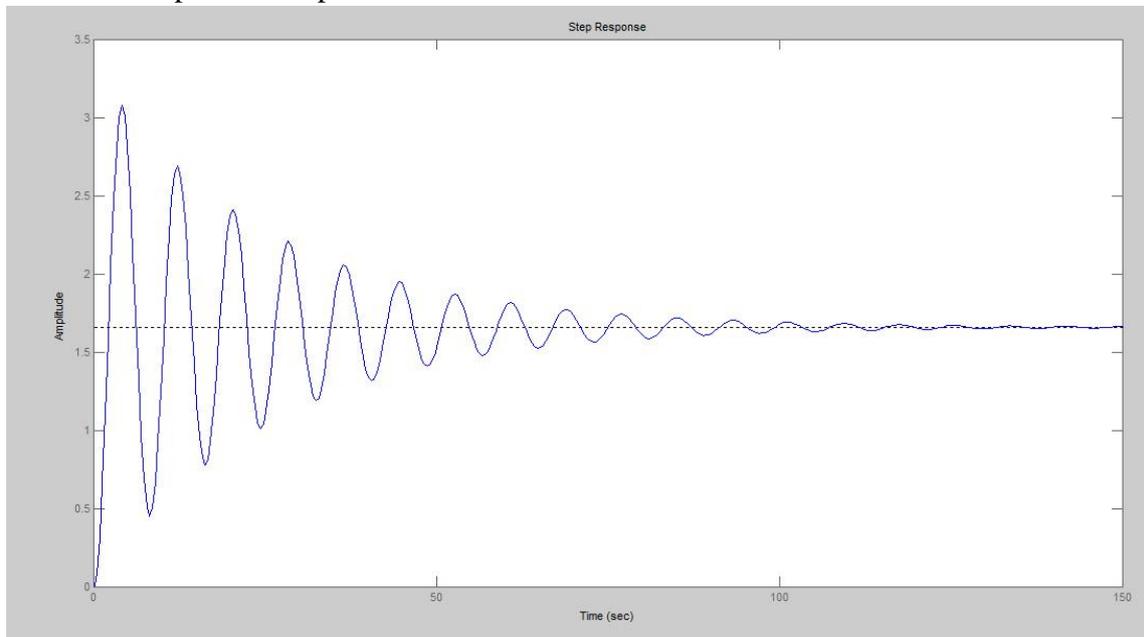
- K_{aL} Constante de resorte axial, de rodamientos axiales
- K_{Sp} Constante total del tornillo de avance
- K_M Constante de la parte de tuerca montada sobre tornillo
- K_{TM} Constante de la parte de tuerca montada sobre el carro
- M_{Total} Masa total (0.504 Kg)
- K_{Ges} Resultante total de rigidez (0.304 Nm)
- l_{Sp} Longitud del tornillo de avance
- E Modulo de elasticidad (para acero $2.1 * 10^6 \text{N/m}^2$)
- d Diámetro medio del tornillo

$$G(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{M_{Total} s^2 + c s + K_{Ges}} = \frac{1}{s^2 + 2 * \zeta * \sqrt{\frac{K_{Ges}}{M_{Total}}} s + \frac{K_{Ges}}{M_{Total}}}$$

La siguiente es la funcion de tranferencia de la máquina:

$$H(s) = \frac{1}{s^2 + 0.007767 s + 0.6033}$$

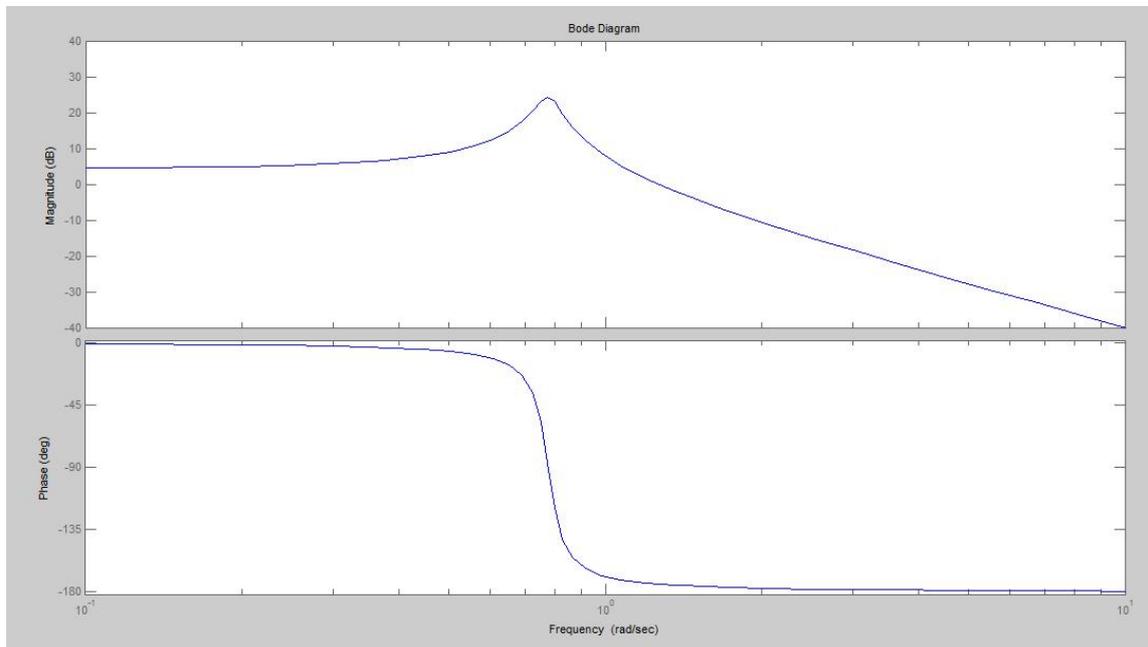
Ahora se va a realizar el analisis de estabilidad en MatLab
Primero la respuesta a impulso:



Esta se obtuvo con las siguientes líneas de código:

```
clc  
close all  
n=[1];  
d=[1 0.07767 0.6033];  
printsys(n,d)  
step(n,d)
```

Diagrama de bode



Esta se obtuvo con las siguientes líneas de código:

```
clc
close all
n=[1];
d=[1 0.07767 0.6033];
printsys(n,d)
bode(n,d)
```

4.13 ANÁLISIS DE COSTOS Y BENEFICIOS

Para poder determinar la viabilidad financiera del proyecto de inversión al que se estaría sometiendo esta empresa, primero hay que tener en cuenta los costos de la sub contratación actual expresados en la Tabla *Costos de Sub-Contratación*. (ver anexo 3 cuadros)

Como se ve en este resumen de la situación de los costos actuales de la empresa que resulta de la suma de las etapas 1 y 2, se ve como el coste del molde por unidad está entre \$680.000 y \$1.320.000 dependiendo de las especificaciones del molde.

Pero un análisis de la situación actual de los costos de la empresa no es suficiente dado que hay que compararle en términos cuantitativos con los costos asociados a la automatización de la máquina lo cual es el fin del proyecto, este análisis está en la Tabla *Costos de Automatización*. (Ver anexo 3 Cuadros)

Como se ve en esta tabla los costos de fabricación de las piezas se reducen significativamente pero adicionalmente hay que realizar una inversión que asciende a los \$19.000.000. Los Costos ingenieriles están especificados en la Tabla *Costo Ingenieril* (Ver anexo 3 Cuadros), pero también se quiso adicionar un análisis de costos de fabricación interno el cual se encuentra relacionado en la Tabla *Costos de Fabricación*. (Ver anexo 3 Cuadros)

Esto con el fin de especificar en términos cuantitativos las diferencias en los beneficios asociados a la inversión, es por esto que dada la inversión necesaria se pretendió especificar por medio de un flujo de caja, como será la forma correcta de dado el caso, pagar un préstamo para realizar las inversiones necesarias. El préstamo que asciende a \$19.000.000, se pagaría de acuerdo a la Tabla *Plan Amortización Inversión*. (Ver anexo 3 Cuadros)

Una vez hecho este análisis del flujo de caja de la empresa en el pago del préstamo, se procede a realizar una proyección del volumen de ventas basado en el estudio de mercados que esta especificado en el trabajo, y se modelaron tres escenarios posibles de proyección en ventas definidos como: Pesimista,

Intermedio y Optimista. La relación se encuentra en la Tabla *Escenarios*. (Ver anexo 3 Cuadros)

Como se ve en esta tabla de las proyecciones de los escenarios se hace sobre la base de 200, 1.000 y 5.000 piezas, de las cuales los costos varían dinámicamente si se trabaja bajo la modalidad de subcontratación o si se trabaja bajo la modalidad de automatización.

De los aspectos más importantes para resaltar en esta tabla y es que finalmente cuando el volumen de ventas real de la empresa (200 piezas mensuales) estaría definido como escenario pesimista; la automatización dado los niveles de inversión dan pérdidas para las piezas de tamaño mas grande tales como las X3, pero en menor proporción que bajo la modalidad de subcontratación.

Pero cuando las ventas van incrementando potencialmente, es decir convergiendo alrededor del escenario Intermedio (1.000 piezas Mensuales), las pérdidas bajo la modalidad de automatización desaparecen y empiezan a existir utilidades marginales, mientras que bajo el modelo de subcontratación por el contrario, las pérdidas se vuelven cada vez más fuertes.

Si se siguen incrementando las ventas hacia un escenario optimista (5.000 piezas Mensuales), se ve como realmente la inversión en la automatización genera utilidades por pieza muy buenas en comparación con las piezas que se fabrican bajo la modalidad de subcontratación.

En conclusión se puede afirmar sin lugar a dudas que el proceso de automatización de la máquina si le genera beneficios esperados a futuro a la empresa realmente buenos pero únicamente si los volúmenes de ventas incrementan por encima de 1000 piezas mensuales.

Esto se debe a que si al empresa está pensando en realizar una inversión en los activos no corrientes de la empresa es decir en la propiedad la planta y el equipo es porque las proyecciones de ventas del estudio de mercados afirma que el

volumen de ventas se va a incrementar dado un incremento en los clientes potenciales.

La rentabilidad financiera del proyecto se da en el momento en el que la inversión en plataformas y desarrollo tecnológicos está fundamentado en un incremento en la capacidad productiva de la empresa dadas unas necesidades en el mercado de incrementos de la demanda de el producto ofrecido.

Es decir en otras palabras, que cuando existe una demanda del producto creciente, claramente la empresa tendrá que incrementar su oferta a través de competitividad en la producción estandarizada de sus productos, ratificando la rentabilidad financiera del proyecto y claramente el beneficio económico de la empresa.

Se agrego una llamada Tabla *Análisis de Costos por Unidad* (Ver anexo 3 Cuadros) Para ratificar los beneficios esperados de la empresa dado un escenario Optimista.

4.14 MEJORAS A FUTURO

4.14.1 Tornillo de Bolas Recirculantes: Para mejorar el desempeño de la máquina se pueden utilizar tornillos de bolas recirculantes que por falta de recursos no se pudieron implementar.

Los tornillos de potencia se usan para transmitir movimiento haciéndolo en forma suave y uniforme. Aunque también pueden usarse como actuadores lineales que transforman el movimiento rotatorio en movimiento lineal.

Ventajas:

- Eficiencia alta aproximadamente 90 % o mayor.
- Vida esperada predecible.
- Posicionamiento preciso y permite repetitividad de posición.
- No hay la tendencia de “pegarse -deslizarse” como con los tornillos.
- La expansión térmica debido a la fricción es despreciable.
- Facilidad de precargarse para eliminar huelgo sin aumento apreciable de fricción.
- Se pueden usar motores pequeños por tener bajo par de arranque.
- Movimiento suave y control en todo el recorrido.
- El tamaño de la tuerca de bolas es mucho menor porque las bolas pueden resistir cargar más que los tornillos de rosca.

4.14.2 Comunicación de la máquina. Aunque se trabajó la comunicación USB, no se logró un óptimo desempeño del dispositivo en cuanto a la estabilidad de la transmisión de datos, pero se tiene en cuenta esta investigación para seguir incursionando en este tipo de comunicación moderna o la comunicación vía Ethernet.

De igual forma sería de gran progreso implementar una comunicación inalámbrica de datos del PC a la máquina posiblemente utilizando comunicación Bluetooth.

4.14.3 Cambio de Herramienta. Se puede mejorar la máquina implementando un cambio de herramienta automático ya que los programas CAD/CAM proveen esta

opción a la hora de simular la mecanización y al hacer la conversión al lenguaje NC.

4.14.4 Manejo de lenguaje estándar de alto nivel. Se puede ampliar la capacidad de la máquina para que sea compatible a múltiples lenguajes como el lenguaje para fresadoras FANUC para trabajar aplicaciones más industriales. Para ello habría que investigar entre otras cosas la detección de arcos automáticos y pasar del nivel de control praxial a control continuo.

5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Análisis de resultados del motor

Se hizo un estudio del driver del motor con el cual se empezaron a hacer pruebas y así ver su funcionamiento en cuanto a torque y velocidad, de acuerdo a las variaciones en frecuencias de los pulsos que se enviaban a este para hacer girar el motor.

Debido a que la inercia de los motores no permite llegar a velocidades altas instantáneamente, se requiere hacer una rampa de aceleración para optimizar la velocidad de mecanizado. Paralelamente a esto se desarrollo un programa en PCW para hacer girar el eje del motor, con una rampa de aceleración de 100 RPM a 1300 RPM modificando los retardos de los pulsos con un valor constante, y se encontró que si los pulsos de alimentación no regulaban correctamente la cantidad de energía que se enviaba al motor, esta no era suficiente para hacer

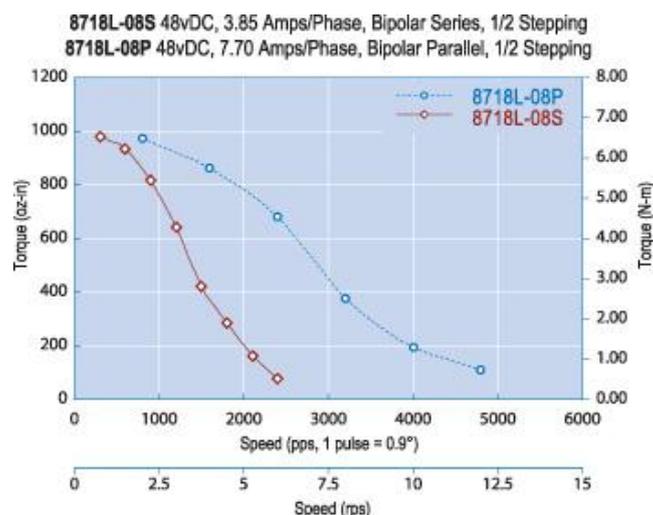
mover y controlar la velocidad del motor, haciendo que el giro del rotor fuera tosco e irregular.

Para mejorar la respuesta de desplazamiento del motor se creó una tabla de relación entre la frecuencia y el periodo (ver anexo tabla 1). Donde se encontró que el cambio de las RPM no es directamente proporcional al periodo.

Con base en los datos obtenidos en los cálculos se decidió probar introduciendo las ecuaciones de frecuencia y periodo en la programación del microcontrolador teniendo como resultado errores en los cálculos de punto flotantes. Como última medida se tabularon todos los valores del periodo en milisegundos obteniendo una mejor respuesta del motor.

A pesar de que el motor posee gran capacidad de torque, la curva de respuesta de revoluciones por minuto versus torque fueron desfavorables, debido que a velocidades altas, disminuía considerablemente el torque. (Ver figura 42).

Figura 42 Torque vs velocidad

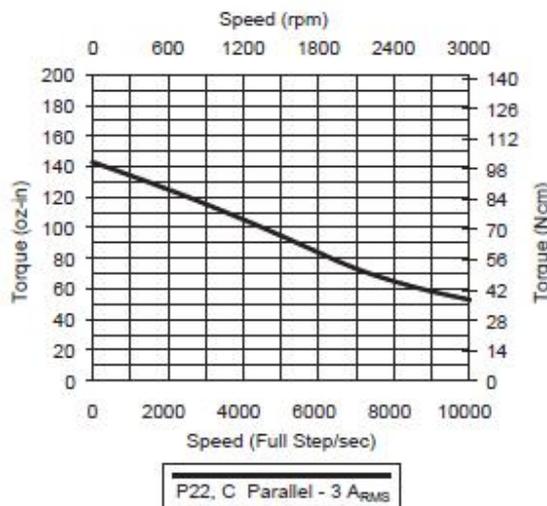


FUENTE: <http://www.linengineering.com/site/products/8718.html>

La curva del motor es la 8718L-08S (de color rojo) donde se puede ver la perdida tan grande de torque al aumentar la velocidad de RPM.

Por tal motivo se decidió desistir del uso de este motor y trabajar con otro que a pesar de ser menos robusto, posee características más favorables en cuanto a voltaje de alimentación, revoluciones por minuto y torque requerido además, de que no presenta una caída del torque tan marcada a altas revoluciones por minuto (ver figura 43).

Figura 43 Torque vs. Velocidad



FUENTE: Nema_P2_Stepper_System_TB.pdf

5.3 Análisis y resultados de arranque de viruta

En el proceso de maquinado de piezas se obtuvieron problemas con los residuos de la viruta ya que esta se reposaba en los ejes de desplazamiento de la mesa y en los tornillos dificultando el movimiento de la máquina, por este motivo se procedió a hacer un sistema de protección, colocando cauchos tipo fuelle para protegerlos. Pero el inconveniente de este sistema es que cuando la mesa busca

los ceros de la máquina el caucho no se contrae lo suficiente para permitir el contacto con los sensores, por tal motivo vimos la posibilidad de implementar un sistema de extracción de viruta por gravedad utilizando un ventilador extractor.

Por otra parte para cumplir con los requisitos de seguridad de la máquina se acomodó un sistema de protección de virutas que salen despedidas del material que pueden afectar la integridad física del operario, implementando una cúpula en acrílico.

CONCLUSIONES

- Este tipo de tecnología de maquinaria versátil como lo son las máquinas CNC se puede desarrollar en Colombia como se demostró esto gracias a la Ingeniería mecatrónica, satisfaciendo una necesidad en la industria, y teniendo en cuenta que este proyecto está sujeto a hacer mejoras, ya que por cuestiones de recursos disponibles en el país no se implementaron diferentes elementos que de alguna manera hubieran optimizado el diseño y mejorado su desempeño de una forma significativa como los tornillos de bolas recirculantes
- Hay motores con mayor torque en las hojas características que otros, y es necesario estudiar la curva de respuesta de velocidad versus torque ya que dicho torque puede bajar considerablemente a altas revoluciones, más que otros motores que manejan un torque inicial mayor, como fue el caso de los motores iniciales con los que se empezaron a hacer pruebas y que a mayor velocidad la respuesta fue que el torque disminuía considerablemente.
- Sabiendo que el pulso que detecta el driver del motor es en el flanco de bajada fue preciso hacer que el valor en el cual el pulso vale 0 sea constante para trabajar con el delay (retardo) en la parte en la que el pulso vale 1 ya que el motor no detecta el flanco de subida.
- Se observó que aunque se quería implementar desde un principio, la comunicación USB no era apropiada para este proyecto, ya que el puerto

no queda permanentemente abierto como el puerto serial, factor que impide la transmisión esporádica de datos.

- Los motores paso a paso trabajan muy bien para controles en lazo abierto siempre y cuando trabaje por debajo de sus límites de torque y velocidad, como se implementó en este proyecto ya que responden directa y eficientemente a los pulsos de entrada, en este caso por medio de una variación de frecuencia de los pulsos que controla la rampa de aceleración y posteriormente la velocidad de giro del motor, se concluyó que estos motores son ideales para la construcción de mecanismos que como en este caso requieren de movimientos muy precisos.
- Es difícil encontrar en el mercado micro controladores de gama alta, que puedan trabajar a una mayor frecuencia a la que se está trabajando actualmente que es de 40 MHz, ya que la velocidad de transmisión de datos sería mayor y la capacidad del micro de procesar datos sería en menos tiempo lo que por consiguiente haría más eficiente el proceso en cuanto a tiempos de mecanizado y linealidad de las trayectorias.
- Es de mucha utilidad el programa de simulación Proteus ISIS ya que permite importar los programas de los microcontroladores realizados en PIC C y simularlos en tiempo real lo que permitió prevenir conflictos y evitar pérdidas de tiempo en el montaje real que otras plataformas para poder así programar interrupciones, retardos, comunicación RS232, PWM, entre otras además genera ventajas a la hora de analizar un problema en el programa ya que permite realizar paradas en el programa en un momento determinado.

BIBLIOGRAFÍA

- Robert H. Bishop (2002), The Mechatronics HandBook , ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Edición ilustrada y 2da Edición, CRC Press.
- Shigley & Mischke (1986)- Standard Handbook of Machine Design – Editorial: McGraw Hill - 2da Edición.
- Rafael Ferre Masip (1988), Como Programar un Control Numérico, Productica Marcombo
- Altintas (2000), Manufacturing automation metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC Desing, Cambridge University press.
- A.L. Casillas – Máquinas – Editorial: Artes graficas ENCO – 36 Edición.
- García Eduardo, Compilador C CCS y Simulador PROTEUS, Marcombo.
- Rafael Ferré Masip (1988), Fabricación asistida por computador-CAM, Marcombo.

- Robert L Norton - Diseño De Máquinas – Prentice Hall
- Vesga Juan Carlos, Microcontroladores Motorola-Freescale, Alfaomega.
- Hall, A.S. Diseño de máquinas Teoría y problemas resueltos.
- Michael Predco y Mike Predco (2007), Programming and Customizing the PIC Microcontroller, 3ra edición, McGraw-Hill Professional.
- Aaron D. Deutschman, Diseño de Máquinas Teoría y Práctica.
- Joseph Edward, Diseño en Ingeniería Mecánica.
- E. Oberg, Manual universal de la técnica mecánica.
- V.M. Faires, Diseño de elementos de máquinas.
- ICONTEC, Norma técnica colombiana 2009.
- (Derecho Comercial); Código de Comercio Colombiano. Acuerdo de Cartagena Ley 4 87.
- Marketing; Versión para Latinoamérica. (Estrategia de Mercados)

- Enrique Ruiz y Velasco Sánchez, Motor paso a paso, electrónica innovación en el aprendizaje de las ciencias y la tecnología.
- Wai C. Chu, Speech coding algorithms.
- Nicholas P.Chironis 4 Edition, illustrated, (2007). Mechanisms and mechanical devices sourcebook, McGraw-Hill Professional.

CIBERGRAFÍA

- <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>
- <http://www.usdigital.com/products/encoders/incremental/rotary/kit/e8p/>
- <http://www.wissner-gmbh.de/Page/Examples/examples.htm> fecha de visita: 10 / 06 / 2008.
- http://www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya9/9desmoldante_moldes_yeso.htm fecha de visita: 15 / 06 / 2008.
- Departamento Nacional de Estadística DANE, <http://www.dane.gov.co>
- http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/controlnumericocnc/
- <http://www.businesscol.com/economia/precios2.htm>
- <http://www.mercadolibre.com/fresadoracnc/>.
- <http://www.ecnmag.com/Universal-Programmable-Microstepping-Stepper-Motor.aspx?menuid=304>
- PDF Rockford BallScrew <http://www.rockfordballscrew.com/ball234.pdf>
- <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/c/0g0gh362kxwx30o7xi4x2i4jzfy.pdf>

INTRODUCCIÓN

El presente manual está escrito para lograr que el operador aprenda a programar el control para una fresadora CNC, sin tener un conocimiento básico previo. Para esto en el manual se han introducido los gráficos y explicaciones necesarios para entender la manera en que opera el equipo, así como ejemplos de programación de las operaciones principales que se pueden realizar. También se encontrará una explicación de que pasos se deben seguir para realizar un programa de fresado. Para un óptimo desempeño y operación del control se recomienda leer todo el manual antes de empezar a elaborar un código de programación.

¿QUE ES UNA FRESADORA CNC?

Las máquinas de control numérico son máquinas automáticas de corte, las cuales cuentan con un panel de control, el cual funciona como interface entre la máquina y el usuario y a través de este, se introduce el programa de control numérico. Este programa es un conjunto de instrucciones que son convertidas en órdenes, que se accionan mediante las tarjetas de control el movimiento de los carros y los motores para el respectivo mecanizado de la pieza. La secuencia del programa sigue una lógica que va de acuerdo a la trayectoria de la herramienta de corte, a su vez las trayectorias de la herramienta están basadas en el análisis de fabricación que se realiza antes de la generación del programa, de manera que el desplazamiento de la herramienta es el que produce las superficies maquinadas. El sistema de transmisión utilizado en las máquinas de control numérico consiste en la transmisión de tipo de tornillo tuerca el cual permite un buen acople entre los elementos mecánicos para el desplazamiento de

los carros, brindando un buen desempeño en cuanto a torque y precisión. Además la máquina cuenta con motores paso a paso los cuales se alimentan con corriente directa y son controlados por dispositivos electrónicos para este caso los drivers de control.

También encontramos que el control de la máquina está conectado a un ordenador externo por medio de una conexión RS232, en el que se pueden grabar los proyectos que se realicen y se ejecuten, como una base de datos y así poder utilizarlos cuantas veces sea necesario.

- COMPONENTES DEL CENTRO DE MECANIZADO CNC.
 1. LA MÁQUINA.
 2. LOS CONTROLES.
 3. LA COMPUTADORA Y EL SOFTWARE ESPECÍFICO.

MANUAL DEL USUARIO

IDENTIFICACIÓN DE LA MÁQUINA



ORIENTACIÓN DE LAS PARTES DE LA MÁQUINA

DEFINICIÓN DE DIRECCIÓN.

Las siguientes ilustraciones muestran la maquina vista desde distintas posiciones.

A indica la Parte posterior de la máquina.

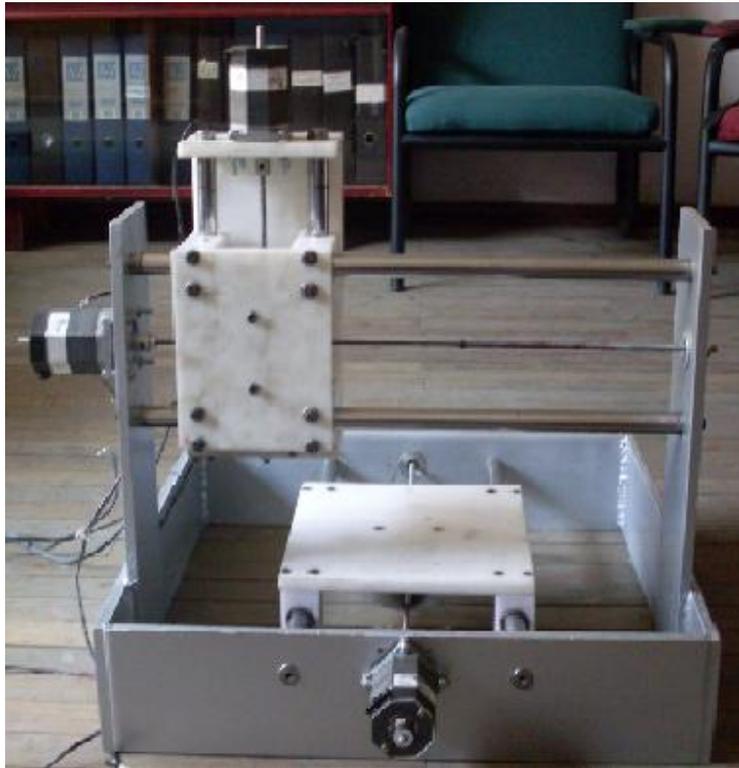
B indica la Parte frontal de la máquina.

C indica la Parte izquierda de la máquina.

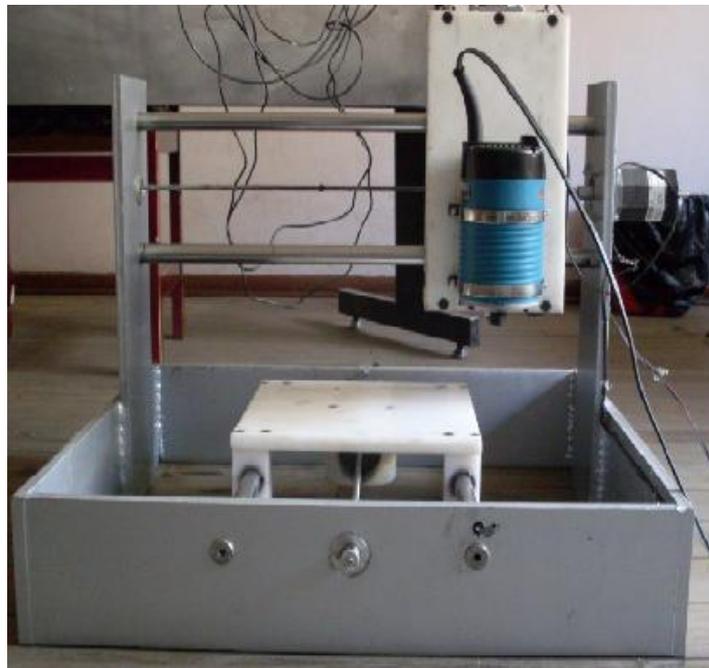
D indica la Parte derecha de la máquina.

E indica la Parte superior de la máquina.

A.



B.



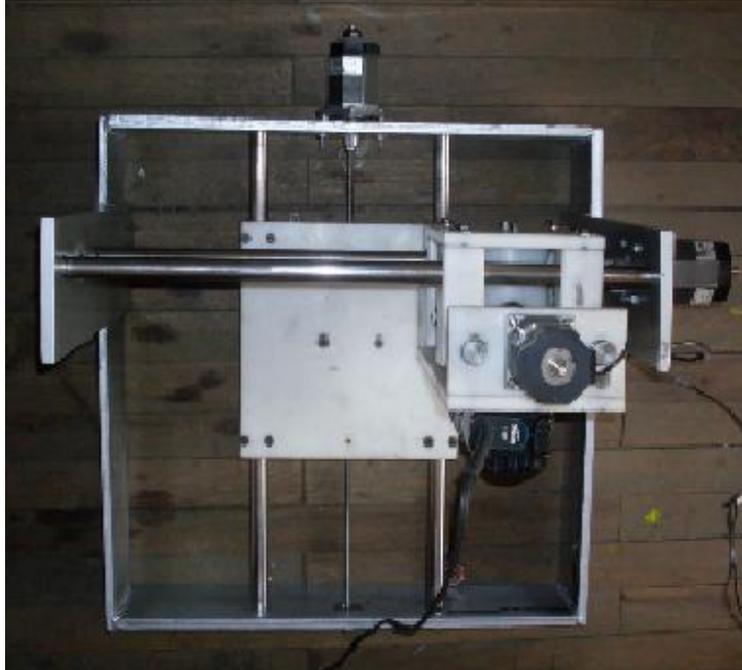
C.



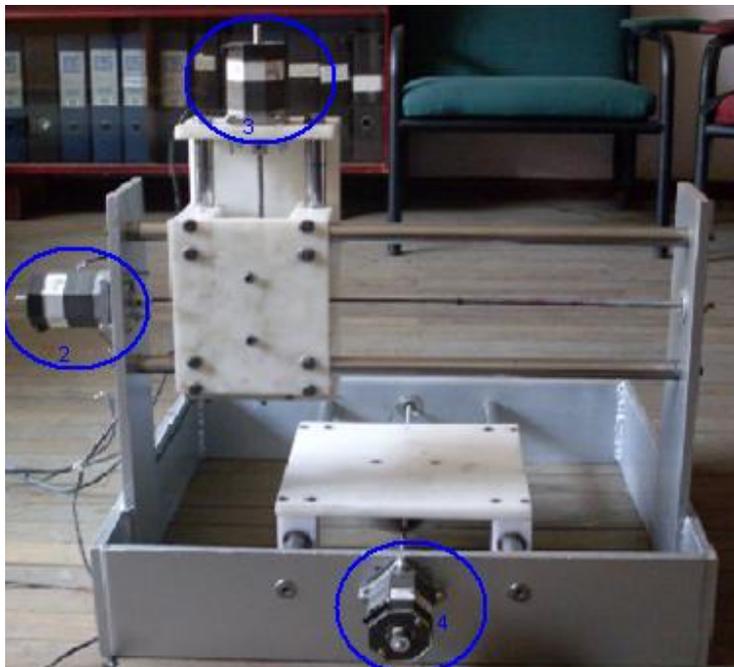
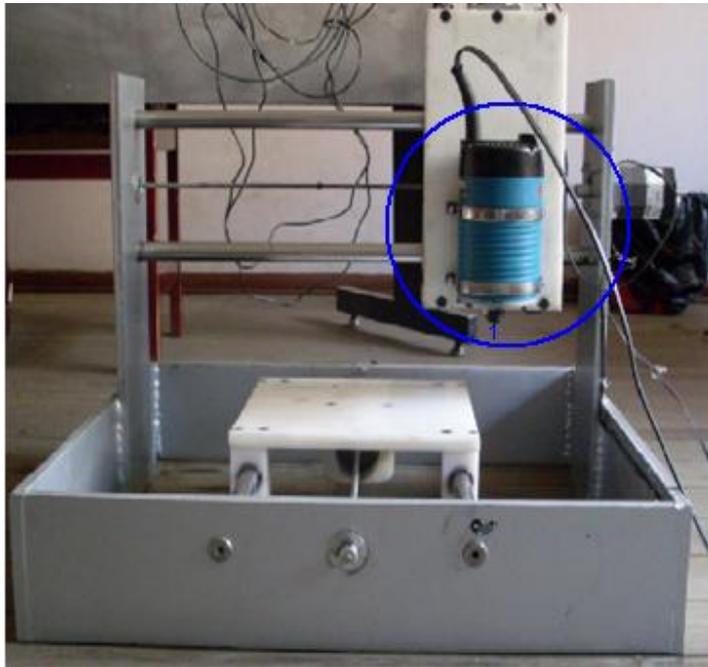
D.

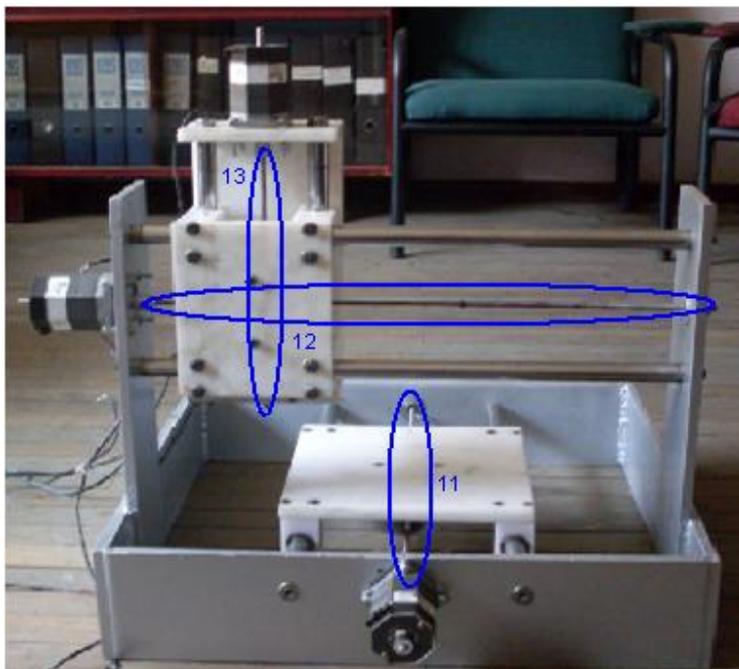
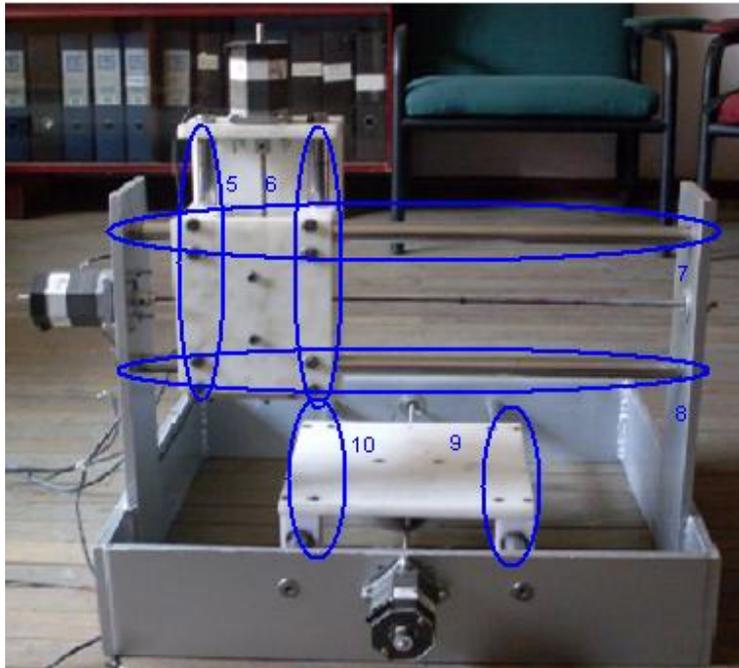


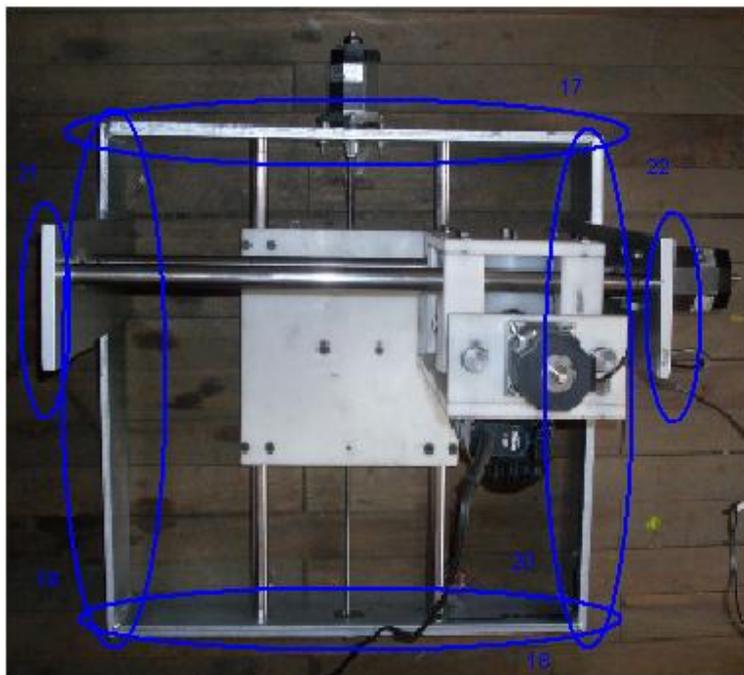
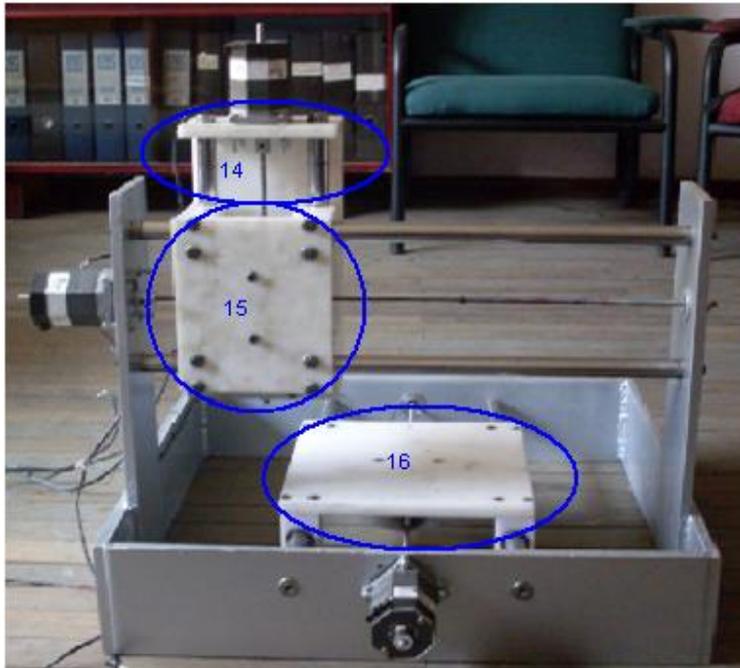
E.

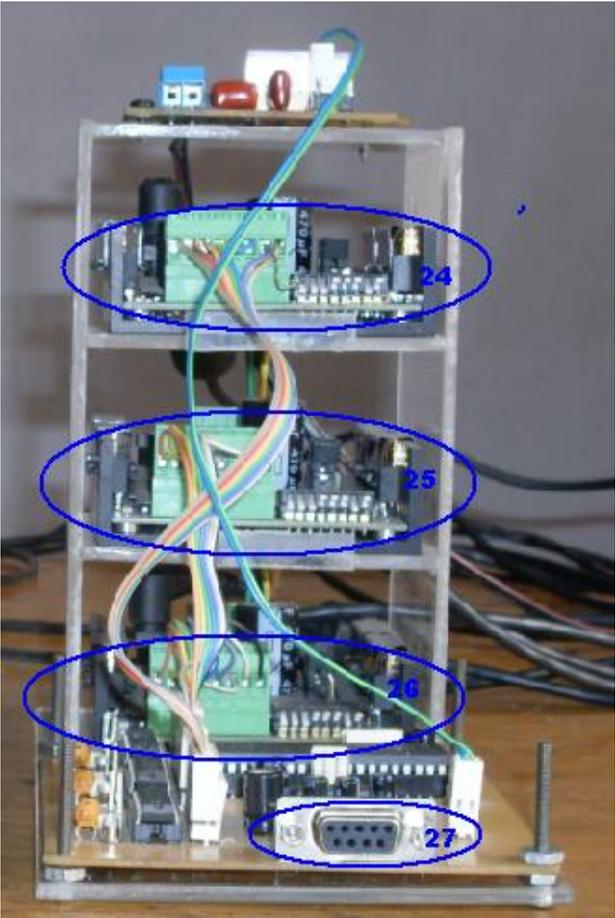
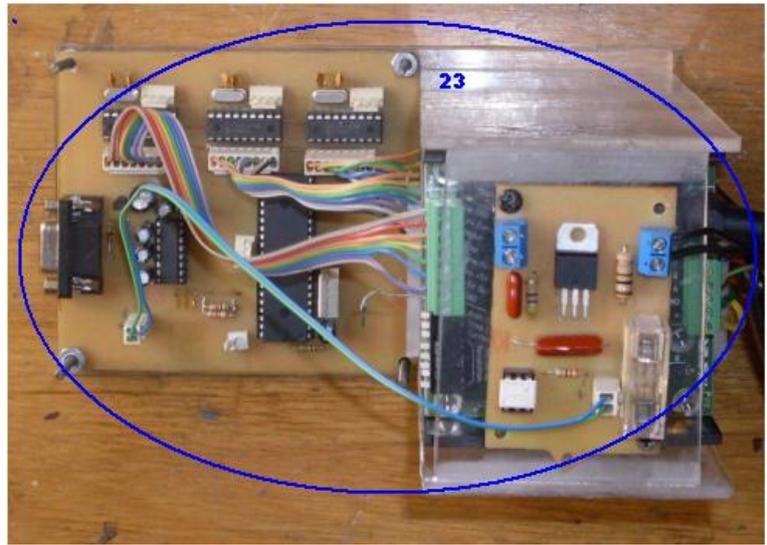


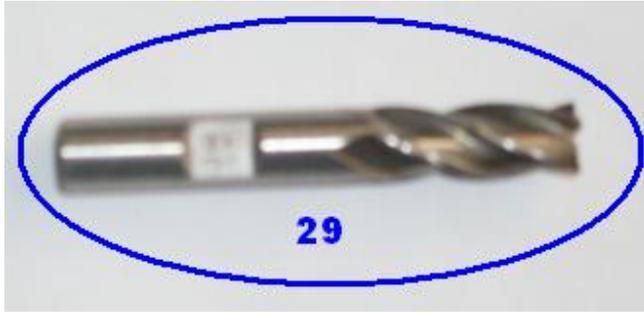
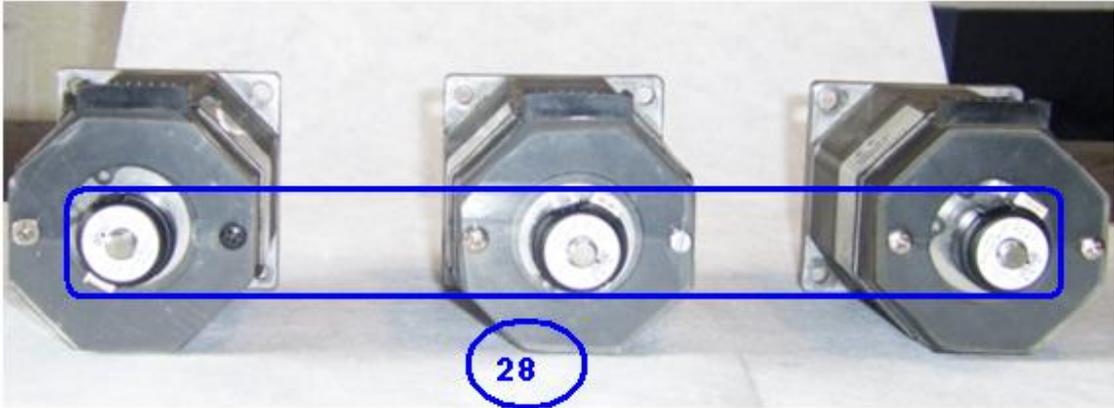
PARTES DE LA FRESA



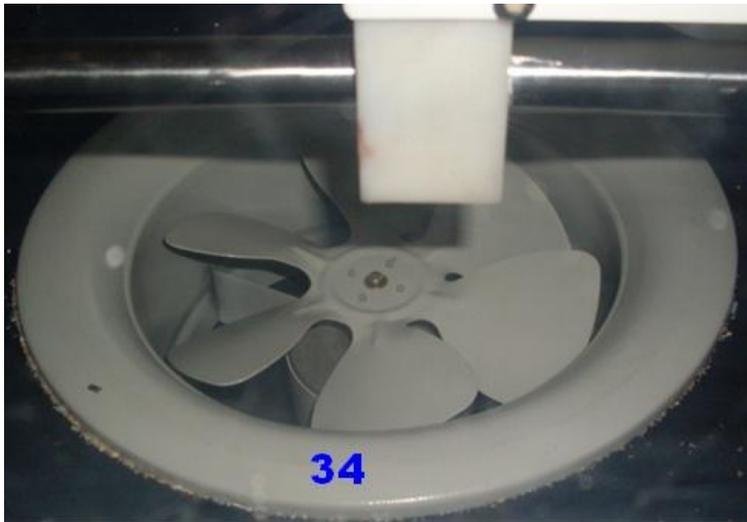
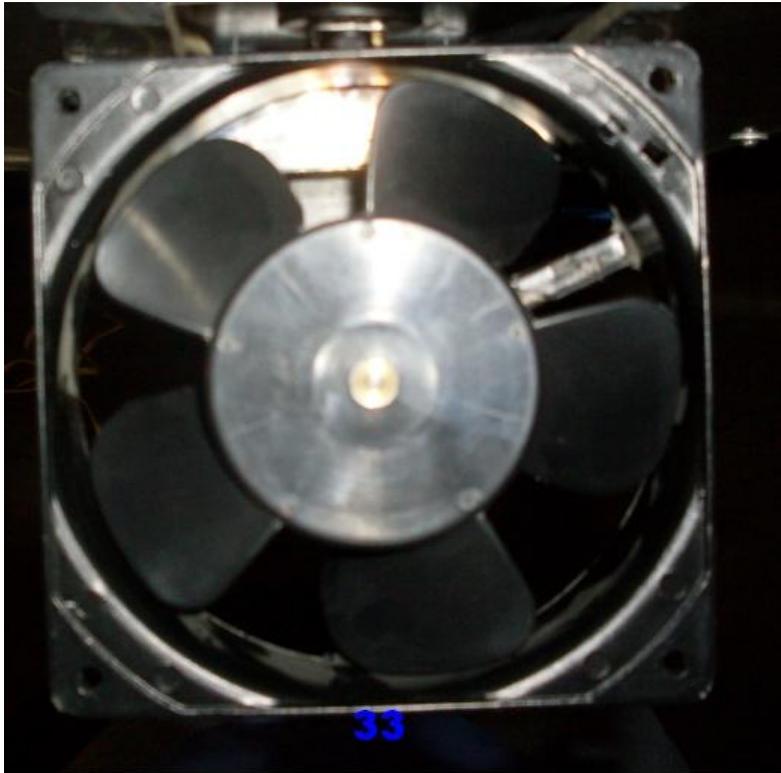
















CARACTERÍSTICAS.

No Del Elemento	Descripción
1	Motor de la Fresa
2	Motor Paso a paso
3	Motor Paso a paso
4	Motor Paso a paso
5	Eje y Rodamiento lineal
6	Eje y Rodamiento lineal
7	Eje y Rodamiento lineal
8	Eje y Rodamiento lineal
9	Eje y Rodamiento lineal
10	Eje y Rodamiento lineal
11	Tornillo De corona Sin Fin
12	Tornillo De corona Sin Fin
13	Tornillo De corona Sin Fin
14	Carro Eje Z
15	Carro Eje X
16	Carro Eje Y
17	Base Transversal
18	Base Transversal
19	Base Longitudinal
20	Base Longitudinal
21	Base Vertical
22	Base Vertical
23	Tarjeta de control
24	Driver motor 1

25	Driver motor 2
26	Driver motor 3
27	Puerto Serial RS232
28	Encoders
29	Herramienta
30	Porta herramienta
31	Cable serial-serial
32	Cable serial-USB
33	Ventiladores de los motores
34	Extractor
35	Base
36	Encendido-Apagado
37	Tablero de control

DESCRIPCIÓN.

- MOTOR DE LA FRESA.

Este consta del motor la herramienta y el husillo, y es el que hace girar la herramienta de corte a fin de eliminar el material de una pieza de trabajo móvil. El husillo es el eje giratorio en el que se monta la herramienta de corte. La columna vertical soporta los componentes del conjunto del husillo, incluido el motor que hace girar el husillo y la herramienta de corte.

- MOTORES PASO A PASO.

La fresadora posee tres motores paso a paso. Estos motores controlan el movimiento de la herramienta de corte y del carro transversal.

El motor (# de elemento dos) es el motor del eje X mueve el carro transversal de izquierda a derecha por debajo de la herramienta.

El motor (# de elemento tres) es el motor del eje Z mueve el portaherramientas de arriba abajo, o hacia adentro o fuera de la pieza.

El motor (# de elemento cuatro) es el motor del eje Y mueve al carro transversal hacia adentro y hacia afuera por debajo de la herramienta.

- EJE DEL RODAMIENTO LINEAL.

El eje y los rodamientos lineales (# de elemento 5-6) son los que permiten deslizar el carro del eje Z.

El eje y los rodamientos lineales (# de elemento 7-8) son los que permiten deslizar el carro del eje X.

El eje y los rodamientos lineales (# de elemento 9-10) son los que permiten deslizar el carro del eje Y.

- TORNILLO DE CORONA SIN FIN.

El tornillo de corona sin fin (# de elemento 11) es el que es accionado por el motor del eje Y que hace mover el carro trasversal en el eje Y.

El tornillo de corona sin fin (# de elemento 12) es el que es accionado por el motor del eje X que hace mover el carro trasversal en el eje X

El tornillo de corona sin fin (# de elemento 13) es el que es accionado por el motor del eje Z que hace mover el carro que tiene la herramienta en el eje Z.

- CARRO EJE X
- CARRO EJE Y
- CARRO EJE Z
- BASES (TRANSVERSAL, VERTICAL, LONGITUDINAL)

Estas son las que sostienen la estructura de los carros, motores ejes, rodamientos y tornillos sin fin.

- HERRAMIENTA

La herramienta de corte es la que es puesta en contacto con la pieza y elimina de ella el material para hacer el mecanizado.

- PORTA HERRAMIENTA.

Es donde el operario instala la herramienta de corte.

- TARJETA DE CONTROL. (# de elemento 23)

La tarjeta de control es un componente a través del cual la fresadora se comunica con el computador. Está compuesta por los Drivers, controles de electricidad y de la interfaz de la fresadora.

- DRIVER MOTOR. (# de elemento 24)

Driver de motor eje Z.

- DRIVER MOTOR. (# de elemento 25)

Driver de motor eje Y.

- DRIVER MOTOR. (# de elemento 26)

Driver de motor eje X.

- CABLE Y PUERTO SERIAL USB

Este es el que permite hacer la comunicación entre la fresa y el computador.

PERIFÉRICOS.

1. Fuente de voltaje No 1.
2. Fuente de voltaje No 2.



3. Cable serial-serial.
4. Cable serial USB.

NORMAS GENERALES DE SEGURIDAD.

PROTECTOR DE SEGURIDAD. Una de las piezas más importantes de la fresadora es la PANTALLA DE SEGURIDAD. La pantalla de seguridad ayuda a protegerse de las virutas del material que salen disparadas al momento de mecanizar una pieza, antes de activar el motor del husillo es conveniente asegurarse que el protector de seguridad este cerrado.

Seguridad del área de trabajo.

1. Mantener el área de trabajo limpia y bien iluminada. **Las áreas oscuras y desordenadas son propensas a accidentes.**
2. No operar la maquina en atmosferas explosivas tales como gases o líquidos inflamables. **Las herramientas eléctricas producen chispas que pueden encender el polvo o gases.**
3. Mantener a niños y personas alejadas mientras se opera la herramienta eléctrica. **Al haber distracción un tercero puede manipular la herramienta mientras se opera automáticamente y así se puede perder el control de la herramienta.**

Seguridad eléctrica.

4. No modificar el enchufe de conexión ni usar adaptadores para conectar de tierra a masa. **Los enchufes sin modificar reducen el riesgo de descarga eléctrica.**
5. Evitar el contacto corporal con superficies a masa (a tierra) como radiadores, tuberías y refrigeradores. **Se corre más riesgo de sufrir una descarga eléctrica si el cuerpo esta a tierra.**
6. No exponer las conexiones eléctricas al agua o la humedad. **Si ingresas agua en las conexiones eléctricas aumenta el riesgo de recibir una descarga eléctrica.**
7. No tirar del cable para desenchufar la conexión eléctrica. Mantener el cable alejado del calor, aceite, objetos cortantes o piezas móviles. **Los cables dañados o atrapados aumentan el riesgo de sufrir una descarga eléctrica.**
8. No operar la maquina muy alejada del tomacorriente, en caso de hacerlo utilizar una extensión apropiada. **Si se utiliza el cable inadecuado este se puede calentar y ocasionar un corto en la maquina.**

Seguridad personal.

9. Estar al tanto, prestar atención a lo que se está haciendo y utilizar el sentido común cuando se opere la máquina. No es recomendable utilizar herramientas eléctricas cuando se está cansado o bajo la influencia de drogas, alcohol o medicamentos. **En un momento de distracción mientras se opera la maquina se puede dar como resultado heridas personales graves temporales o permanentes.**
10. Utilizar equipos de seguridad de protección ocular. **Los equipos de seguridad como mascararas y gafas sirven para protegerse del polvo.**
11. Retirar todas las llaves y tuercas de ajuste antes de empezar a operar la máquina. **Un objeto olvidado, al poner la fresa en marcha puede malograr el mecanismo e incluso poner en peligro la integridad del operario.**
12. La fresa cuenta con un dispositivo de extracción y recolección de polvo hay que asegurarse de que estén correctamente conectados y sean adecuadamente utilizados. **La utilización de estos dispositivos puede reducir los riesgos relacionados con el polvo.**

NORMAS ESPECÍFICAS DE SEGURIDAD.

1. Cuando se realicen operaciones de extracción de la herramienta evitar el contacto con cableado oculto. **El contacto con un cable con corriente hará que la corriente circule por las partes metálicas de la herramienta y electrocute al operador.**

2. Utilizar los elementos adecuados para asegurar y sujetar tanto el husillo como la herramienta de una forma estable. **Sostener una pieza de trabajo con la mano produce inestabilidad.**
3. Utilizar protección para los oídos durante los periodos de operación prolongados.
4. Manejar las brocas con mucho cuidado.
5. Inspeccionar la broca cuidadosamente para ver si tiene grietas o daños antes de comenzar la operación. Reemplazar la broca inmediatamente si está agrietada o dañada, esto evitara posibles daños durante su operación.
6. Mantener las manos alejadas de las partes giratorias. **Asegurarse que el protector de seguridad este debidamente cerrado antes de empezar a operar la máquina.**
7. Asegurarse que la herramienta de trabajo no está haciendo contacto con la pieza de trabajo antes de empezar a operar la máquina.
8. Antes de empezar a utilizar la herramienta de trabajo en una pieza es conveniente dejarla funcionar durante un rato. **Observar si hay vibración o un mal movimiento de la herramienta que pueda indicar una incorrecta instalación de la misma.**
9. Apagar la máquina y esperar siempre que la herramienta se halla parado completamente antes de retirarla.
10. No tocar la herramienta inmediatamente después de utilizarla ya que esta podría estar muy caliente y producir quemaduras en la piel.
11. Algunos materiales contienen sustancias químicas que pueden ser toxicas, se recomienda tomar precauciones para evitar la inhalación de polvo o que este entre en contacto con la piel.
12. Se recomienda consultar la información del proveedor en caso de cambio de motores, drivers en (Danager) y para el motor de la fresa (Makita)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Especificaciones eléctricas en Colombia	115 V ~ 7 A 50/60 Hz
Diámetro del porta herramienta	1/4"
Revoluciones por minuto. (r.p.mm)	30.000
Largo, ancho, alto.	(560x560x680)mm
Peso	60 kg (120 lbs.) aprox.

DIMENSIONES (GEOMÉTRICAS)

Longitud en el eje X-----	560 mm
Longitud en el eje Y-----	540 mm
Longitud en el eje Z-----	30 mm
Mesa de la máquina-----	58 x 56 mm
Ancho-----	10 mm
Distancia entre el husillo y la mesa.	
Posición vertical.-----	100 mm

VELOCIDADES (CINEMÁTICA)

Gama de velocidades por minuto.-----	0-1500 rpm
De avance en modo manual.-----	1-30(mm/ s)
De posicionamiento (marcha rápida) -----	30 (mm/ s)
De avance programado.-----	30 (mm/s)

POTENCIA (DINÁMICAS)

En los ejes.-----	70 watt
Nominal.-----	70 watt

Limitación de corriente.----- 2.5 Amp.

MOTORES PASO A PASO

Paso individual.----- 1.8°

Desplazamiento por paso individual.----- 0.006 mm

HERRAMIENTA

Dispositivo de sujeción-----Rápido cambio
Instantáneo.

OPERACIÓN DE LA MÁQUINA

- INSTALACIÓN.
- ALIMENTACIÓN.
- ENCENDIDO Y APAGADO DE LA MÁQUINA
- MANIPULACIÓN
- NORMAS DE SEGURIDAD
- HERRAMIENTAS DE USO.
- ARRANQUE
- OPERACIÓN

INSTALACIÓN

La instalación de esta fresa, se debe hacer en un lugar plano y rígido, que soporte el peso de la maquina y en donde la base pueda quedar empotrada, debido a que por las vibraciones que producen los motores al hacer el fresado, puede haber un desplazamiento de la maquina que ocasione desajuste en los mecanismos y al mismo tiempo ponga en riesgo la integridad física del operario o

de las personas que se encuentren cerca del lugar en donde se opere el maquina. También hay que tener en cuenta que la fresa debe estar a una altura entre 1 metro y 1 metro con 40 centímetros del piso, para facilitar las operaciones que realiza el operario como colocar piezas y cambiar herramientas para realizar el mecanizado.

La maquina funciona con un PC portátil o computador de escritorio con plataforma de Windows vista, preferiblemente XP de 32 bits para que pueda funcionar correctamente la aplicación del instalador en Visual Basic que hace la interface de los comandos CAD CAM creados por el operario, para el respectivo mecanizado que se desee hacer.

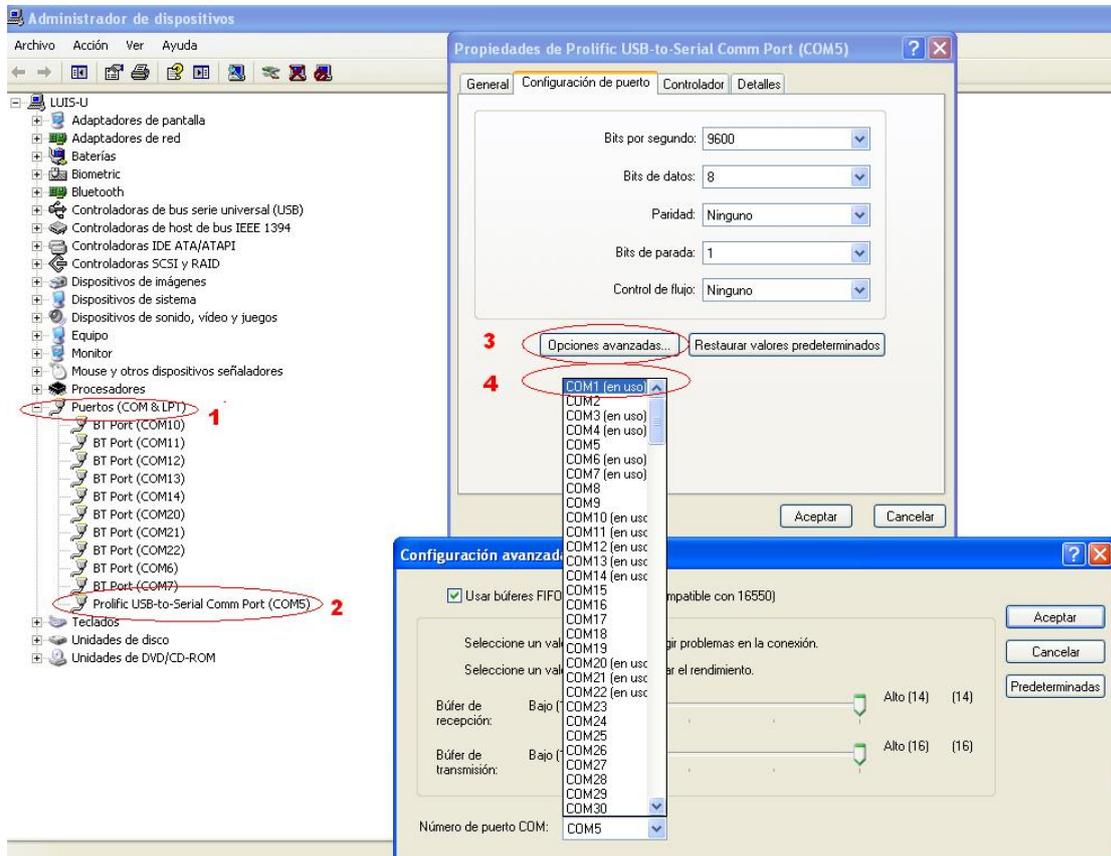
Una vez se ha conectado la maquina correctamente y verificado que la tarjeta de control está siendo energizada por la fuente y el cable de alimentación, se procede a conectar la maquina con el cable USB - RS 232 a un PC y verificar que se establezca la comunicación entre el PC y la máquina.



Seguido a esto hay que configurar la interfaz en el administrador de dispositivos del PC y configurarlo como COM 1 para que el ejecutable de visual Basic instalado previamente en el PC reconozca el puerto de comunicación.

Ahora se procede a seleccionar en el PC, en el administrador de dispositivos en puertos (LPT Y COM) como se muestra en la figura, se selecciona Prolific USB-to-serial comm port (COM5) este COM esta como predeterminado, luego en configuraciones de puerto se da click en opciones avanzadas y se selecciona COM1 (en uso) y se le da aceptar.

FIG.



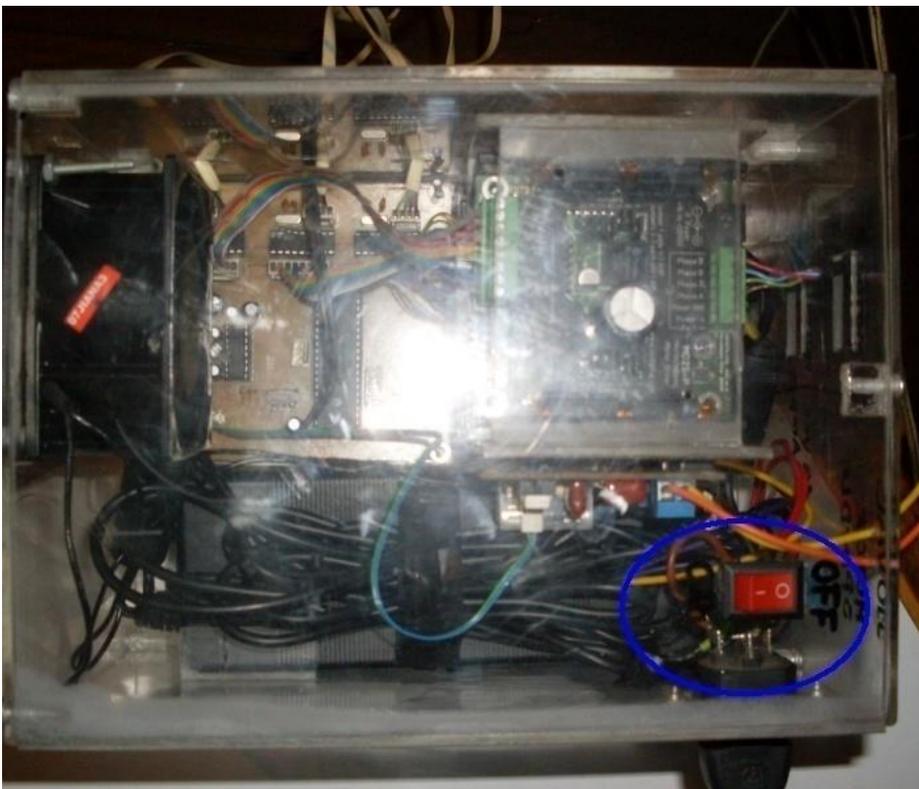
Ahora se procede a iniciar el HM1 (Ejecutable que se genera con VISUAL BASIC) anteriormente instalado y configurado.

ALIMENTACIÓN

Se conecta directamente a la tomacorriente de 110 voltios a 60 Hz para que la maquina quede energizada por medio del cable de poder. Este alimenta a su vez el motor y la tarjeta de control que entrega los voltajes necesarios para alimentar los Pico y demás integrados.

ENCENDIDO Y APAGADO

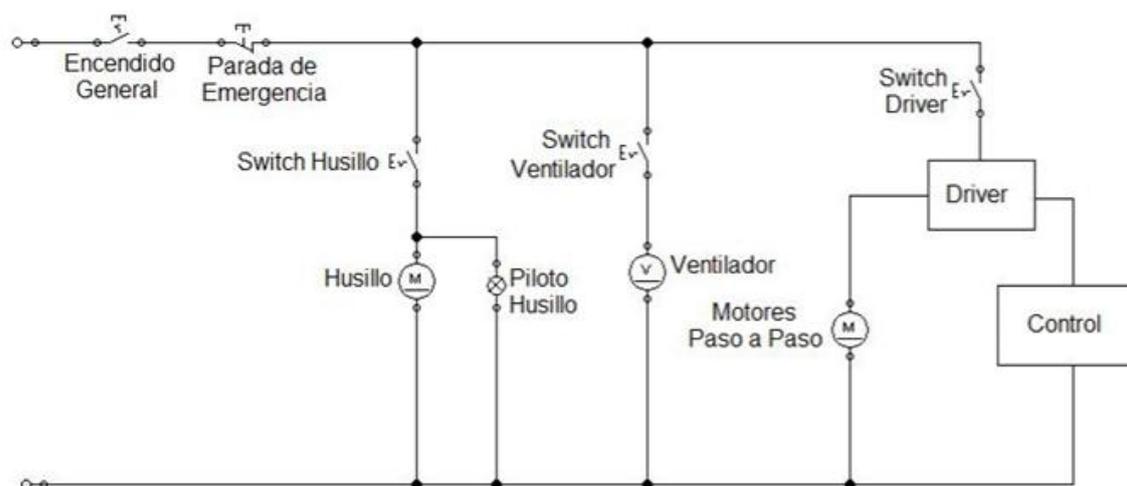
ENCENDIDO Y APAGADO DE LA MAQUINA.



La tarjeta de control tiene un Smith de encendido y apagado que es el que energiza y des-energiza la fuente de poder, que es la que le entrega el voltaje DC a los integrados.

Para poner en marcha la máquina se mueve el interruptor a la posición I (ON-encendido). Para parar la maquina se mueve la palanca del interruptor a la posición O (OFF- apagado)

PLANO ELECTRICO



MANIPULACIÓN.



MONTAJE.

- Hay que asegurarse siempre, de que la maquina este apagada y desenchufada antes de realizar cualquier trabajo manual con la herramienta.

ACCESORIOS.

- Cono de apriete.
- Llave de 17

Instalación o extracción de la broca.

PRECAUCIÓN:

Sostenga la fresa firmemente. Utilice siempre únicamente la llave provista con la herramienta. Una fresa floja o muy apretada puede ser peligrosa para el operario que la este manipulando. Se instala la herramienta de corte en el husillo o porta herramienta.

No apretar la tuerca de ajuste sin insertar una fresa por qué se puede romper la tuerca de apriete.

- Conectar la máquina con el computador por medio del cable Serial-RS232, cuando se ejecuta el HMI aparece un aviso que dice MÁQUINA ESTABLE se le da aceptar y enseguida aparece otro aviso que dice INHABILITADO y posteriormente uno que dice RETORNAR A HOME se da click, así busca el cero absoluto de la maquina, es decir el recorrido de cada uno de los ejes (X,Y,Z) para que los carros no se estrellen, a continuación el operario procede a ubicar los ceros de trabajo por medio de desplazamiento manual y dependiendo de las dimensiones de la pieza que se va a mecanizar, estando esta anterior mente instalada en el porta piezas.
- Una vez realizado estos pasos, se procede a importar el archivo, anteriormente diseñado en ARTCAM (software de diseño y modelamiento de productos en 3D orientado a maquinas de fresado con técnicas CAD-CAM). Este software genera un archivo .cam el cual contiene el CÓDIGO que genera todas las coordenadas que se ejecutan en el HMI de la interfaz de Visual Basic para hace el mecanizado de la pieza.



- El operario debe sujetar la pieza a mecanizar en él porta piezas montado en el carro transversal de la fresa.

OPERACIÓN.

Básicamente la máquina puede operarse de dos maneras:

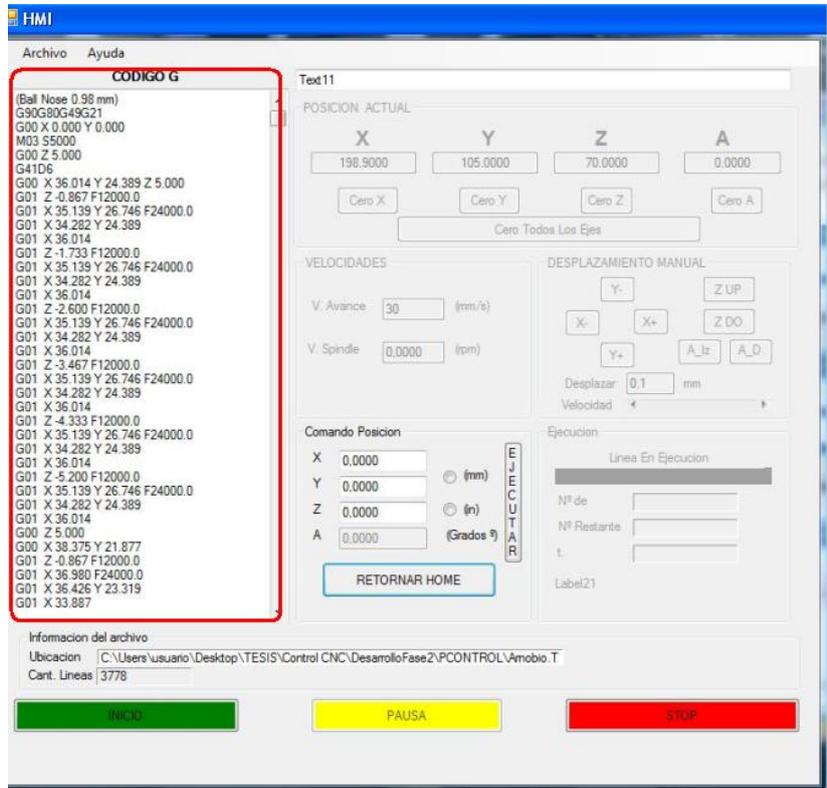
Operación manual. En donde el accionamiento del movimiento de los carros es llevado a cabo por órdenes específicas del operario.

Operación automática. En donde el accionamiento de los movimientos de los carros es realizado automáticamente por la máquina durante la ejecución de un programa.

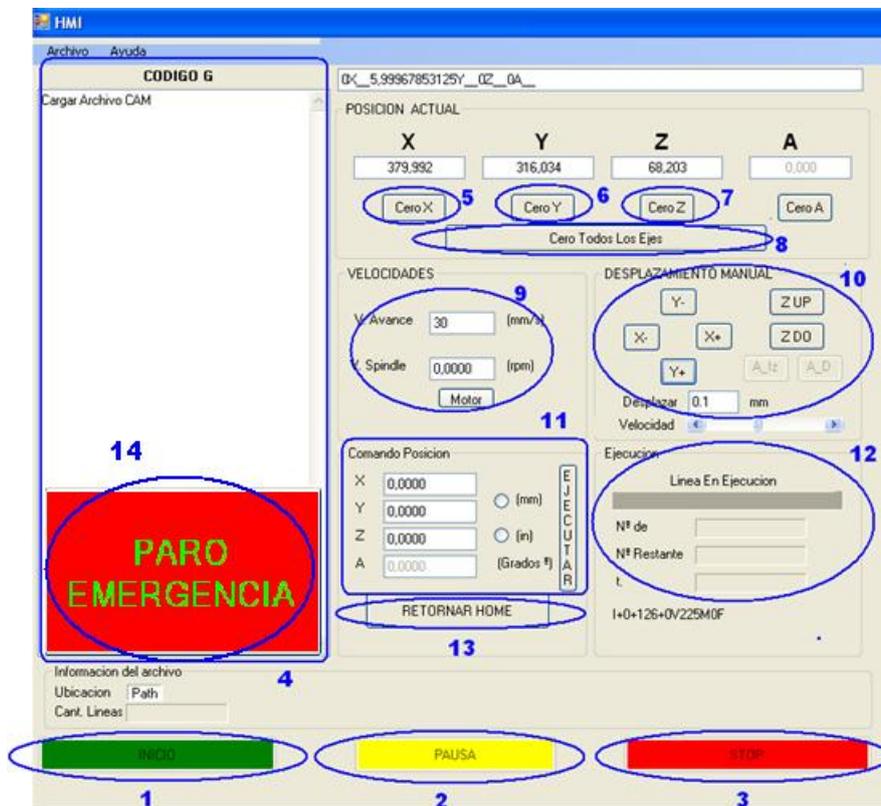
Software de control.

Es el software de control que permite trabajar la fresa, escribir programas CNC, abrir programas existentes, verificar que estos se ejecuten correctamente y posteriormente mecanizar la pieza.

La plataforma ARTCAM permite realizar los diseños de las figuras que se requieren mecanizar, este a su vez genera un archivo .cam el cual contiene el CÓDIGO que genera todas las coordenadas que se ejecutan en el HMI de la interfaz de Visual Basic para hacer el mecanizado de la pieza.



BOTONES DE USO.



1	Inicio	Inicia el programa a ejecutar
2	Pausa	Pausa el programa que se está ejecutando
3	Stop	Detiene el programa hasta la última rutina que se está ejecutando, para volver a ejecutarlo es necesario reiniciar todo el proceso.
4	Paro de emergencia	Detiene el programa que se está ejecutando, para volver a ejecutarlo es necesario reiniciar todo el proceso.
5	Cero X	Pone en cero el eje X
6	Cero Y	Pone en cero el eje Y

7	Cero Z	Pone en cero el eje Z
8	Cero todos los ejes	Poner en cero todos los ejes
9	Velocidades	Indica las RPM a las que se a programado una aplicación.
10	Desplazamiento manual	Desplazamiento manual de cada uno de los ejes.
11	Ejecutar	Ejecuta el programa que se
12	Línea de ejecución.	Muestra que línea del programa está ejecutando.
13	Retornar a Home	Desplazamiento de los ejes a los ceros de la máquina.

MANEJO DEL SOFTWARE CAD/CAM (ArtCAM)

ArtCAM Pro es una plataforma de diseño que permite la creación de relieves complejos 3D a partir de vectores 2D o bitmaps. Estos vectores y bitmaps pueden ser generados con ArtCAM.

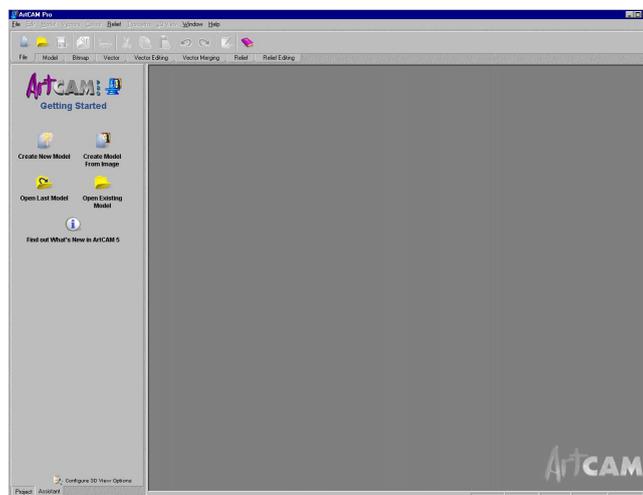
ArtCAM Pro incluye herramientas para la edición y combinación de relieves almacenados. Una vez que un relieve 3D es creado, se pueden crear las trayectorias para mecanizarlo. Se generan fácilmente múltiples trayectorias para desbastes, acabados y grabados, y las trayectorias pueden ser simuladas para permitir una completa visualización del producto antes de fabricarlo.

Empezando a manejar ARTCAM:

- Hacemos doble clic sobre el icono de ACCESO DIRECTO de ArtCAM Pro en la pantalla con el botón Izquierdo del ratón.



El programa arranca automáticamente y aparece la ventana principal como se muestra:



Las opciones que no están disponibles aparecen en color gris y no se pueden usar. Al iniciar ArtCAM se puede crear un Nuevo Modelo, abrir un modelo existente o un archivo de imagen.

Para crear un modelo:

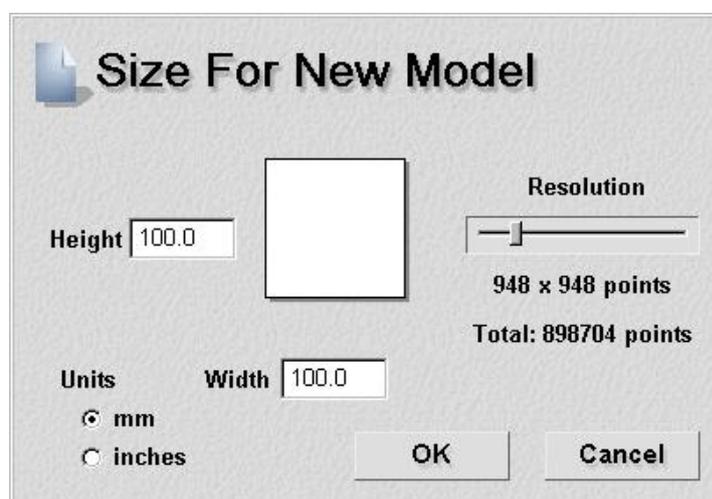
Se selecciona el icono Crear Nuevo Modelo

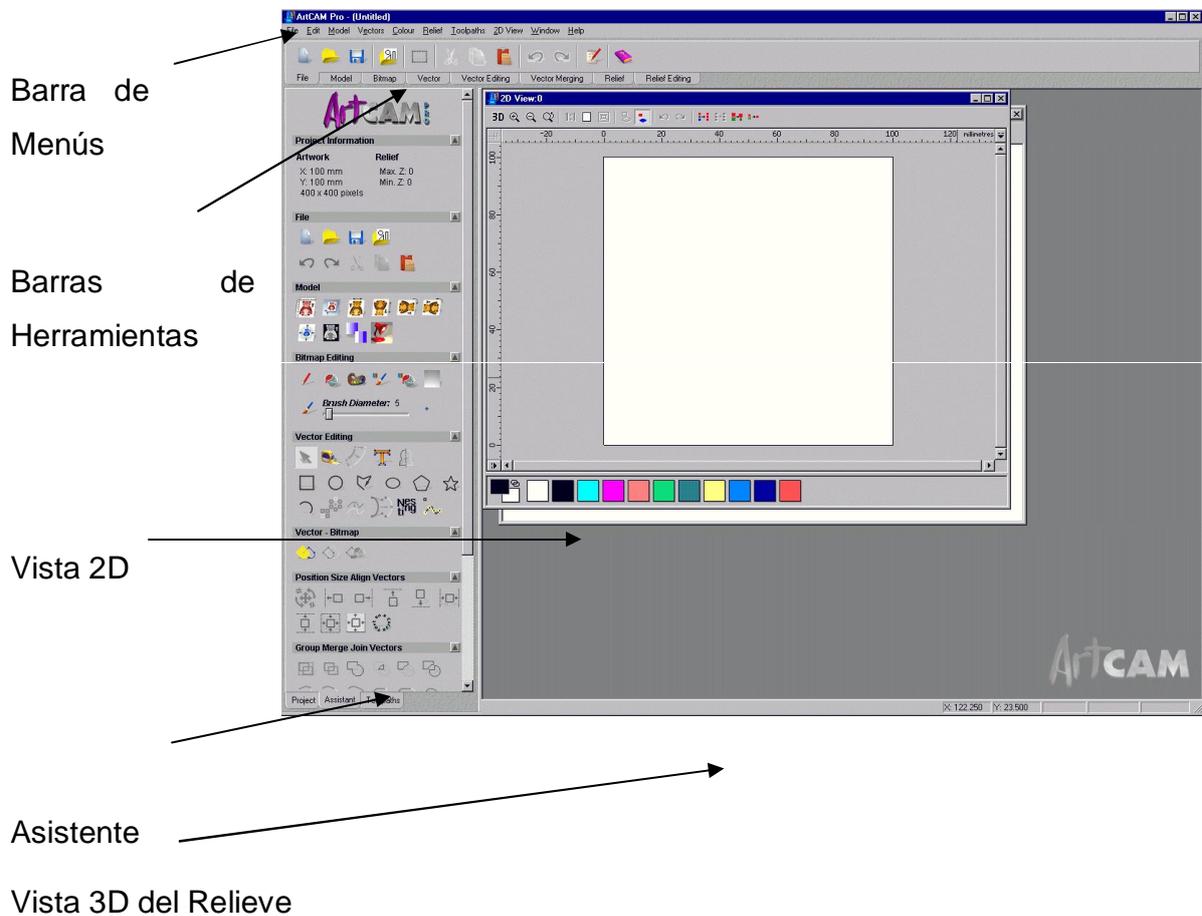


A un modelo nuevo debemos definirle un tamaño para trabajar y una resolución. La resolución es el número total de cuadrados en cada eje.

Cuando trabajemos con bitmaps y queramos obtener detalles precisos, la resolución deberá tener un valor alto. Una altura de 100 con una resolución de 1000 da como resultado 10 cuadrados por milímetro.

- Se fija la Altura y el Ancho a 100 y la resolución a 1000 x 1000 puntos.
- Luego se pulsa OK.





ArtCAM muestra una vista 2D, con el relieve 3D por debajo. Se puede alternar fácilmente entre las vistas. Los comandos de ArtCAM se pueden obtener utilizando las barras de herramientas o el Asistente, el cual contiene ayuda adicional.

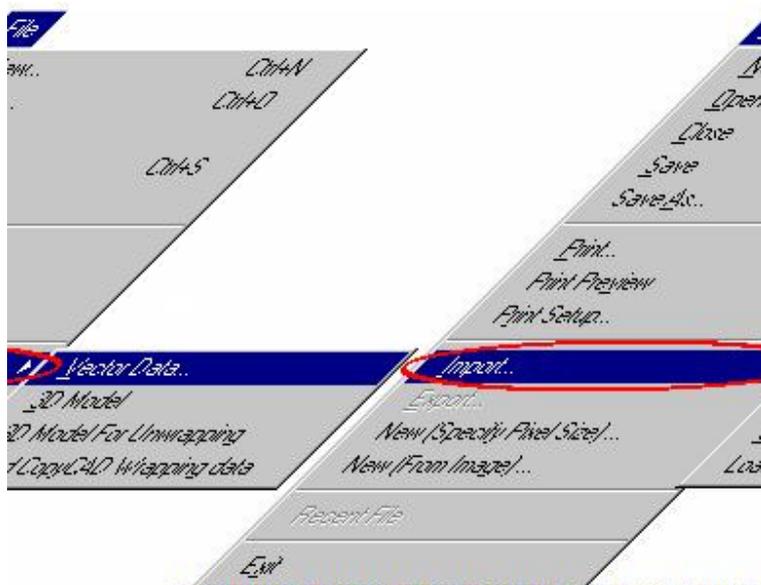
Barra de Menús

En la parte superior de la ventana Principal, está la Barra de Menús.



Haciendo clic sobre los objetos de los menús aparecen unos menús desplegables que contienen submenús y comandos. Si el objeto de un menú no se puede aplicar a la vista activa actual, aparecerá en gris.

Por ejemplo, el menú Archivo tiene el siguiente aspecto:



Hay un submenú, indicado por la flecha que aparece a la derecha de la opción Importar. Los comandos que aparecen a la derecha de algunas opciones en los menús son teclas rápidas para esas opciones, como por ejemplo la de Model para crear un nuevo modelo.

Barras de Herramientas

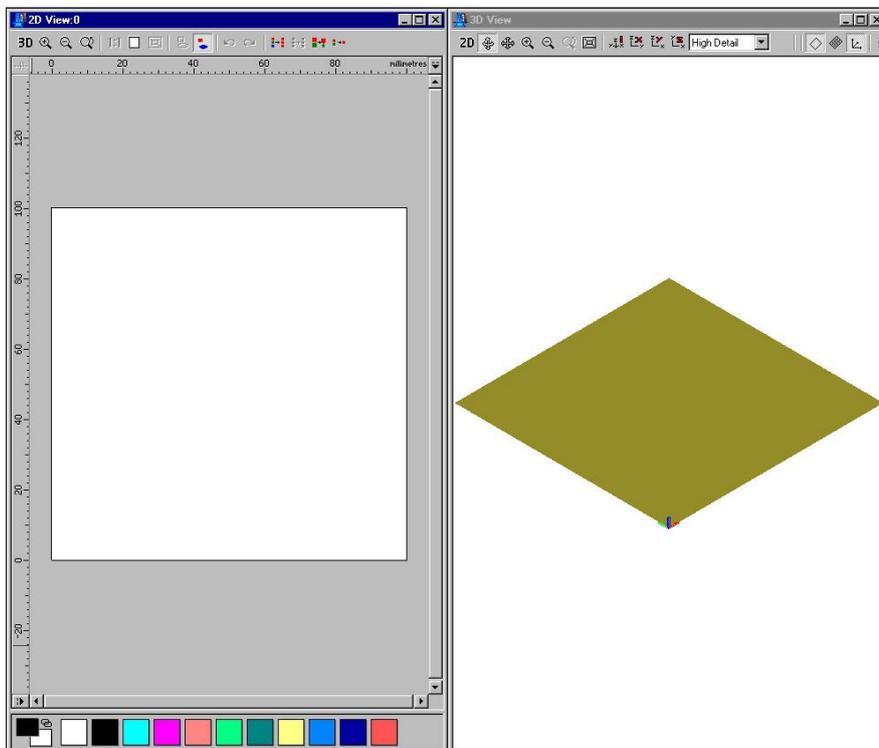


Hay Ocho barras debajo de la Barra de Menús que contienen todos los comandos utilizados más frecuentemente en Art CAM Pro. Se tiene acceso a ellas pinchando sobre la pestaña correspondiente.

Las barras son Archivo, Modelo, Bitmap, Vector, Edición de Vectores, Fusionar Vectores, Relieve y Edición de Relieves.

Vistas 2D y 3D

Las vistas 2D y 3D se muestran una junto a otra seleccionando Mosaico en el menú Ventana.



Asistente de mecanizado en ArtCAM



la mayoría de la información y ayuda. La rar pulsando las flechas arriba o abajo

Información de Proyecto – muestra el tamaño actual del trabajo artístico y la altura del relieve.

Archivo – Éstas son las opciones estándar de archivo que permiten controlar en qué modelo se está trabajando.

Modelo – Controla la edición del modelo e incluye además Luces y Materiales para sombrear el relieve.

Edición de Bitmaps – Éstos comandos de bitmaps trabajan con colores, directamente a la resolución definida.

Edición de Vectores – Los vectores son líneas planas 2D, de resolución

La vista 2D se utiliza para diseñar los bitmaps y vectores y asignarles alturas. La vista 3D se utiliza para ver el relieve y la simulación de trayectorias. F2 y F3 se utilizan para alternar entre la vista 2D (F2) y la vista 3D (F3).

MECANIZADO DE RELIEVES.

Para mecanizar un relieve, ArtCAM crea un archivo trayectoria. Este archivo contiene una secuencia de instrucciones dando a una máquina CNC particular el camino que la herramienta de corte necesita en el orden necesario para producir el relieve.



Todos los comandos de mecanizado se encuentran en la página de las trayectorias, a la que se accede pinchando sobre la pestaña de Trayectorias.

ArtCAM tiene varias opciones de mecanizado incluyendo mecanizado 2D y 3D. Las trayectorias se pueden generar para mecanizar el relieve completo o sólo regiones con un área específica. Se puede elegir entre una amplia variedad de herramientas y se ofrece control total para especificar las dimensiones de la herramienta.

ArtCAM permite la generación de trayectorias múltiples, lo que permite una combinación de diferentes estrategias a usar y un número de pasadas de desbaste a aplicar para eliminar el exceso de material antes de aplicar las pasadas de acabado.

Dependiendo de si su máquina NC tiene cambiador automático de herramientas, ArtCAM Pro le permite generar archivos de trayectoria separadas para cada herramienta o puede poner todas las trayectorias para series de cortadoras en un único archivo grande.

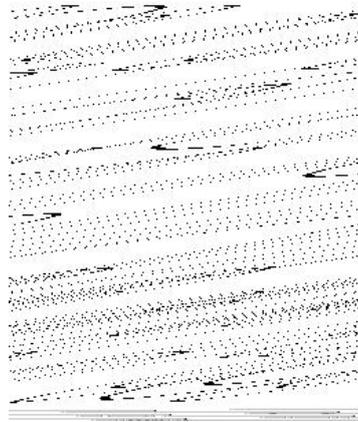
Ejemplo de Mecanizado 3D

Este ejemplo mecaniza el relieve del osito que fue creado en ArtCAM, en varias etapas.

En primer lugar, utilizaremos el botón de Desbaste por Niveles de la barra de Herramientas de Mecanizado para eliminar el exceso de material, después utilizaremos los botones de la Barra de Herramientas de Trayectorias para crear las trayectorias de semiacabado y acabado.

Definiendo el Material

- Utilice el menú Archivo para Cerrar cualquier proyecto en que esté trabajando.
- Abra el modelo Sculpt_Teddy.art en la carpeta Examples\Ted_bear.



El siguiente relieve aparecerá en la Ventana 3D:

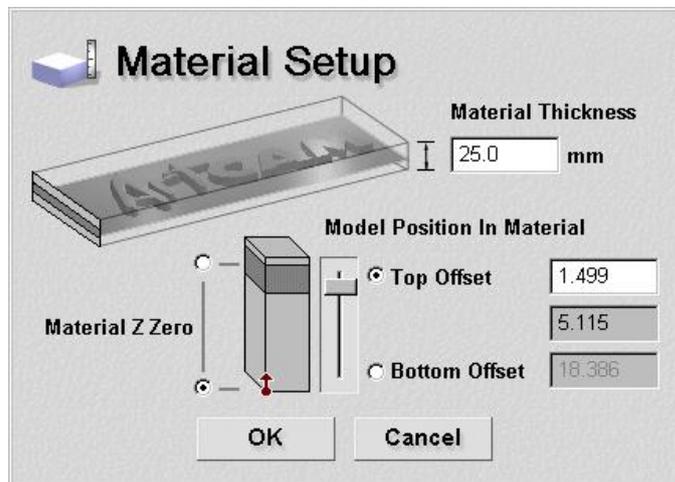
Antes de crear una trayectoria, necesitamos definir el tamaño del bloque, de manera que ArtCAM sepa cuanto material necesita ser mecanizado.

- Seleccione la lengüeta de las Trayectorias
- Haga clic sobre el botón Configurar Material en la página de Trayectorias.



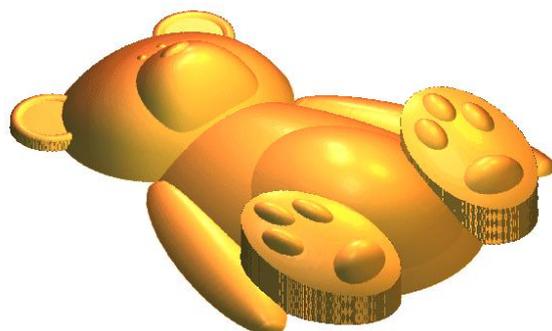
Aparece el cuadro de diálogo Configuración del Material:

Este cuadro le permite definir el tamaño del bloque real y la posición del modelo en el material, de manera que ArtCAM sepa si el material extra se debe mecanizar de la parte superior o si se debe dejar en la parte inferior del relieve.



La Z Cero del Material se debe definir de modo que ArtCAM sepa dónde está el origen de mecanizado. Se puede dar desde el Fondo del Mecanizado o la Parte Superior del Bloque.

- Como la altura del relieve es 5.115mm, configure el Espesor del Material a 6mm.
- Configure Offset Superior a 0.0mm (o arrastre el modelo hasta la parte superior utilizando la barra deslizante).
- Asegúrese de que la Z Cero del Material está definida en la parte superior del bloque.
- Pulse OK.
- Aparecerá un contorno en Rosa, representando el bloque, alrededor de la Vista 3D del relieve.
- Ya estamos listos para crear trayectorias



MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA.

1. No forzar el husillo al momento de cambiar la herramienta y utilizar la herramienta adecuada para este tipo de operación.
2. Desconectar el enchufe de la fuente de energía de la máquina antes de realizar cualquier tipo de ajustes, como cambiar accesorios e implementar herramienta. Estas medidas de seguridad preventivas reducen el riesgo de que la maquina se opere accidentalmente y pueda ocasionar lesiones a quien esté haciendo labores de mantenimiento en ella.
3. No utilizar la máquina si el interruptor no enciende o a apaga. Si la máquina no puede ser controlada con el interruptor es peligrosa, y por consiguiente este debe ser remplazado.
4. Realizar el mantenimiento de la máquina, verificar que no hallan piezas rotas, partes móviles desajustadas, cables desgastados u otras condiciones que puedan afectar el funcionamiento de la fresa, si hay algún daño hay que repararlo antes de poner la maquina en funcionamiento. Esto reduce la probabilidad de un accidente a causa de no haber hecho un mantenimiento previo.
5. Mantener la maquina en un lugar seco en donde se evite permanente mente el contacto con el agua o humedad.
6. Mantener la maquina limpia sin aceite o grasa excepto los accesorios que así lo necesiten como rodamientos ventiladores etc.
7. Si por alguna razón la longitud del conductor de conexión al tomacorriente no es suficiente se recomienda hacer una extensión con un conductor de calibre superior o igual al utilizado previamente para la alimentación eléctrica de la máquina para así evitar posibles pérdidas en la línea.
8. Siempre que se presuma que hay algún tipo de daño electico, verificar las conexiones sin corriente en la línea de alimentación de la máquina.

PROBLEMAS QUE SE PUEDEN PRESENTAR

<i>POSIBLE FALLA</i>	<i>ACCIÓN CORRECTIVA</i>
EL MOTOR NO ARRANCA	
Falso contacto en la instalación	Verificar que todas las conexiones estén bien hechas, en caso contrario evaluarlas corregirlas y aislarlas correctamente.
Interruptor abierto	Asegurarse de que el interruptor no esté abierto o averiado de ser así cambiar el elemento por uno nuevo
Embobinado del motor quemado.	Acudir a un centro especializado en arreglo de motores.
EL MOTOR SE RECALIENTA.	
Posible daño de las escobillas de carbón	Se recomienda revisarlas y en caso de desgaste cambiarlas por unas con la misma especificación técnica de las que se requiera reemplazar.
EL MOTOR ENCIENDE Y APAGA CONTINUAMENTE.	
Bajo voltaje en la línea de alimentación	Calibre inadecuado del conductor, o distancia inadecuada desde la fuente de alimentación. Verificar caídas de tensión.
Corto circuito en la instalación eléctrica.	Localizar el lugar de la falla y repararla.

Corto circuito en el motor.	Acudir a un centro especializado en arreglo de motores.
FALLA EN LA COMUNICACIÓN MAQUINA-PC	
Mala conexión de los cables serial-serial, serial-USB, o puertos de comunicación.	Verificar la conexión de los cables de comunicación.
UNO DE LOS CARROS NO SE DESPLAZA EN SU EJE	
El tornillo del eje esta suelto del acople al motor.	Revisar que el tornillo no esté desajuntado o suelto del acople al motor

GLOSARIO

Automatización: Es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales substituyendo a operadores humanos.

CNC (Control Numérico por Computador): Es 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. Para maquinar una pieza se usa un sistema de coordenadas que especificarán el movimiento de la herramienta de corte.

Fresado: Consiste principalmente en el corte del material que se mecaniza con una herramienta rotativa de varios filos, que se llaman dientes, labios o plaquitas de metal duro, que ejecuta movimientos de avance programados de la mesa de trabajo en casi cualquier dirección de los tres ejes posibles en los que se puede desplazar la mesa donde va fijada la pieza que se mecaniza.

Fresa: Es una herramienta circular, de corte múltiple, usada en máquinas fresadoras para el mecanizado de piezas. Los dientes cortantes de las fresas pueden ser rectilíneos o helicoidales, y de perfil recto o formando un ángulo determinado.

Fresadora: Es una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa. En las fresadoras tradicionales, la pieza se desplaza acercando las zonas a mecanizar a la herramienta, permitiendo obtener formas diversas, desde superficies planas a otras más complejas.

Husillo: Es una parte de la fresadora donde se encuentra en el porta herramientas con su respectivo motor para la mecanización de la pieza.

La fuerza de corte: Es un parámetro a tener en cuenta para evitar roturas y deformaciones en la herramienta y en la pieza y para poder calcular la potencia necesaria para efectuar un determinado mecanizado.

La profundidad de corte: Es la profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta.

Máquina Herramienta: Es un tipo de máquina que se utiliza para dar forma a materiales sólidos, principalmente metales. Su característica principal es su falta de movilidad, ya que suelen ser máquinas estacionarias. El moldeado de la pieza se realiza por la eliminación de una parte del material, que se puede realizar por arranque de viruta, por estampado, corte o electroerosión.

Maquinabilidad: Es una propiedad de los materiales que permite comparar la facilidad con que pueden ser mecanizados por arranque de viruta.

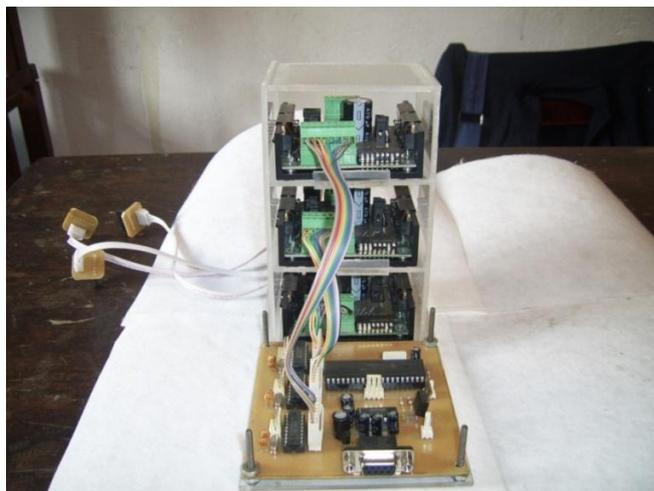
Velocidad de avance: Es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir, la velocidad con la que progresa el corte.

ANEXOS

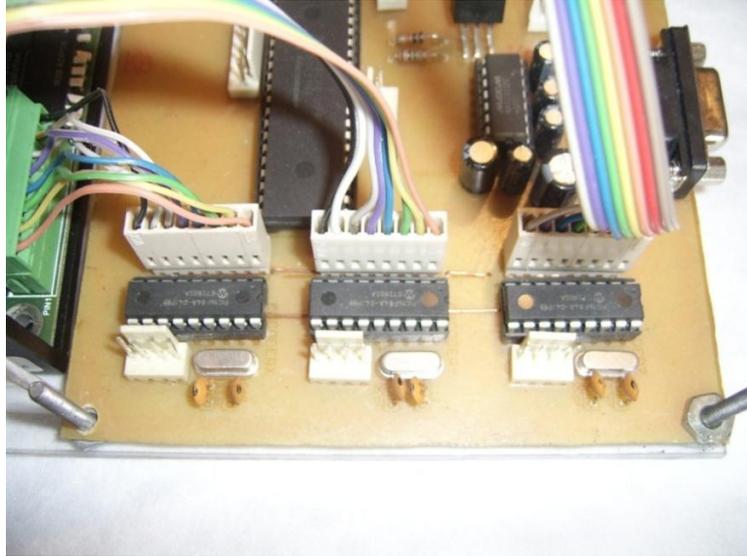
1) FIGURAS:



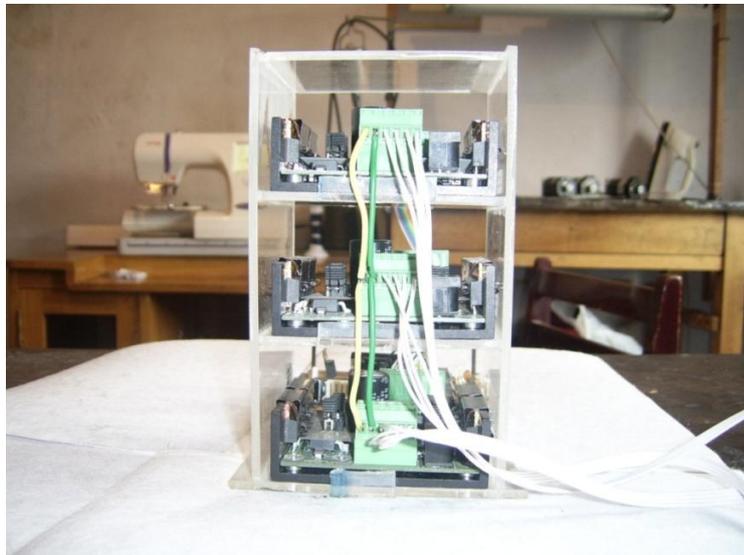
MOTORES PASO A PASO



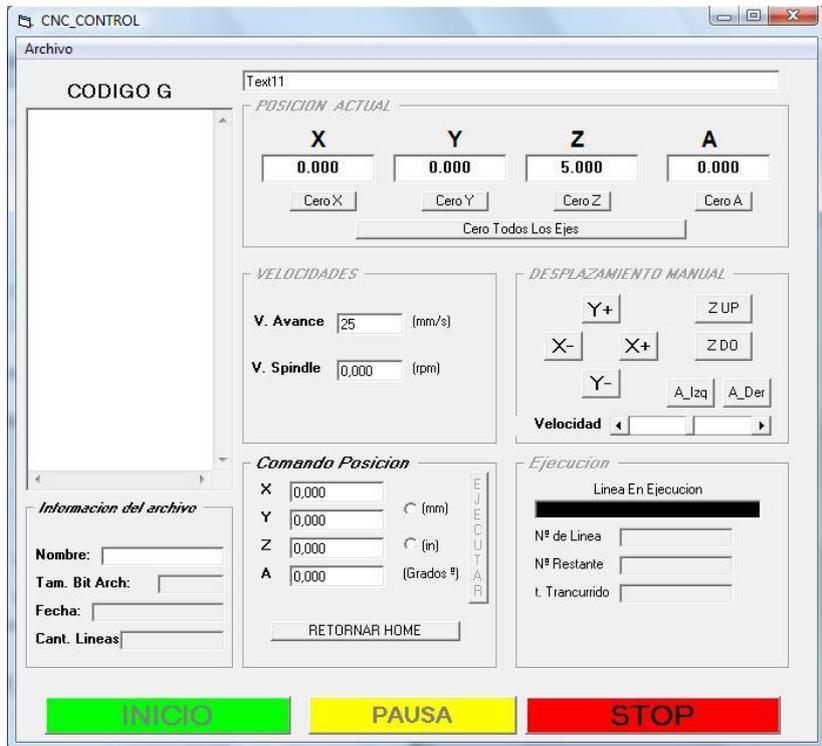
TARJETA DE CONTROL



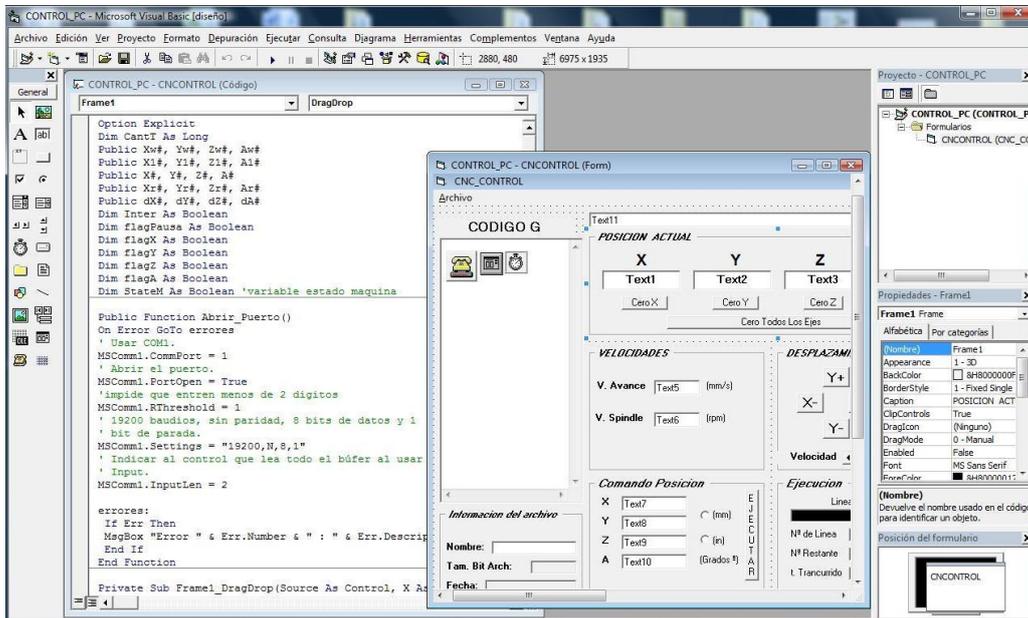
MICROCONTROLADORES DEL CONTROL



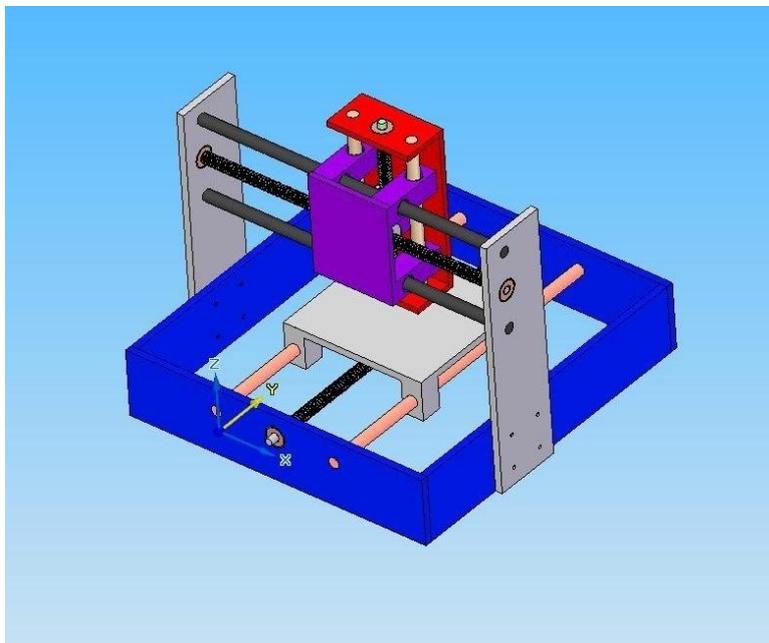
DRIVER DEL SISTEMA DE CONTROL



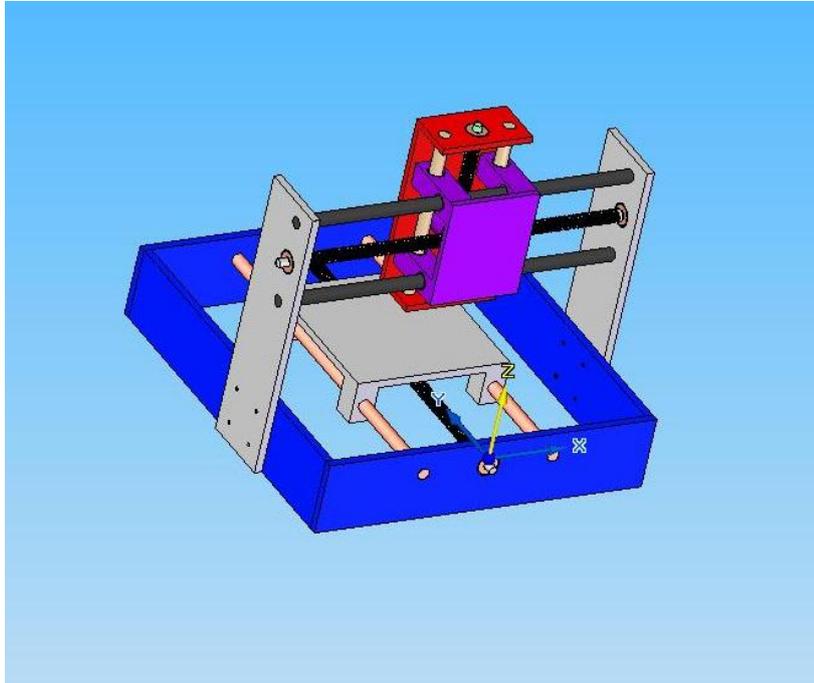
TABLERO DE CONTROL DE LA MAQUINA



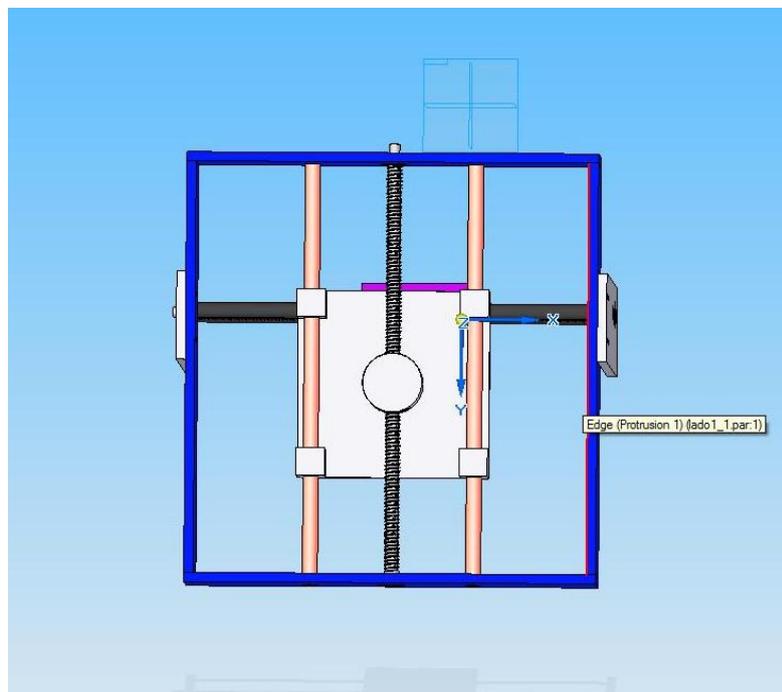
ENTORNO DE VISUAL BASIC PARA EL DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL



DIBUJO EN SOLID EDGE V20 DE LA MAQUINA A LA CUAL SE IMPLEMENTO



DIBUJO EN SOLID EDGE V20 DE LA MAQUINA A LA CUAL SE IMPLEMENTO



DIBUJO EN SOLID EDGE V20 DE LA MAQUINA A LA CUAL SE IMPLEMENTO



MOLDE TERMINADO POR UN PROCESO CNC.

TABLAS:

Tablas revolución, frecuencia y periodo

Dato No.	RPM	Frecuencia (Hz)	Periodo	Periodo (us)	incremento del P
1	10	66,66666667	0,015	15000	0
2	20	133,3333333	0,0075	7500	7500
3	30	200	0,005	5000	2500
4	40	266,6666667	0,00375	3750	1250
5	50	333,3333333	0,003	3000	750
6	60	400	0,0025	2500	500

7	70	466,6666667	0,00214286	2142,857143	357,1428571
8	80	533,3333333	0,001875	1875	267,8571429
9	90	600	0,00166667	1666,666667	208,3333333
10	100	666,6666667	0,0015	1500	166,6666667
11	110	733,3333333	0,00136364	1363,636364	136,3636364
12	120	800	0,00125	1250	113,6363636
13	130	866,6666667	0,00115385	1153,846154	96,15384615
14	140	933,3333333	0,00107143	1071,428571	82,41758242
15	150	1000	0,001	1000	71,42857143
16	160	1066,666667	0,0009375	937,5	62,5
17	170	1133,333333	0,00088235	882,3529412	55,14705882
18	180	1200	0,00083333	833,3333333	49,01960784
19	190	1266,666667	0,00078947	789,4736842	43,85964912
20	200	1333,333333	0,00075	750	39,47368421
21	210	1400	0,00071429	714,2857143	35,71428571
22	220	1466,666667	0,00068182	681,8181818	32,46753247
23	230	1533,333333	0,00065217	652,173913	29,64426877
24	240	1600	0,000625	625	27,17391304
25	250	1666,666667	0,0006	600	25
26	260	1733,333333	0,00057692	576,9230769	23,07692308
27	270	1800	0,00055556	555,5555556	21,36752137
28	280	1866,666667	0,00053571	535,7142857	19,84126984
29	290	1933,333333	0,00051724	517,2413793	18,4729064
30	300	2000	0,0005	500	17,24137931
31	310	2066,666667	0,00048387	483,8709677	16,12903226
32	320	2133,333333	0,00046875	468,75	15,12096774
33	330	2200	0,00045455	454,5454545	14,20454545
34	340	2266,666667	0,00044118	441,1764706	13,36898396
35	350	2333,333333	0,00042857	428,5714286	12,60504202
36	360	2400	0,00041667	416,6666667	11,9047619
37	370	2466,666667	0,00040541	405,4054054	11,26126126
38	380	2533,333333	0,00039474	394,7368421	10,6685633
39	390	2600	0,00038462	384,6153846	10,12145749
40	400	2666,666667	0,000375	375	9,615384615
41	410	2733,333333	0,00036585	365,8536585	9,146341463
42	420	2800	0,00035714	357,1428571	8,710801394
43	430	2866,666667	0,00034884	348,8372093	8,305647841
44	440	2933,333333	0,00034091	340,9090909	7,928118393

45	450	3000	0,00033333	333,3333333	7,575757576
46	460	3066,666667	0,00032609	326,0869565	7,246376812
47	470	3133,333333	0,00031915	319,1489362	6,938020352
48	480	3200	0,0003125	312,5	6,64893617
49	490	3266,666667	0,00030612	306,122449	6,37755102
50	500	3333,333333	0,0003	300	6,12244898
51	510	3400	0,00029412	294,1176471	5,882352941
52	520	3466,666667	0,00028846	288,4615385	5,656108597
53	530	3533,333333	0,00028302	283,0188679	5,442670537
54	540	3600	0,00027778	277,7777778	5,241090147
55	550	3666,666667	0,00027273	272,7272727	5,050505051
56	560	3733,333333	0,00026786	267,8571429	4,87012987
57	570	3800	0,00026316	263,1578947	4,69924812
58	580	3866,666667	0,00025862	258,6206897	4,537205082
59	590	3933,333333	0,00025424	254,2372881	4,38340152
60	600	4000	0,00025	250	4,237288136
61	610	4066,666667	0,0002459	245,9016393	4,098360656
62	620	4133,333333	0,00024194	241,9354839	3,966155473
63	630	4200	0,0002381	238,0952381	3,840245776
64	640	4266,666667	0,00023438	234,375	3,720238095
65	650	4333,333333	0,00023077	230,7692308	3,605769231
66	660	4400	0,00022727	227,2727273	3,496503497
67	670	4466,666667	0,00022388	223,880597	3,392130258
68	680	4533,333333	0,00022059	220,5882353	3,292361721
69	690	4600	0,00021739	217,3913043	3,196930946
70	700	4666,666667	0,00021429	214,2857143	3,105590062
71	710	4733,333333	0,00021127	211,2676056	3,018108652
72	720	4800	0,00020833	208,3333333	2,9342723
73	730	4866,666667	0,00020548	205,4794521	2,853881279
74	740	4933,333333	0,0002027	202,7027027	2,776749352
75	750	5000	0,0002	200	2,702702703
76	760	5066,666667	0,00019737	197,3684211	2,631578947
77	770	5133,333333	0,00019481	194,8051948	2,563226247
78	780	5200	0,00019231	192,3076923	2,497502498
79	790	5266,666667	0,00018987	189,8734177	2,434274586
80	800	5333,333333	0,0001875	187,5	2,373417722
81	810	5400	0,00018519	185,1851852	2,314814815
82	820	5466,666667	0,00018293	182,9268293	2,258355917

83	830	5533,333333	0,00018072	180,7228916	2,203937702
84	840	5600	0,00017857	178,5714286	2,151462995
85	850	5666,666667	0,00017647	176,4705882	2,100840336
86	860	5733,333333	0,00017442	174,4186047	2,051983584
87	870	5800	0,00017241	172,4137931	2,004811548
88	880	5866,666667	0,00017045	170,4545455	1,959247649
89	890	5933,333333	0,00016854	168,5393258	1,915219612
90	900	6000	0,00016667	166,6666667	1,872659176
91	910	6066,666667	0,00016484	164,8351648	1,831501832
92	920	6133,333333	0,00016304	163,0434783	1,791686574
93	930	6200	0,00016129	161,2903226	1,753155568
94	940	6266,666667	0,00015957	159,5744681	1,715854496
95	950	6333,333333	0,00015789	157,8947368	1,679731243
96	960	6400	0,00015625	156,25	1,644736842
97	970	6466,666667	0,00015464	154,6391753	1,610824742
98	980	6533,333333	0,00015306	153,0612245	1,577950768
99	990	6600	0,00015152	151,5151515	1,546072975
100	1000	6666,666667	0,00015	150	1,515151515
101	1010	6733,333333	0,00014851	148,5148515	1,485148515
102	1020	6800	0,00014706	147,0588235	1,456027956
103	1030	6866,666667	0,00014563	145,631068	1,427755568
104	1040	6933,333333	0,00014423	144,2307692	1,40029873
105	1050	7000	0,00014286	142,8571429	1,373626374
106	1060	7066,666667	0,00014151	141,509434	1,347708895
107	1070	7133,333333	0,00014019	140,1869159	1,322518074
108	1080	7200	0,00013889	138,8888889	1,298026999
109	1090	7266,666667	0,00013761	137,6146789	1,27420999
110	1100	7333,333333	0,00013636	136,3636364	1,251042535
111	1110	7400	0,00013514	135,1351351	1,228501229
112	1120	7466,666667	0,00013393	133,9285714	1,206563707
113	1130	7533,333333	0,00013274	132,7433628	1,185208597
114	1140	7600	0,00013158	131,5789474	1,164415463
115	1150	7666,666667	0,00013043	130,4347826	1,14416476
116	1160	7733,333333	0,00012931	129,3103448	1,124437781

2.

Numero	RPM	frecuencia (HZ)	Periodo	set timer
1	15	100,0	0,010000	15535
2	20	133,3	0,007500	28035
3	25	166,7	0,006000	35535
4	30	200,0	0,005000	40535
5	35	233,3	0,004286	44106
6	40	266,7	0,003750	46785
7	45	300,0	0,003333	48868
8	50	333,3	0,003000	50535
9	55	366,7	0,002727	51899
10	60	400,0	0,002500	53035
11	65	433,3	0,002308	53997
12	70	466,7	0,002143	54821
13	75	500,0	0,002000	55535
14	80	533,3	0,001875	56160
15	85	566,7	0,001765	56711
16	90	600,0	0,001667	57202
17	95	633,3	0,001579	57640
18	100	666,7	0,001500	58035
19	105	700,0	0,001429	58392
20	110	733,3	0,001364	58717
21	115	766,7	0,001304	59013
22	120	800,0	0,001250	59285
23	125	833,3	0,001200	59535
24	130	866,7	0,001154	59766
25	135	900,0	0,001111	59979
26	140	933,3	0,001071	60178
27	145	966,7	0,001034	60363
28	150	1000,0	0,001000	60535
29	155	1033,3	0,000968	60696
30	160	1066,7	0,000938	60848
31	165	1100,0	0,000909	60990
32	170	1133,3	0,000882	61123
33	175	1166,7	0,000857	61249
34	180	1200,0	0,000833	61368
35	185	1233,3	0,000811	61481
36	190	1266,7	0,000789	61588

37	195	1300,0	0,000769	61689
38	200	1333,3	0,000750	61785
39	205	1366,7	0,000732	61876
40	210	1400,0	0,000714	61964
41	215	1433,3	0,000698	62047
42	220	1466,7	0,000682	62126
43	225	1500,0	0,000667	62202
44	230	1533,3	0,000652	62274
45	235	1566,7	0,000638	62344
46	240	1600,0	0,000625	62410
47	245	1633,3	0,000612	62474
48	250	1666,7	0,000600	62535
49	255	1700,0	0,000588	62594
50	260	1733,3	0,000577	62650
51	265	1766,7	0,000566	62705
52	270	1800,0	0,000556	62757
53	275	1833,3	0,000545	62808
54	280	1866,7	0,000536	62856
55	285	1900,0	0,000526	62903
56	290	1933,3	0,000517	62949
57	295	1966,7	0,000508	62993
58	300	2000,0	0,000500	63035
59	305	2033,3	0,000492	63076
60	310	2066,7	0,000484	63116
61	315	2100,0	0,000476	63154
62	320	2133,3	0,000469	63191
63	325	2166,7	0,000462	63227
64	330	2200,0	0,000455	63262
65	335	2233,3	0,000448	63296
66	340	2266,7	0,000441	63329
67	345	2300,0	0,000435	63361
68	350	2333,3	0,000429	63392
69	355	2366,7	0,000423	63422
70	360	2400,0	0,000417	63452
71	365	2433,3	0,000411	63480
72	370	2466,7	0,000405	63508
73	375	2500,0	0,000400	63535
74	380	2533,3	0,000395	63561

75	385	2566,7	0,000390	63587
76	390	2600,0	0,000385	63612
77	395	2633,3	0,000380	63636
78	400	2666,7	0,000375	63660
79	405	2700,0	0,000370	63683
80	410	2733,3	0,000366	63706
81	415	2766,7	0,000361	63728
82	420	2800,0	0,000357	63749
83	425	2833,3	0,000353	63770
84	430	2866,7	0,000349	63791
85	435	2900,0	0,000345	63811
86	440	2933,3	0,000341	63830
87	445	2966,7	0,000337	63850
88	450	3000,0	0,000333	63868
89	455	3033,3	0,000330	63887
90	460	3066,7	0,000326	63905
91	465	3100,0	0,000323	63922
92	470	3133,3	0,000319	63939
93	475	3166,7	0,000316	63956
94	480	3200,0	0,000313	63973
95	485	3233,3	0,000309	63989
96	490	3266,7	0,000306	64004
97	495	3300,0	0,000303	64020
98	500	3333,3	0,000300	64035
99	505	3366,7	0,000297	64050
100	510	3400,0	0,000294	64064
101	515	3433,3	0,000291	64079
102	520	3466,7	0,000288	64093
103	525	3500,0	0,000286	64106
104	530	3533,3	0,000283	64120
105	535	3566,7	0,000280	64133
106	540	3600,0	0,000278	64146
107	545	3633,3	0,000275	64159
108	550	3666,7	0,000273	64171
109	555	3700,0	0,000270	64184
110	560	3733,3	0,000268	64196
111	565	3766,7	0,000265	64208
112	570	3800,0	0,000263	64219

113	575	3833,3	0,000261	64231
114	580	3866,7	0,000259	64242
115	585	3900,0	0,000256	64253
116	590	3933,3	0,000254	64264
117	595	3966,7	0,000252	64274
118	600	4000,0	0,000250	64285
119	605	4033,3	0,000248	64295
120	610	4066,7	0,000246	64305
121	615	4100,0	0,000244	64315
122	620	4133,3	0,000242	64325
123	625	4166,7	0,000240	64335
124	630	4200,0	0,000238	64345
125	635	4233,3	0,000236	64354
126	640	4266,7	0,000234	64363
127	645	4300,0	0,000233	64372
128	650	4333,3	0,000231	64381
129	655	4366,7	0,000229	64390
130	660	4400,0	0,000227	64399
131	665	4433,3	0,000226	64407
132	670	4466,7	0,000224	64416
133	675	4500,0	0,000222	64424
134	680	4533,3	0,000221	64432
135	685	4566,7	0,000219	64440
136	690	4600,0	0,000217	64448
137	695	4633,3	0,000216	64456
138	700	4666,7	0,000214	64464
139	705	4700,0	0,000213	64471
140	710	4733,3	0,000211	64479
141	715	4766,7	0,000210	64486
142	720	4800,0	0,000208	64493
143	725	4833,3	0,000207	64501
144	730	4866,7	0,000205	64508
145	735	4900,0	0,000204	64515
146	740	4933,3	0,000203	64521
147	745	4966,7	0,000201	64528
148	750	5000,0	0,000200	64535
149	755	5033,3	0,000199	64542
150	760	5066,7	0,000197	64548

151	765	5100,0	0,000196	64555
152	770	5133,3	0,000195	64561
153	775	5166,7	0,000194	64567
154	780	5200,0	0,000192	64573
155	785	5233,3	0,000191	64580
156	790	5266,7	0,000190	64586
157	795	5300,0	0,000189	64592
158	800	5333,3	0,000188	64598
159	805	5366,7	0,000186	64603
160	810	5400,0	0,000185	64609
161	815	5433,3	0,000184	64615
162	820	5466,7	0,000183	64620
163	825	5500,0	0,000182	64626
164	830	5533,3	0,000181	64631
165	835	5566,7	0,000180	64637
166	840	5600,0	0,000179	64642
167	845	5633,3	0,000178	64647
168	850	5666,7	0,000176	64653
169	855	5700,0	0,000175	64658
170	860	5733,3	0,000174	64663
171	865	5766,7	0,000173	64668
172	870	5800,0	0,000172	64673
173	875	5833,3	0,000171	64678
174	880	5866,7	0,000170	64683
175	885	5900,0	0,000169	64688
176	890	5933,3	0,000169	64692
177	895	5966,7	0,000168	64697
178	900	6000,0	0,000167	64702
179	905	6033,3	0,000166	64706
180	910	6066,7	0,000165	64711
181	915	6100,0	0,000164	64715
182	920	6133,3	0,000163	64720
183	925	6166,7	0,000162	64724
184	930	6200,0	0,000161	64729
185	935	6233,3	0,000160	64733
186	940	6266,7	0,000160	64737
187	945	6300,0	0,000159	64741
188	950	6333,3	0,000158	64746

189	955	6366,7	0,000157	64750
190	960	6400,0	0,000156	64754
191	965	6433,3	0,000155	64758
192	970	6466,7	0,000155	64762
193	975	6500,0	0,000154	64766
194	980	6533,3	0,000153	64770
195	985	6566,7	0,000152	64774
196	990	6600,0	0,000152	64777
197	995	6633,3	0,000151	64781
198	1000	6666,7	0,000150	64785
199	1005	6700,0	0,000149	64789
200	1010	6733,3	0,000149	64792
201	1015	6766,7	0,000148	64796
202	1020	6800,0	0,000147	64800
203	1025	6833,3	0,000146	64803
204	1030	6866,7	0,000146	64807
205	1035	6900,0	0,000145	64810
206	1040	6933,3	0,000144	64814
207	1045	6966,7	0,000144	64817
208	1050	7000,0	0,000143	64821
209	1055	7033,3	0,000142	64824
210	1060	7066,7	0,000142	64827
211	1065	7100,0	0,000141	64831
212	1070	7133,3	0,000140	64834
213	1075	7166,7	0,000140	64837
214	1080	7200,0	0,000139	64841
215	1085	7233,3	0,000138	64844
216	1090	7266,7	0,000138	64847
217	1095	7300,0	0,000137	64850
218	1100	7333,3	0,000136	64853
219	1105	7366,7	0,000136	64856
220	1110	7400,0	0,000135	64859
221	1115	7433,3	0,000135	64862
222	1120	7466,7	0,000134	64865
223	1125	7500,0	0,000133	64868
224	1130	7533,3	0,000133	64871
225	1135	7566,7	0,000132	64874
226	1140	7600,0	0,000132	64877

227	1145	7633,3	0,000131	64880
228	1150	7666,7	0,000130	64883
229	1155	7700,0	0,000130	64886
230	1160	7733,3	0,000129	64888
231	1165	7766,7	0,000129	64891
232	1170	7800,0	0,000128	64894
233	1175	7833,3	0,000128	64897
234	1180	7866,7	0,000127	64899
235	1185	7900,0	0,000127	64902
236	1190	7933,3	0,000126	64905
237	1195	7966,7	0,000126	64907
238	1200	8000,0	0,000125	64910
239	1205	8033,3	0,000124	64913
240	1210	8066,7	0,000124	64915
241	1215	8100,0	0,000123	64918
242	1220	8133,3	0,000123	64920
243	1225	8166,7	0,000122	64923
244	1230	8200,0	0,000122	64925
245	1235	8233,3	0,000121	64928
246	1240	8266,7	0,000121	64930
247	1245	8300,0	0,000120	64933
248	1250	8333,3	0,000120	64935
249	1255	8366,7	0,000120	64937
250	1260	8400,0	0,000119	64940
251	1265	8433,3	0,000119	64942
252	1270	8466,7	0,000118	64944
253	1275	8500,0	0,000118	64947
254	1280	8533,3	0,000117	64949
255	1285	8566,7	0,000117	64951
256	1290	8600,0	0,000116	64954
257	1295	8633,3	0,000116	64956
258	1300	8666,7	0,000115	64958
259	1305	8700,0	0,000115	64960
260	1310	8733,3	0,000115	64962
261	1315	8766,7	0,000114	64965
262	1320	8800,0	0,000114	64967
263	1325	8833,3	0,000113	64969
264	1330	8866,7	0,000113	64971

265	1335	8900,0	0,000112	64973
266	1340	8933,3	0,000112	64975
267	1345	8966,7	0,000112	64977
268	1350	9000,0	0,000111	64979
269	1355	9033,3	0,000111	64981
270	1360	9066,7	0,000110	64984
271	1365	9100,0	0,000110	64986
272	1370	9133,3	0,000109	64988
273	1375	9166,7	0,000109	64990
274	1380	9200,0	0,000109	64992
275	1385	9233,3	0,000108	64993
276	1390	9266,7	0,000108	64995
277	1395	9300,0	0,000108	64997
278	1400	9333,3	0,000107	64999
279	1405	9366,7	0,000107	65001
280	1410	9400,0	0,000106	65003
281	1415	9433,3	0,000106	65005
282	1420	9466,7	0,000106	65007
283	1425	9500,0	0,000105	65009
284	1430	9533,3	0,000105	65011
285	1435	9566,7	0,000105	65012
286	1440	9600,0	0,000104	65014
287	1445	9633,3	0,000104	65016
288	1450	9666,7	0,000103	65018
289	1455	9700,0	0,000103	65020
290	1460	9733,3	0,000103	65021
291	1465	9766,7	0,000102	65023
292	1470	9800,0	0,000102	65025
293	1475	9833,3	0,000102	65027
294	1480	9866,7	0,000101	65028
295	1485	9900,0	0,000101	65030
296	1490	9933,3	0,000101	65032
297	1495	9966,7	0,000100	65033
298	1500	10000,0	0,000100	65035
299	1505	10033,3	0,000100	65037
300	1510	10066,7	0,000099	65038
301	1515	10100,0	0,000099	65040
302	1520	10133,3	0,000099	65042

303	1525	10166,7	0,000098	65043
304	1530	10200,0	0,000098	65045
305	1535	10233,3	0,000098	65046
306	1540	10266,7	0,000097	65048
307	1545	10300,0	0,000097	65050
308	1550	10333,3	0,000097	65051
309	1555	10366,7	0,000096	65053
310	1560	10400,0	0,000096	65054
311	1565	10433,3	0,000096	65056
312	1570	10466,7	0,000096	65057
313	1575	10500,0	0,000095	65059
314	1580	10533,3	0,000095	65060
315	1585	10566,7	0,000095	65062
316	1590	10600,0	0,000094	65063
317	1595	10633,3	0,000094	65065
318	1600	10666,7	0,000094	65066
319	1605	10700,0	0,000093	65068
320	1610	10733,3	0,000093	65069
321	1615	10766,7	0,000093	65071
322	1620	10800,0	0,000093	65072
323	1625	10833,3	0,000092	65073
324	1630	10866,7	0,000092	65075
325	1635	10900,0	0,000092	65076
326	1640	10933,3	0,000091	65078
327	1645	10966,7	0,000091	65079
328	1650	11000,0	0,000091	65080
329	1655	11033,3	0,000091	65082
330	1660	11066,7	0,000090	65083
331	1665	11100,0	0,000090	65085
332	1670	11133,3	0,000090	65086
333	1675	11166,7	0,000090	65087
334	1680	11200,0	0,000089	65089
335	1685	11233,3	0,000089	65090
336	1690	11266,7	0,000089	65091
337	1695	11300,0	0,000088	65093
338	1700	11333,3	0,000088	65094
339	1705	11366,7	0,000088	65095
340	1710	11400,0	0,000088	65096

341	1715	11433,3	0,000087	65098
342	1720	11466,7	0,000087	65099
343	1725	11500,0	0,000087	65100
344	1730	11533,3	0,000087	65101
345	1735	11566,7	0,000086	65103
346	1740	11600,0	0,000086	65104
347	1745	11633,3	0,000086	65105
348	1750	11666,7	0,000086	65106
349	1755	11700,0	0,000085	65108
350	1760	11733,3	0,000085	65109
351	1765	11766,7	0,000085	65110
352	1770	11800,0	0,000085	65111
353	1775	11833,3	0,000085	65112
354	1780	11866,7	0,000084	65114
355	1785	11900,0	0,000084	65115
356	1790	11933,3	0,000084	65116
357	1795	11966,7	0,000084	65117
358	1800	12000,0	0,000083	65118
359	1805	12033,3	0,000083	65119
360	1810	12066,7	0,000083	65121
361	1815	12100,0	0,000083	65122
362	1820	12133,3	0,000082	65123
363	1825	12166,7	0,000082	65124
364	1830	12200,0	0,000082	65125
365	1835	12233,3	0,000082	65126
366	1840	12266,7	0,000082	65127
367	1845	12300,0	0,000081	65128
368	1850	12333,3	0,000081	65130
369	1855	12366,7	0,000081	65131
370	1860	12400,0	0,000081	65132
371	1865	12433,3	0,000080	65133
372	1870	12466,7	0,000080	65134
373	1875	12500,0	0,000080	65135
374	1880	12533,3	0,000080	65136
375	1885	12566,7	0,000080	65137
376	1890	12600,0	0,000079	65138
377	1895	12633,3	0,000079	65139
378	1900	12666,7	0,000079	65140

379	1905	12700,0	0,000079	65141
380	1910	12733,3	0,000079	65142
381	1915	12766,7	0,000078	65143
382	1920	12800,0	0,000078	65144
383	1925	12833,3	0,000078	65145
384	1930	12866,7	0,000078	65146
385	1935	12900,0	0,000078	65147
386	1940	12933,3	0,000077	65148
387	1945	12966,7	0,000077	65149
388	1950	13000,0	0,000077	65150
389	1955	13033,3	0,000077	65151
390	1960	13066,7	0,000077	65152
391	1965	13100,0	0,000076	65153
392	1970	13133,3	0,000076	65154
393	1975	13166,7	0,000076	65155
394	1980	13200,0	0,000076	65156
395	1985	13233,3	0,000076	65157
396	1990	13266,7	0,000075	65158
397	1995	13300,0	0,000075	65159
398	2000	13333,3	0,000075	65160
399	2005	13366,7	0,000075	65161
400	2010	13400,0	0,000075	65162

3) Cuadros

ANALISIS DE COSTOS DE SUB-CONTRATACION

1RA ETAPA (ESCULTOR)

Concepto	X1			X2				
Pieza :	12 x 12			15 x 15				
Tiempo:	8			10				
Costo Total:	\$ 200.000,0	\$ 300.000,0	\$ 500.000,0	\$ 250.000,0	\$ 350.000,0	\$ 550.000,0	\$ 300.000,0	
Calidad:	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Me
Cantidad	1	1	1	1	1	1	1	1

2DA ETAPA (PANTOGRAFICA)

Concepto	X1			X2				
Pieza :	12 x 12			15 x 15				
Tiempo:	8			10				
Costo de Material (Acero)	\$ 100.000,0			\$ 150.000,0				\$
Costo Servicio:	\$ 380.000,0	\$ 400.000,0	\$ 420.000,0	\$ 430.000,0	\$ 450.000,0	\$ 470.000,0	\$ 480.000,0	
Calidad:	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Me
Cantidad Minima	1	1	1	1	1	1	1	1

COSTOS TOTALES (1RA+2DA ETAPA)

Concepto	X1			X2				
Pieza :	12 x 12			15 x 15				
Tiempo:	16			20				
Calidad:	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Me
COSTO MOLDE X UNIDAD	\$ 680.000,0	\$ 800.000,0	\$ 1.020.000,0	\$ 830.000,0	\$ 950.000,0	\$ 1.170.000,0	\$ 980.000,0	\$

Tabla *Costos de Sub-Contratación*

ANALISIS DE COSTOS AUTOMATIZACION									
1RA ETAPA (Inversion)									
Concepto	Valor	Unidad de Medida		PRECIO UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL			
Compra de Maquina Fresadora	\$ 7.000.000,00	Pesos	TORNILLOS	1	\$ 100.000,00	1	100000		
			VARILLA	2	\$ 20.000,00	2	40000		
Materiales de Automatizacion	\$ 3.000.000,00	Pesos	MATERIAL	3	\$ 500.000,00	3	1500000		
Computadora	\$ 1.000.000,00	Pesos	MATERIAL	4	\$ 590.000,00	4	2360000		
Investigacion y Acoplamiento	\$ 8.000.000,00	Pesos	MATERIAL	5	\$ 600.000,00	5	3000000		
Total	\$ 19.000.000,00	Pesos					7000000		
2RA ETAPA (Estudio y Diseño de la Pieza CAD)									
Concepto	X1			X2			X3		
Pieza :	12 x 12			15 x 15			18 x 18		
Tiempo Estudio de Prefactibilidad:	1,00			1,50			2,00		
Calidad:	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
Costo Estudio Tecnico	\$ 33.333,33	\$ 33.333,33	\$ 33.333,33	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00	\$ 66.666,67	\$ 66.666,67	\$ 66.666,67
Cantidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3RA ETAPA (Fabricacion Artisitica x Computadora)									
Concepto	X1			X2			X3		
Pieza :	12 x 12			15 x 15			18 x 18		
Tiempo:	0,03125	0,0625	0,09375	0,03125	0,0625	0,09375	0,03125	0,0625	0,0625
Costo de Material (Acero)	\$ 100.000,0			\$ 150.000,0			\$ 200.000,0		
Costo Mano de Obra x Pieza	\$ 1.041,7	\$ 2.083,3	\$ 3.125,0	\$ 1.041,7	\$ 2.083,3	\$ 3.125,0	\$ 1.041,7	\$ 2.083,3	\$ 2.083,3
Costo Total:	\$ 101.041,7	\$ 102.083,3	\$ 103.125,0	\$ 151.041,7	\$ 152.083,3	\$ 153.125,0	\$ 201.041,7	\$ 202.083,3	\$ 202.083,3
Calidad:	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
Cantidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1
COSTOS FABRICACION (2DA+3RA ETAPA)									
Concepto	X1			X2			X3		
Pieza :	12 x 12			15 x 15			18 x 18		
Tiempo:	1,03	1,06	1,09	1,53	1,56	1,59	2,03	2,06	2,06
Calidad:	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
COSTO MOLDE X UNIDAD SIN INVERCION	\$ 134.375,0	\$ 135.416,7	\$ 136.458,3	\$ 201.041,7	\$ 202.083,3	\$ 203.125,0	\$ 267.708,3	\$ 268.750,0	\$ 268.750,0

Tabla *Costos de Automatización.*

ANALISIS DE COSTOS INGENIERIL				
CONCEPTO	PRECIO UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL	
TORNILLOS	\$ 100.000,00	1	100000	
VARILLA	\$ 20.000,00	2	40000	
MATERIAL	\$ 500.000,00	3	1500000	
MATERIAL	\$ 590.000,00	4	2360000	
MATERIAL	\$ 600.000,00	5	3000000	
			7.000.000,00	
Concepto	Valor	Unidad de Medida		
Compra de Maquina Fresadora	\$ 7.000.000,00	Pesos		
Materiales de Automatizacion	\$ 3.000.000,00	Pesos		
Computadora	\$ 1.000.000,00	Pesos		
Investigacion y Acoplamiento	\$ 8.000.000,00	Pesos		
Total	\$ 19.000.000,00	Pesos		26.000.000,00

Tabla *Costo Ingenieril*

ANALISIS DE COSTOS DE FABRICACION INTERNO									
Concepto	Valores								
	X1			X2			X3		
Costo Mano de Obra	\$ 1.600,00	\$ 2.000,00	\$ 2.400,00	\$ 2.400,00	\$ 2.800,00	\$ 3.200,00	\$ 3.200,00	\$ 3.600,00	\$ 4.000,00
Material	\$ 2.400,00	\$ 3.000,00	\$ 3.600,00	\$ 3.600,00	\$ 4.200,00	\$ 4.800,00	\$ 4.800,00	\$ 5.400,00	\$ 6.000,00
Pieza :	12 x 12			15 x 15			18 x 18		
Tiempo:	16			20			24		
Calidad:	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
Costo Fabricacion	\$ 4.000,00	\$ 5.000,00	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00	\$ 7.000,00	\$ 8.000,00	\$ 8.000,00	\$ 9.000,00	\$ 10.000,00

Tabla *Costos de Fabricación*

PLAN DE AMORTIZACION INVERSION

Prestamo =	\$ 19.000.000,00			
Interes Efectivo Anual =	32,15%			
Interes Efectivo Mensual =	0,0235			
Cuotas =	36			
Valor de la Cuota	787.962,56			
o del Banco Davivienda Tarjeta de Credito Diners Club Inter				
Periodo	Cuota	Intereses	Amortizacion	Saldo
0				\$ 19.000.000,00
1	787.962,56	\$ 446.500,00	341.462,56	18.658.537,44
2	787.962,56	\$ 438.475,63	349.486,93	18.309.050,51
3	787.962,56	\$ 430.262,69	357.699,87	17.951.350,64
4	787.962,56	\$ 421.856,74	366.105,82	17.585.244,82
5	787.962,56	\$ 413.253,25	374.709,30	17.210.535,52
6	787.962,56	\$ 404.447,58	383.514,97	16.827.020,55
7	787.962,56	\$ 395.434,98	392.527,58	16.434.492,97
8	787.962,56	\$ 386.210,58	401.751,97	16.032.741,00
9	787.962,56	\$ 376.769,41	411.193,14	15.621.547,85
10	787.962,56	\$ 367.106,37	420.856,18	15.200.691,67
11	787.962,56	\$ 357.216,25	430.746,30	14.769.945,37
12	787.962,56	\$ 347.093,72	440.868,84	14.329.076,53
13	787.962,56	\$ 336.733,30	451.229,26	13.877.847,27
14	787.962,56	\$ 326.129,41	461.833,15	13.416.014,12
15	787.962,56	\$ 315.276,33	472.686,23	12.943.327,89
16	787.962,56	\$ 304.168,21	483.794,35	12.459.533,54
17	787.962,56	\$ 292.799,04	495.163,52	11.964.370,02
18	787.962,56	\$ 281.162,70	506.799,86	11.457.570,16
19	787.962,56	\$ 269.252,90	518.709,66	10.938.860,50
20	787.962,56	\$ 257.063,22	530.899,34	10.407.961,16
21	787.962,56	\$ 244.587,09	543.375,47	9.864.585,69
22	787.962,56	\$ 231.817,76	556.144,79	9.308.440,90
23	787.962,56	\$ 218.748,36	569.214,20	8.739.226,70
24	787.962,56	\$ 205.371,83	582.590,73	8.156.635,97
25	787.962,56	\$ 191.680,95	596.281,61	7.560.354,36
26	787.962,56	\$ 177.668,33	610.294,23	6.950.060,13
27	787.962,56	\$ 163.326,41	624.636,15	6.325.423,98
28	787.962,56	\$ 148.647,46	639.315,09	5.686.108,89
29	787.962,56	\$ 133.623,56	654.339,00	5.031.769,89
30	787.962,56	\$ 118.246,59	669.715,97	4.362.053,92
31	787.962,56	\$ 102.508,27	685.454,29	3.676.599,63
32	787.962,56	\$ 86.400,09	701.562,47	2.975.037,16
33	787.962,56	\$ 69.913,37	718.049,18	2.256.987,98
34	787.962,56	\$ 53.039,22	734.923,34	1.522.064,64
35	787.962,56	\$ 35.768,52	752.194,04	769.870,60
36	787.962,56	\$ 18.091,96	769.870,60	0,00

Tabla Plan Amortización Inversión.

1RO ESCENARIO PESIMISTA

Concepto	No	Unidad de Medida	Anotaciones				
Minimo de Piezas	200	Unidades a Vender Mensuales	Criterio de aceptacion de Figuras en el año.				
Moldes		1 Pieza					
Bajo la Modalidad de Sub-Contratacion		X1			X2		
Beneficio Esperado	\$ 320.000	\$ 200.000	-\$ 20.000	\$ 170.000	\$ 50.000	-\$ 170.000	\$ 20.000
Bajo la Modalidad de Automatizacion		X1			X2		
Beneficio Esperado	\$ 77.662	\$ 76.621	\$ 75.579	\$ 10.996	\$ 9.954	\$ 8.912	-\$ 55.000

2DO ESCENARIO INTERMEDIO

Concepto	No	Unidad de Medida	Anotaciones				
Moldes		Unidades a Vender Mensuales	Criterio de aceptacion de Figuras en el año.				
		5 Pieza					
Bajo la Modalidad de Sub-Contratacion		X1			X2		
Beneficio Esperado	\$ 1.600.000	\$ 1.000.000	-\$ 100.000	\$ 850.000	\$ 250.000	-\$ 850.000	\$ 100.000
Bajo la Modalidad de Automatizacion		X1			X2		
Beneficio Esperado	\$ 3.540.162	\$ 3.534.954	\$ 3.529.746	\$ 3.206.829	\$ 3.201.621	\$ 3.196.412	\$ 2.873.000

3RO ESCENARIO OPTIMISTA

Concepto	No	Unidad de Medida	Anotaciones				
Minimo de Piezas	5000	Unidades a Vender Mensuales	Criterio de aceptacion de Figuras en el año.				
Moldes		25 Pieza					
Bajo la Modalidad de Sub-Contratacion		X1			X2		
Beneficio Esperado	\$ 8.000.000	\$ 5.000.000	-\$ 500.000	\$ 4.250.000	\$ 1.250.000	-\$ 4.250.000	\$ 500.000
Bajo la Modalidad de Automatizacion		X1			X2		
Beneficio Esperado	\$ 20.852.662	\$ 20.826.621	\$ 20.800.579	\$ 19.185.996	\$ 19.159.954	\$ 19.133.912	\$ 17.519.000

Tabla *Escenarios*.

RATINGS AND CHARACTERISTICS SEE SYSTEM RECOMMENDATIONS AND DATA ON PAGE 87.

Motor parameters and winding data.

Typical Leadwire Motor Model Number	Connection ^①			Holding Torque ^② (2 phases on) oz-in (N-m) ±10%	Rated Current/Phase ^③ (amps DC)	Phase Resistance (ohms) ±10%	Phase Inductance ^④ (mH) Typical	Detent Torque oz-in (N-m)	Thermal Resistance ^⑤ (°C/watt)
	Parallel	Series	Unipolar						
STANDARD P22 SERIES 2 ROTOR STACK									
P22NRFH-LNN-NS-00	●			197 (1.39)	6.5	0.21	0.8	7 (0.049)	4.5
P22NRFH-LNN-NS-00		●		197 (1.39)	3.3	0.84	3.2		
P22NRFH-LNN-NS-00			●	139 (0.98)	4.6	0.42	0.8		
P22NRFB-LNN-NS-00	●			214 (1.51)	4.6	0.38	2.1		
P22NRFB-LNN-NS-00		●		214 (1.51)	2.3	1.52	8.4		
P22NRFB-LNN-NS-00			●	151 (1.07)	3.3	0.76	2.1		

