





SISTEMATIZACIÓN DE FRESADORA DE PIÑÓN RECTO

FERNANDO SIERRA IBÁÑEZ

UNIVERSIDAD EAFIT  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
AREA DE DISEÑO  
MEDELLÍN  
2006

# SISTEMATIZACIÓN DE FRESADORA DE PIÑÓN RECTO

FERNANDO SIERRA IBÁÑEZ

Proyecto de grado.

Asesor:

Iván Darío Arango

Ingeniero

UNIVERSIDAD EAFIT  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ÁREA DE DISEÑO  
MEDELLÍN  
2006

## CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	11
2. ANTECEDENTES	12
3. OBJETO DE ESTUDIO	14
4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
5. JUSTIFICACIÓN	15
6. OBJETIVOS	17
6.1 GENERAL	17
6.2 ESPECÍFICOS	17
6.2.1 Estudio	17
6.2.2 Revisión	17
6.2.3 Manufactura.	18
6.2.4 Electrónica.	18
6.2.5 Software.	18
6.2.6 Ensayos.	18
6.2.7 Conclusiones.	18
7. METODOLOGIA	19
8. ESTADO DEL ARTE	20
8.1 GENERALIDADES	20
8.1.1 Definición Mecatrónica	20
8.1.2 Evolución de la Automatización Industrial y la Mecatrónica	21
8.2 ÁREAS INVOLUCRADAS EN LA SISTEMATIZACIÓN	22
8.3 ELEMENTOS DE ELECTRÓNICA Y CONTROL	23
8.3.1 Sensores	23
8.3.2 Actuadores	24

8.3.3	Motores DC	24
8.3.4	Motores de paso	25
8.3.5	Sistemas encontrados con posible aplicación	25
8.4	ELEMENTOS DE MECÁNICA	25
8.4.1	Variables involucradas en el mecanizado	26
8.4.2	Tipos de fresadoras de piñones	31
8.5	ELEMENTOS DE PROGRAMACIÓN	32
9.	ANÁLISIS DEL ESTADO GENERAL DE LA MÁQUINA	34
9.1	ESTADO DE LA MÁQUINA	34
9.2	REQUERIMIENTOS	34
9.3	ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA MÁQUINA	35
10.	MANUFACTURA	39
10.1	CÁLCULOS	39
10.1.1	Diseño de soportes de motores	39
10.1.2	Diseño de relación de reducción	44
10.2	PLANOS Y FABRICACIÓN DE LOS SOPORTES	44
10.3	PROCESOS DE MANUFACTURA	44
11.	ELECTRONICA	49
11.1	TECNOLOGÍAS ELECTRÓNICAS APLICABLES A LA MÁQUINA	49
11.2	MOTORES DE PASO	49
11.3	CONTROL	50
11.3.1	Sensores	50
11.3.2	Actuadores	52
11.3.3	Subsistemas electrónicos	53
11.4	SECCIÓN DE POTENCIA	56
12.	SOTFWARE	58
12.1.1	Secuencia de Movimientos	58
12.1.2	Estructura del programa	60
12.1.3	Interfaz con el usuario	65
12.1.4	Ejemplo detallado del funcionamiento del programa	67

13.	ENSAYOS	78
14.	RECURSOS UTILIZADOS	81
15.	CONCLUSIONES	86
16.	RECOMENDACIONES	90
17.	ANEXOS	92
18.	BIBLIOGRAFIA	93
18.1	CLÁSICA	93
18.2	INTERNET	94

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Pasos en el fresado de un piñón	12
Figura 2 Ensamble virtual del prototipo actual	13
Figura 3 Los constituyentes de la mecatrónica	20
Figura 4 Fresado de un engranaje por el procedimiento de plato divisor	26
Figura 5 Dirección de Corte relativo	27
Figura 6 Cantidad de viruta	28
Figura 7 Esquema de las reducciones	31
Figura 8 Engranaje de diente recto	32
Figura 9 Par de ruedas dentadas engranando	32
Figura 10 Esquema Máquina-Hardware-Software	33
Figura 11 Caja Negra	36
Figura 12 Estructura funcional	37
Figura 13 Vista frontal	48
Figura 14 Vista Lateral Derecha	48
Figura 15 Vista Lateral Izquierda	48
Figura 16 Ubicación microsuiches	51
Figura 17 Subsistemas electrónicos	54
Figura 18 Tarjeta de inversión giro de motor DC EJE Y	56
Figura 19 Sección de Potencia	57
Figura 20 Diagrama de Gant para el proceso de fresado del piñón	59
Figura 21 Estructura de flujo de datos	61
Figura 22 Control motor X	62
Figura 23 Control motor Y	63
Figura 24 Control motor Z	64

Figura 25 Control Motor AC	64
Figura 26 Interfaz con el Usuario	67
Figura 27 Búsqueda de Home	70
Figura 28 Invoca el programa de acercamiento de la fresa.	70
Figura 29 Interfaz Acercamiento manual	71
Figura 30 Inicio diagrama Gant > Avance del Eje X	72
Figura 31 Recorrido del Eje Y	73
Figura 32 Retroceso del eje X	73
Figura 33 Giro del material de trabajo en el eje Z	74
Figura 34 Movimiento Motor X	75
Figura 35 Movimiento Motor Z	76
Figura 36 Recorrido eje Y	77

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Formulas según el Paso Diametral PITCH	28
Tabla 2 Reducciones posibles de la Máquina	30
Tabla 3 Velocidades permitidas según el material.	31
Tabla 4 Características Geométricas	35
Tabla 5 Análisis del estado de la máquina y las posibles mejoras	38
Tabla 6 Cambios	39
Tabla 7 Cálculo Soporte Z	40
Tabla 8 Cálculo resistencia Z	41
Tabla 9 Cálculo Soporte X	42
Tabla 10 Cálculo Resistencia X	43
Tabla 11 Carta Procesos X	45
Tabla 12 Carta Procesos Z	46
Tabla 13 Carta Procesos Buje	47
Tabla 14 Lista Sensores	52
Tabla 15 Lista de actuadores	53
Tabla 16 Elementos de hardware	55
Tabla 17 Sub VI's o subrutinas	68
Tabla 18 Señal de retorno en el osciloscopio	78
Tabla 19 Lista de partes Utilizadas	81

## 1. INTRODUCCIÓN

Todas las empresas siempre están en la busca de la reducción de costos y en el aumento de la producción, con el ánimo de maximizar las ganancias y mejorar la rentabilidad. Los ingenieros tienen en la mira esta meta en las empresas, por lo cual ellos buscan una solución, y entre otras la sistematización de maquinaria es una excelente alternativa.

La sistematización de maquinaria es una rama de la ingeniería que despierta el interés de muchos ingenieros, por las ventajas que trae consigo. Sistematización de maquinaria es sinónimo de productividad, versatilidad y calidad. Esto es precisamente lo que buscan las empresas. Se reducen los costos de operación porque un sólo operario puede poner a trabajar varias máquinas simultáneamente y aún así su trabajo es mucho más ligero. De esta manera el operario tendrá menos estrés, esto lleva como consecuencia una mente fresca que no cometerá tantos errores. Con una máquina sistematizada el ritmo de trabajo siempre es igual y no depende de la motivación del operario, lo cual optimiza la producción.

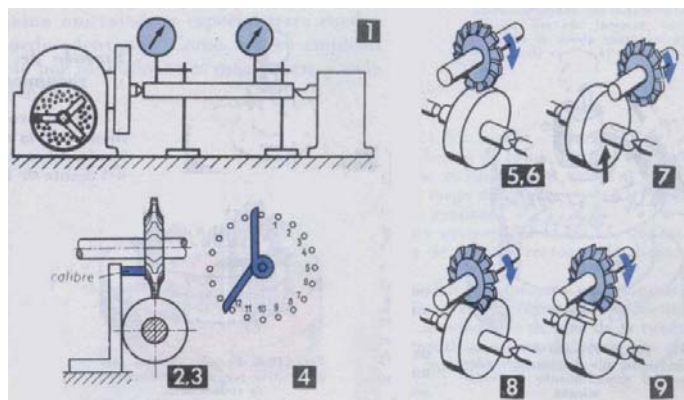
En la materia 'Diseño de máquinas II' se ha fabricado una fresadora de piñones rectos, en la actualidad esta es manual. Esta máquina puede ser mejorada con una sistematización.

(Lab.Mecatrónica, 2006)

## 2. ANTECEDENTES

En la materia de Diseño de Máquinas II los estudiantes de ingeniería mecánica construyeron una fresadora de piñones rectos en el semestre 2005-2. La máquina actualmente es completamente manual. Tiene un eje en el cual se monta el disco que será picado y convertido en piñón. Dicho eje tiene un plato divisor el cual marca el avance de cada diente del piñón (se gira manualmente) (eje Z en adelante). La máquina cuenta con otro eje que es el eje de profundidad de corte, esta distancia es controlada con un tornillo de potencia y un disco con una escala numérica que representa un desplazamiento longitudinal. Este eje es muy importante porque debe acercar la cuchilla al piñón poco a poco medida que otro eje hace que el piñón recorra toda la cuchilla (eje X en adelante). Es entonces cuando se encuentra otro eje, se puede llamar el eje de recorrido, este esta dispuesta de manera vertical y se encarga de picar un diente del piñón a medida que el eje de profundidad avanza hasta la profundidad deseada (eje Y en adelante) (ver figura 2). Créditos

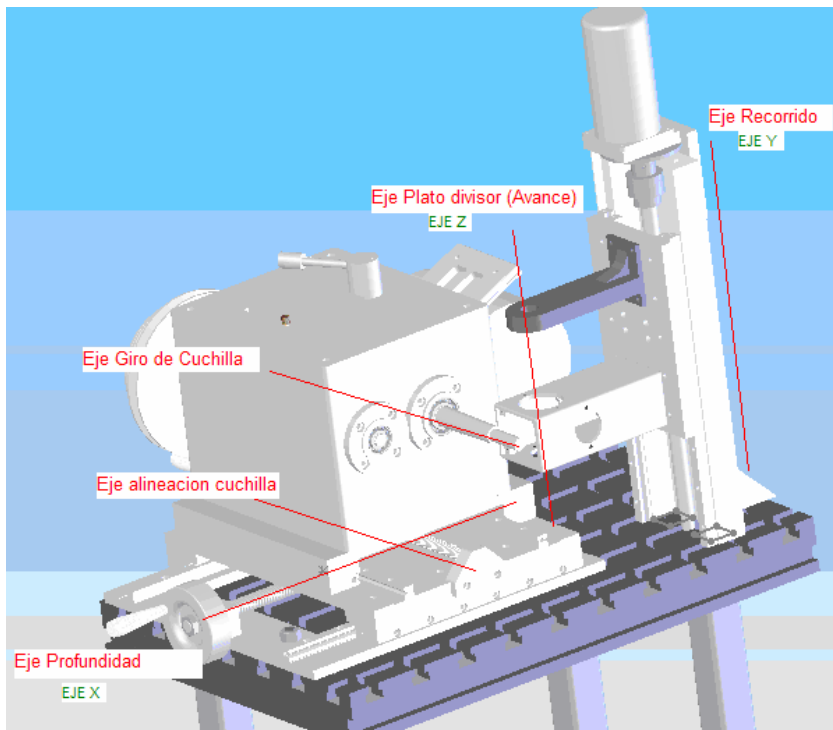
Figura 1 Pasos en el fresado de un piñón



Gerling, 1987,215

La máquina actualmente trabaja y tiene motorizado disco de corte, y el eje 'Y' de recorrido. Se pretende con esta misma máquina sistematizarla motorizando los otros ejes los cuales estarán controlados por una computadora.

Figura 2 Ensamble virtual del prototipo actual



Adaptado de Laboratorio Mecatrónica, 2006

### 3. OBJETO DE ESTUDIO

El Objeto de Estudio es la sistematización de una picadora de piñones rectos con la ayuda de algunas tecnologías ya desarrolladas en el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad EAFIT, buscando que esta trabaje de una manera continua después de un montaje manual, realizado por un operario, hasta que el piñón quede completamente terminado.

### 4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las empresas tienen la necesidad que de contar con máquinas versátiles, que posibiliten una mayor calidad en los productos. Con esto las empresas pueden disminuir costos mejorando así su rendimiento económico. Muchas máquinas requieren de muchos movimientos manuales, y en la mayoría de los casos estas operaciones son cíclicas causando fatiga, desconcentración y falta de motivación en el operario traduciéndose en una producción de mala calidad y con un rendimiento muy disperejo. Con la operación manual se corre el riesgo de obtener una calidad poco uniforme y la productividad también se puede ver seriamente afectada.

## 5. JUSTIFICACIÓN

El mundo actual es bastante inmediatista, cada vez las tecnologías aumentan su velocidad de desarrollo y las empresas requieren de procesos rápidos y precisos. Kotler dice que solo hay dos tipos de empresas: las rápidas y las que se mueren (kotler@). De manera que el que no avanza rápido se muere y en esta carrera se suman los ingenieros que de una manera u otra son claves en una empresa productora de bienes o incluso de servicios. Conociendo la situación actual, los ingenieros deben estar preparados y satisfacer las necesidades de las empresas para poder maximizar la producción minimizando los costos.

La variedad de los conocimientos involucrados en el proyecto aportan bastante a la formación del ingeniero y, principalmente a la relación e integración de diferentes disciplinas. La picadora de piñón recto que se pretende sistematizar será una máquina mecatrónica, es decir involucra mecánica, electrónica, eléctrica, y programación. Es importante ver como se relacionan todas estas disciplinas y conocerlas porque como se dijo, las tecnologías tienen un desarrollo rápido y sin la ayuda de la electrónica no se puede lograr máquinas rápidas y por lo tanto competitivas.

La modelación geométrica en un programa de Diseño Asistido por Computador (CAD) es bastante importante para lograr buenas especificaciones y evitar problemas de ensamble en la máquina, lo que se traduce en ahorro de tiempo. Estos programas son una excelente ayuda y en el ámbito actual de desempeño profesional los ingenieros deben dominar este tipo de herramientas, por su innumerable cantidad de ventajas.

En Colombia el campo de investigación y desarrollo es muy estrecho por lo cual, en general, se recurre a la importación de costosas máquinas. Con este proyecto se pretende mostrar que desarrollar una tecnología propia y/o construir una máquina automática es posible. Los costos pueden ser mucho menores porque precisamente lo más costoso en una máquina es el conocimiento y este se obtiene en el ejercicio como estudiante. Esto empieza a motivar el desarrollo tecnológico en Colombia y la confianza en la ingeniería local. Así se promueve el mercado laboral colombiano como progresista donde los buenos ingenieros del país pueden contribuir al desarrollo económico.

El proyecto resulta beneficioso para diferentes agentes. Primero, los estudiantes de la universidad, ellos necesitan a menudo hacer piñones para sus trabajos lo cual demanda mucho tiempo del estudiante y de los operarios de la universidad. Con esta máquina los estudiantes tienen a su alcance una manera de hacer piñones, fácil y sin mucha demanda de tiempo. Segundo, El Laboratorio de mecatrónica de la Universidad EAFIT (LAMUE en adelante), para complementar uno de sus desarrollos y servir en un futuro a empresas que requieran de este tipo de tecnologías. En conjunto con lo anterior la ingeniería Colombiana también se ve beneficiada ya que es un proyecto que involucra desarrollo y diseño, temas que en el pasado eran tratados con alguna timidez. El Laboratorio de Mecatrónica se ha encargado de enfrentar la investigación y el desarrollo que son campos muy importantes en la ingeniería.

## 6. OBJETIVOS

El planteamiento de objetivos es muy importante en un proyecto porque constituye una guía que mantiene el proyecto con un rumbo determinado.

### 6.1 GENERAL

Sistematizar una picadora de piñones rectos con la ayuda de algunas tecnologías ya desarrolladas en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad EAFIT, buscando que esta trabaje de una manera continua después de un montaje manual, realizado por un operario, hasta que el piñón quede completamente terminado.

### 6.2 ESPECÍFICOS

La manera de alcanzar el objetivo general es planteando una serie de objetivos a corto plazo para tener un mayor control del desarrollo y asegurar que el objetivo general se cumpla.

#### 6.2.1 Estudio

Estudiar las diferentes máquinas fresadoras, tanto sus mecanismos y estructuras como su automatización. Por medio de libros, catálogos, e Internet para poder reunir los mejores conceptos y aplicarlos al proyecto.

#### 6.2.2 Revisión

Revisar la literatura existente de la máquina, como planos, para conocer más a fondo la estructura de la máquina e identificar cualidades y defectos.

### 6.2.3 Manufactura.

Fabricar las piezas necesarias con la ayuda de los laboratorios de metalmecánica de la universidad para poder tener una máquina ajustada

### 6.2.4 Electrónica.

Revisar las tecnologías existentes en el Laboratorio de Mecatrónica para posibles aplicaciones a la fresadora. Fabricar, ensamblar y montar en la máquina.

### 6.2.5 Software.

Programar los controles de la máquina para poder tener una interfaz entre el usuario final y la fresadora.

### 6.2.6 Ensayos.

Probar la máquina, haciendo un piñón, para validar su funcionamiento.

### 6.2.7 Conclusiones.

Concluir sobre los resultados obtenidos y plantear nuevos proyectos de desarrollo de la máquina.

## 7. METODOLOGIA

En primer lugar se realiza un análisis con las técnicas de diseño metódico de cada uno de los subsistemas del equipo. Este análisis permite tener una abstracción funcional de la máquina, lo que incrementa la comprensión de esta. Se establecen e implementan puntos de mejora y estrategias de automatización.

La definición de puntos de mejora, permite determinar cuales son las modificaciones ha realizar en la máquina. Se procede con la producción es decir la fabricación de las piezas necesarias para implementar las mejoras y los elementos propios de la sistematización, como son los motores. Luego se continúa con el ensamble y montaje.

Una vez se han instalado los componentes requeridos para la sistematización y la máquina se ha ensamblado, esta es sometida a una inducción, en donde se pone a punto por medio del ensayo y error. Se le hacen unas pruebas de funcionamiento, es decir, se pone a funcionar y se observara como trabaja. Finalmente se concluye con base en las observaciones de los ensayos y sobre las experiencias a lo largo del proyecto.

## 8. ESTADO DEL ARTE

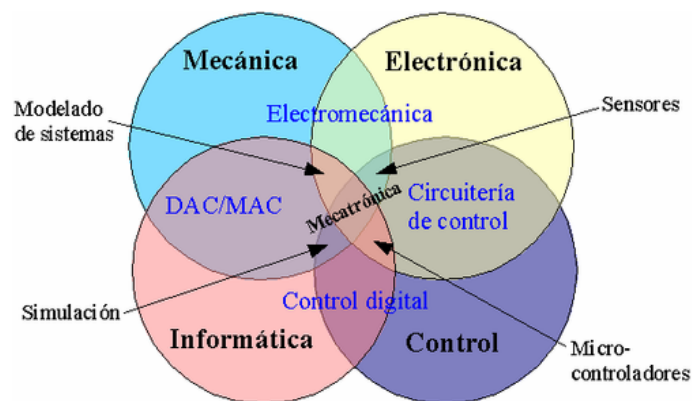
La comprensión del problema a tratar exige contextualizarlo. La meta es sistematizar una máquina herramienta. Este planteamiento está relacionado con distintos aspectos, los cuales son tratados a continuación.

### 8.1 GENERALIDADES

#### 8.1.1 Definición Mecatrónica

La mecatrónica consiste en la integración de las ingenierías mecánica, electrónica e informática. La meta de esta especialización es lograr mayor versatilidad, flexibilidad, fiabilidad y productividad en los sistemas, por medio de la combinación de: mecanismos, componentes electrónicos y módulos de computación. Este campo de ingeniería interdisciplinaria tiene gran utilidad en sistemas híbridos de control como los sistemas de producción, robots, subsistemas automovilísticos y productos de uso diario como cámaras fotográficas y de video, lectoras de discos compactos y máquinas lavadoras.

Figura 3 Los constituyentes de la mecatrónica



Wikipedia@, 2006

### 8.1.2 Evolución de la Automatización Industrial y la Mecatrónica

La palabra mecatrónica es acuñada por el ingeniero Tetsuro Mori trabajador en la compañía japonesa Yaskawa en 1969. Esta resulta de la unión de los vocablos mecánica y electrónica. (Wikipedia@, 2006)

La mecatrónica como combinación de campos de ingeniería aparece cuando estos se desarrollan lo suficiente. Antes se comienza con ciertos automatismos a nivel industrial, es decir con la sustitución de operadores humanos por sistemas controlados. La automatización reduce la necesidad sensorial y mental del ser humano.

Los primeros intentos de automatización consisten en máquinas simples que sustituyen la forma del esfuerzo humano por otra, principalmente elementos para generar ventaja mecánica. Después se cambian formas naturales de energía por otras más elaboradas al desarrollarse la máquina de vapor, los motores de combustión y la electricidad.

La parte más destacada de la mecatrónica es la robótica industrial. Esta presenta ventajas como la repetitividad, mayor rigidez en el control de calidad, eficiencia y productividad. Sin embargo, también posee desventajas como los altos requerimientos de gran capital, una menor flexibilidad y una mayor dependencia de mantenimiento.

La sistematización existe desde un tiempo considerable en una escala pequeña, representada en mecanismos simples para automatizar tareas sencillas de manufactura. Sin embargo, la evolución reciente de computadoras digitales transforma el concepto en algo práctica; ya que su flexibilidad permite manejar muchas tareas. Las computadoras digitales con velocidad de cómputo, precio y tamaño aplicables aparecen después de 1960. (Wikipedia@, 2006)

Las capacidades de control de los seres humanos son en extremo difíciles de superar. Existen muchos trabajos donde aún no se vislumbra la posibilidad de automatización. No hay dispositivos que puedan competir con los sentidos humanos en precisión. Cualquier ser humano puede tener mayor cantidad de percepciones que cualquier sensor electrónico.

Un desarrollo importante en la sistematización son las computadoras especializadas, conocidas como controladores lógicos programables (PLC). Estos son utilizados para sincronizar el flujo de entradas de los sensores con el flujo de salida a los actuadores. Los PLC's y otras computadoras permiten un control estrecho de cualquier proceso industrial por medio del uso de interfaces Hombre – Máquina.

## 8.2 ÁREAS INVOLUCRADAS EN LA SISTEMATIZACIÓN

En primer lugar es muy importante hacer una investigación general de cómo son las tecnologías usadas para sistematizar una máquina de cualquier índole.

En la sistematización de maquinaria se deben tener una serie de secciones y estas se pueden resumir de la siguiente manera: Hardware, Software, y Mecánica. Cada una de estas tres secciones también tienen sus divisiones.

El hardware son todos los dispositivos electrónicos y eléctricos para el control de los motores. En la división de la electrónica se incluyen las fuentes de potencia para alimentar los motores y las tarjetas de control. La electrónica son las tarjetas de control o comúnmente llamados "drivers", y como su definición en inglés es un controlador.

El software es la sección dedicada a la programación e interfaz entre los controladores y el usuario. Debe existir un programa con el cual el usuario

interactúe e introduzca los parámetros requeridos para lograr la máquina trabaje. El programa de interfaz a su vez se comunica con los controladores (drivers) y estos controlan los motores.

La mecánica es la división dedicada a poner en el mejor sitio los motores con sus relaciones de transmisión. Es el último paso que interactúa directamente con lo que se va a manufacturar.

### 8.3 ELEMENTOS DE ELECTRÓNICA Y CONTROL

La electrónica esta conformada por un conjunto de dispositivos que permiten conocer lo que esta sucediendo en el proceso y realizar acciones en el mismo. A través de ciertos circuitos electrónicos, tarjetas de control, se recibe información de los sensores y se influencia las condiciones de operación de los actuadores

#### 8.3.1 Sensores

Un sensor es un dispositivo que detecta, o sensa manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos o químicos. Este transforma la magnitud que se quiere medir en otra con mayor facilidad de medición como lo son pulsos eléctricos (niveles de voltaje o corriente). Existen sensores de distintos tipos, entre los cuales se destacan por su amplia utilización los eléctricos o electrónicos.

En aplicaciones como el presente proyecto son de gran utilidad los microsuiches. Estos sensores tienen dos posiciones y se activan por el contacto, de esta manera pueden informar que algún elemento esta presente. Sus características los hacen apropiados para determinar finales de carrera.

### 8.3.2 Actuadores

Un actuador es un mecanismo por el cual un agente puede influir en su entorno. El actuador es un dispositivo que transforma una señal de entrada en movimiento. En el caso de máquinas herramientas los principales actuadores son motores eléctricos encargados de generar los desplazamientos y el movimiento de la herramienta. A continuación se describen algunas características de los motores eléctricos utilizados en aplicaciones mecatrónicas.

### 8.3.3 Motores DC

El motor eléctrico es un dispositivo electromotriz, esto quiere decir que convierte la energía eléctrica en energía motriz. Todos los motores disponen de un eje de salida para acoplar un engranaje, polea o mecanismo capaz de transmitir el movimiento creado por el motor.

El funcionamiento de un motor se basa en la acción de campos magnéticos opuestos que hacen girar el rotor (eje interno) en dirección opuesta al estator (imán externo o bobina), con lo que si se sujeta por medio de soportes o bridas la carcasa del motor el rotor con el eje de salida será lo único que gire.

Las condiciones de operación de un motor DC se pueden modificar de acuerdo a los requerimientos. Para cambiar la dirección de giro en un motor de Corriente Continua tan sólo se tiene que invertir la polaridad de la alimentación del motor.

La velocidad de un motor DC se modifica variando su tensión de alimentación con lo que el motor perderá velocidad, pero también perderá par de giro (torque) o para no perder par en el eje de salida se puede hacer un circuito modulador de anchura de pulsos (pwm) con una salida a transistor de más o menos potencia según el motor utilizado. (Robotics@,2006)

#### 8.3.4 Motores de paso

Un motor Paso a Paso (PaP) se diferencia de un motor convencional en que en este se puede posicionar su eje en posiciones fijas o pasos, pudiendo mantener la posición. Esta peculiaridad es debida a la construcción del motor en si, se tiene por un lado el rotor constituido por un imán permanente y por el otro el stator construido por bobinas, al alimentar estas bobinas se atraerá el polo del magnético puesto rotor con respecto al polo generado por la bobina y este permanecerá es esta posición atraído por el campo magnético de la bobina hasta que esta deje de generar el campo magnético y se active otra bobina haciendo avanzar o retroceder el rotor variando los campos magnéticos en torno al eje del motor y haciendo que este gire (Robotics@,2006).

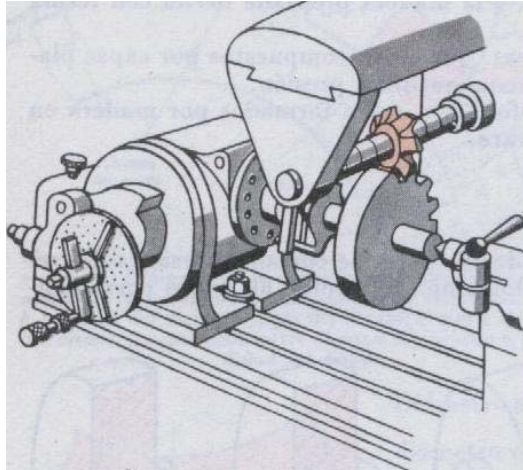
#### 8.3.5 Sistemas encontrados con posible aplicación

En el Laboratorio Factronic (Iván Arango, 2006) ya se tiene desarrollada una tecnología para el control de los motores, esta tecnología clasificaría en la sección de hardware. Esta puede ser aplicada a la máquina teniendo en cuenta algunas modificaciones. El LAMUE también cuenta con algunos motores de Paso a Paso, estos son requeridos y pueden ser empleados en la máquina. Por lo demás se cuenta con muchas herramientas y se deben desarrollar los otros dos aspectos de la sistematización como lo son la mecánica y el software.

### 8.4 ELEMENTOS DE MECÁNICA

El proceso del cual se ocupa el proyecto es el mecanizado. Este requiere de ciertas características del equipo y por eso es importante conocer generalidades de este.

Figura 4 Fresado de un engranaje por el procedimiento de plato divisor



Gerling, 1987,214

#### 8.4.1 Variables involucradas en el mecanizado

El objetivo fundamental en los procesos de manufactura por arranque de viruta es obtener piezas con una configuración geométrica requerida y un acabado específico. La operación consiste en arrancar de la pieza bruta el excedente (mal sobrante) del metal por medio de herramientas de corte y máquinas adecuadas (Rosytora,2006).

Los conceptos principales que intervienen en el proceso son los siguientes: metal sobrante, profundidad de corte, velocidad de avance y velocidad de corte.

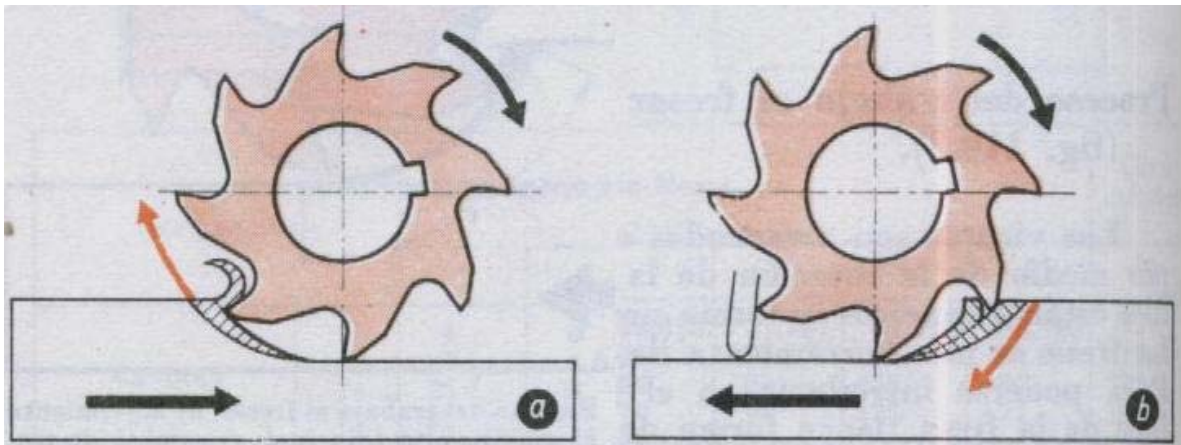
##### 8.4.1.1 Metal sobrante

Es la cantidad de material que debe ser arrancado de la pieza en bruto, hasta conseguir la configuración geométrica y dimensiones, precisión y acabados requeridos. (Rosytora,2006).

##### 8.4.1.2 Cinemática del maquinado

La manera como funciona la maquina para realizar un maquinado es en ocasiones útil de saber. A continuación se muestran dos gráficos en los que se muestran las diferentes maneras de arranque de viruta.

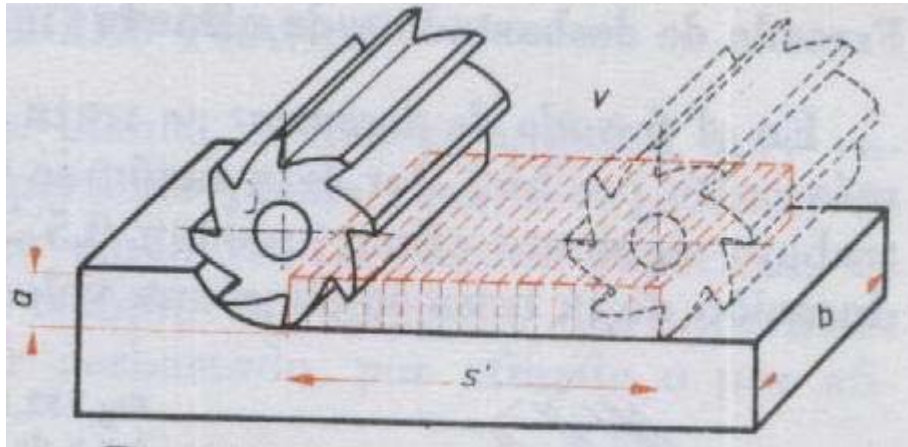
Figura 5 Dirección de Corte relativo



Gerling, 1987, 120

En la figura 5 se ve como hace el corte la fresa en el material de trabajo. El 'a' se conoce mas como a contra dirección y es el mas usado porque la fresa comienza por arrancar la viruta por el lado mas delgado. A diferencia del fresado en paralelo (figura 5 'b') comienza por arrancar la viruta por el lado mas grueso, y adicional a esto tiende a halar la pieza causando que se dañe. (gerling,1987,120)

Figura 6 Cantidad de viruta



Gerling, 1987, 131

#### 8.4.1.3 Profundidad de Corte

Se denomina profundidad de corte a la profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta; generalmente se designa con la letra " t" y se mide en milímetros en sentido perpendicular.

Tabla 1 Formulas según el Paso Diametral PITCH

Para Obtener	Formula
Diametral PITCH P	$P=N/D$
Diámetro exterior O	$O= N+2/P$
Altura total del diente W	$W=2.157/P$

Casillas, 1981,163

#### 8.4.1.4 Velocidad de Avance

Se entiende por avance al movimiento de la herramienta respecto a la pieza o de esta última respecto a la herramienta en un periodo de tiempo determinado.

El avance se designa generalmente por la letra 'S' y se mide en milímetros por una revolución del eje del cabezal o porta-herramienta, y en algunos casos en milímetros por minuto (Rosytor@,2006).

#### 8.4.1.5 Velocidad de Corte

Es la distancia que recorre el filo de corte de la herramienta al pasar en dirección del movimiento principal (Movimiento de Corte) respecto a la superficie que se trabaja: El movimiento que se origina, la velocidad de corte puede ser rotativo o alternativo; en el primer caso, la velocidad de corte o velocidad lineal relativa entre pieza y herramienta corresponde a la velocidad tangencial en la zona que se esta efectuando el desprendimiento de la viruta, es decir, donde entran en contacto la herramienta y la pieza. En el segundo caso, la velocidad relativa en un instante dado es la misma en cualquier punto de la pieza o la herramienta. (Rosytor@,2006)

La siguiente tabla ilustra todas las nueve (9) posibles combinaciones de reducción con las que cuenta la máquina. En esta misma tabla se ilustra en la última columna a manera de ejemplo las velocidades de corte para una fresa de 60mm de diámetro. Si se requiere hacer el calculo para una fresa con diferente diámetro se debe utilizar la siguiente formula.

$$n = \frac{1000 * v}{\pi d}$$

Donde:

n= Numero de revoluciones de la fresa.

v= Velocidad de corte [m/min].

d= Diámetro de la fresa [mm].

(Gerling, 1987, pg130)

El procedimiento es: en primer lugar identificar en la tabla 3 cuales son las velocidades permitidas para el material que se desea maquinar, luego calcular las revoluciones por minuto del eje de la fresa y seleccionar la que más se aproxime en la tabla 2.

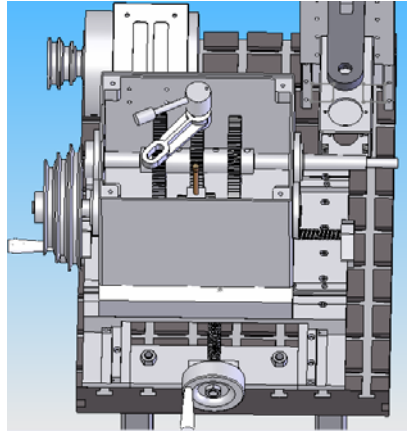
Tabla 2 Reducciones posibles de la Máquina

Reducción 1		Reducción 2		Reducción Total	Velocidad angular de la fresa (RPM)	Velocidad lineal de la fresa en (m/min)
RDP1	1,71	RDE1	3,85	6,56	266,842	50,2985519
RDP1	1,71	RDE2	2,00	3,41	513,158	96,7279843
RDP1	1,71	RDE3	2,69	4,59	381,203	71,8550741
RDP2	3,08	RDE1	3,85	11,83	147,875	27,8737808
RDP2	3,08	RDE2	2,00	6,15	284,375	53,6034247
RDP2	3,08	RDE3	2,69	8,28	211,250	39,8196869
RDP3	7,50	RDE1	3,85	28,85	60,667	11,4353973
RDP3	7,50	RDE2	2,00	15,00	116,667	21,9911486
RDP3	7,50	RDE3	2,69	20,19	86,667	16,3362818
Diámetro de la fresa D=60mm						

Gerling, 1987, modificado pág 130

En la tabla 2 se ven todas las reducciones posibles. La RDP1 es la menor reducción de polea con que está en la parte externa, la RDP2 en la reducción del medio y la RDP3 es la que esta hacia la caja de cambios. En la caja de cambios cuando la palanca esta a la derecha se tiene RDE1, en el centro RDE2 y a la izquierda RDE3. Ver figura como referencia.

Figura 7 Esquema de las reducciones



Lab. Mecatrónica, 2005

Tabla 3 Velocidades permitidas según el material.

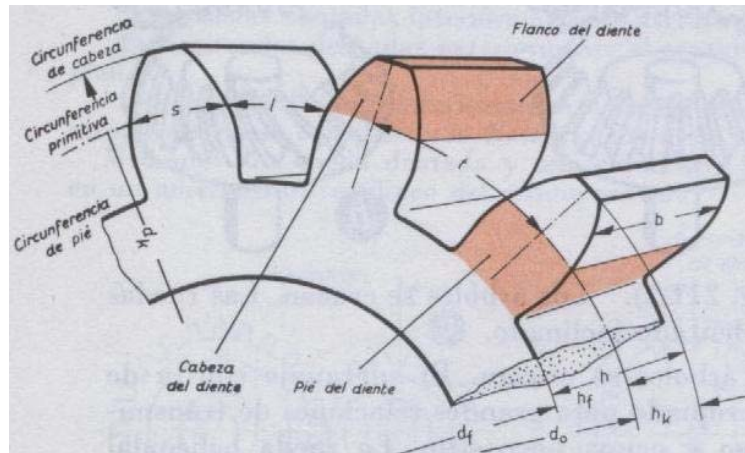
	Desbastado		Afinado	
	v (m/min)	s(mm/min)	v (m/min)	s(mm/min)
Acero sin alea hasta 65kg/mm <sup>2</sup>	18	100	22	40
Latón	36	150	55	75
Metales Ligeros	200	200	250	100
Anchura de la fresa, b=20mm				
Profundidad de corte, a=10mm				

Gerling, 1987,130

#### 8.4.2 Tipos de fresadoras de piñones

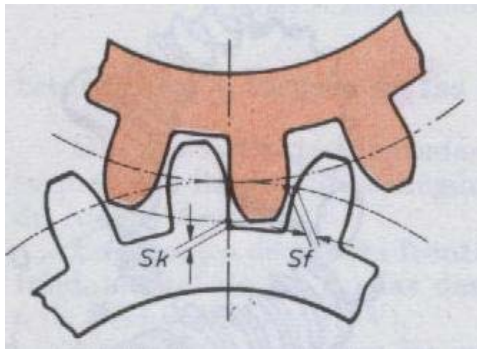
Las fresadoras de piñones se clasifican dependiendo de sus capacidades, y sus capacidades se determinan en cuantos tipos de piñones puede fabricar. Los tipos de piñones lo establecen su tamaño y su geometría, si son helicoidales o de piñón recto, sinfín etc.

Figura 8 Engranaje de diente recto



Gerling, 1987, 212

Figura 9 Par de ruedas dentadas engranando



Gerling, 1987, 212

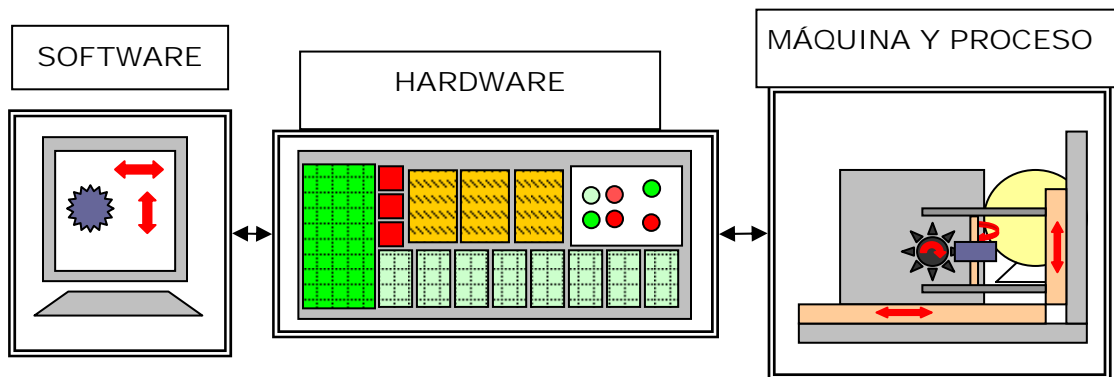
## 8.5 ELEMENTOS DE PROGRAMACIÓN

La programación implica desarrollar de manera modular un conjunto algoritmos los cuales procesan los deseos del usuario y la información proveniente de los sensores; para generar cambios de acción en los actuadores. Los algoritmos están conformados por un conjunto finito de instrucciones. Estas instrucciones se escriben en un lenguaje de programación específico y por medio de la compilación son traducidas a lenguaje de máquina.

En el LAMUE se utiliza LabView para desarrollar el software de control. Este utiliza un lenguaje de programación gráfica de fácil comprensión y con gran flexibilidad, principalmente en el desarrollo de la interfaz con el usuario.

El elemento de programación completa el panorama de la sistematización de una máquina herramienta. Teniendo en cuenta cuales son los requerimientos mínimos para poder desarrollar la meta del proyecto procede a la fase de diseño.

Figura 10 Esquema Máquina-Hardware-Software



## 9. ANÁLISIS DEL ESTADO GENERAL DE LA MÁQUINA

En esta etapa se pretende conocer, de manera más profunda, el funcionamiento de la máquina actual, investigar que información hay existente de la máquina.

### 9.1 ESTADO DE LA MÁQUINA

La máquina fue construida por los estudiantes de la materia de Diseño de máquinas II en el segundo semestre del 2005, utilizando la metodología de ingeniería colaborativa. El resultado de este trabajo es una máquina es completamente manual y con capacidad de hacer un piñón de dientes rectos. La máquina tiene algunas mejoras pendientes como lo son ajustes en el plato divisor y en el eje de avance.

### 9.2 REQUERIMIENTOS

El adecuado desarrollo del proceso de labrado de dientes requiere ciertas características del equipo con el cual se efectúa. El proceso de mecanizado consiste en arrancar material de una pieza utilizando un elemento duro y cortante. Esto significa, que se ven involucradas fuerzas de dimensión tal que generan rompimientos en el material del piñón. Estas fuerzas las recibe la herramienta de corte de manera repetitiva. Para garantizar la precisión en el mecanizado la máquina debe ser sólida, cualidad que posee ya que fue construida sobre un chasis muy robusto lo que le da a la máquina mucha presencia y rigidez.

La precisión también es un requerimiento importante para garantizar la correcta geometría del elemento mecanizado. Se requiere precisión en los movimientos de

ubicación del material y en el proceso de corte. Esta importante cualidad es el resultado de buenos procesos de manufactura que garanticen las tolerancias dimensionales. La máquina tiene una precisión aceptable, aunque requiere de algunas mejoras mecánicas como lo son los ajustes en el plato divisor y en el eje de avance. Estas mejoras no son indispensables para el funcionamiento de la máquina por cual estas mejoras serán tema de un futuro proyecto de grado.

El equipo va a ser utilizado para cortar dientes de piñones de diferentes tamaños en materiales blandos como: aceros de bajo carbono, plásticos y algunos materiales no ferrosos. Estas condiciones de trabajo demandan una flexibilidad moderada. En este aspecto, cuenta con una caja de transmisiones de tres cambios y un juego de poleas de tres posiciones brindando un total de 9 combinaciones para la velocidad de la cuchilla. Además, el eje de la fresa esta adecuado para usar diferentes tamaños.

Las características geométricas de la máquina restringen el tamaño de los engranajes que se pueden manufacturar. Además son importantes en el proceso de automatización para la determinación de los límites de las carreras en cada uno de los ejes.

Tabla 4 Características Geométricas

CARACTERÍSTICA	VALOR	UNIDADES
Carrera eje x	90	mm
Carrera eje y	150	mm
Barrido angular eje z	360°	-----

### 9.3 ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA MÁQUINA

El análisis conceptual de la picadora de piñón recto permite identificar los diferentes subsistemas involucrados y la relación entre ellos. Una abstracción a

nivel conceptual facilita la comprensión del artefacto al eliminar las particularidades físicas.

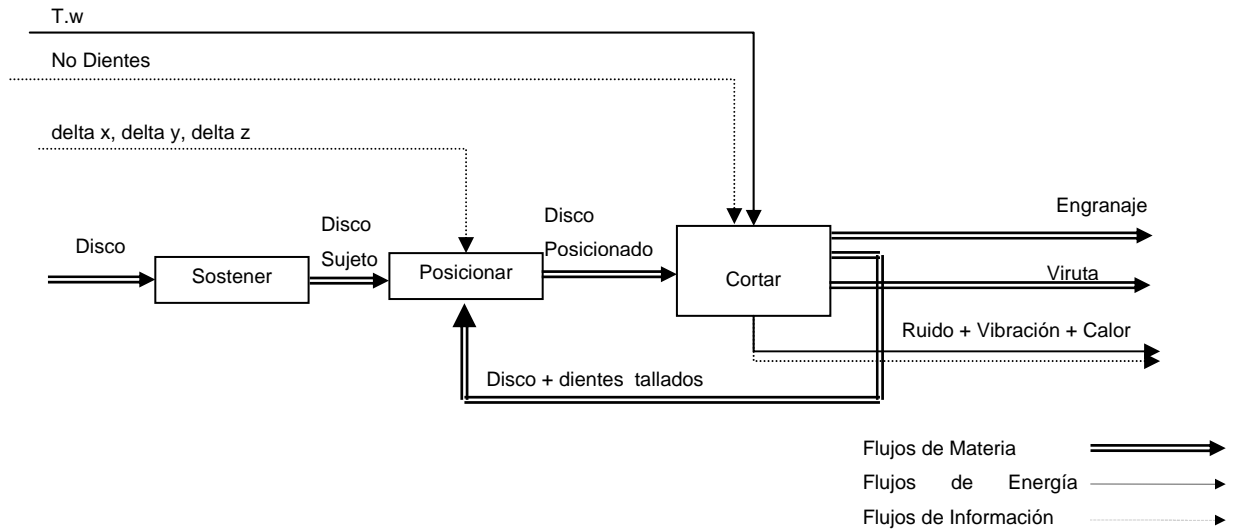
El primer paso es establecer de manera verbal la función de la máquina y las entradas y salidas. La función principal es tallar dientes en el engranaje; tiene como entradas: un disco de material blando, energía eléctrica e información sobre la geometría del elemento a mecanizar; y como salidas: el engranaje, residuos de material y pérdidas de energía en calor y vibraciones.

Figura 11 Caja Negra



La función principal puede desagregarse en subfunciones las representan a los subsistemas. Se cuenta con un subsistema que permite la entrada de la materia al sistema y da estructura al artefacto; este esta asociado a la función “sostener”. Luego de que el disco ha ingresado al sistema debe ser ubicado en una posición tal que permita su mecanizado de acuerdo a parámetros particulares, es decir “posicionar”. Una vez en posición, se debe “cortar” un diente del disco. Las funciones posicionar y cortar se repiten hasta que se hallan labrado todos los dientes.

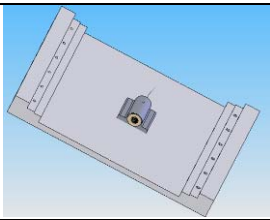
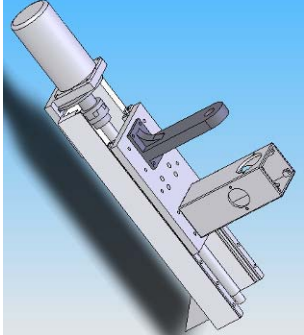
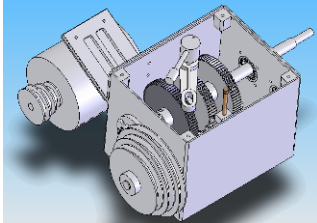
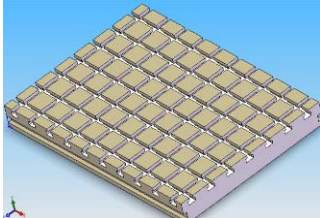
Figura 12 Estructura funcional



El proceso de sistematización de la máquina se enfoca en automatizar el posicionamiento del disco en los tres ejes espaciales. Es por esto que en los subsistemas de desplazamiento en x, desplazamiento en y desplazamiento z se concentran la mayoría de adaptaciones.

El resumen del análisis de sistemas se muestra a continuación en la tabla 5.

Tabla 5 Análisis del estado de la máquina y las posibles mejoras

SISTEMA	IMAGEN	ELEMENTO	CONDICION	PROPUESTA
Desplazamiento en eje x		Transmisión: Tornillo de potencia	Aceptable	Adaptación Motor Paso a Paso. Con reducción de piñón y cadena. Microsuiches fin de carrera
Desplazamiento en eje y		Transmisión: Tornillo de potencia	Aceptable	Adaptación microsuiches fin de carrera
Desplazamiento en eje z		Sin fin - Corona	Aceptable	Adaptación Motor Paso a Paso. Con reducción de piñón y cadena.
Sistema de corte		Reducción de poleas.	Bueno	Adaptación control encendido.
		Caja de cambios.		
		Eje soporte fresa		
		Motor AC		
Estructura		Mesa con ruedas	Excelente	

## 10. MANUFACTURA

El objetivo de esta etapa es manufacturar las piezas mecánicas necesarias para el mejoramiento propuesto de la máquina, es decir: la sistematización. Se requieren fabricar piñones, soportes y ejes, esto lleva consigo algunos cálculos mecánicos.

Tabla 6 Cambios

	Estado Actual	Cambio
Eje de avance en profundidad del diente. Eje X	Manual con una manivela y una escala circular.	Adaptación de Motor Paso a Paso y eliminación del sistema manual.
Eje de giro para el material de trabajo. Eje Z	Manual con manivela y un plato divisor.	Adaptación de Motor Paso a Paso y eliminación del sistema manual.

### 10.1 CÁLCULOS

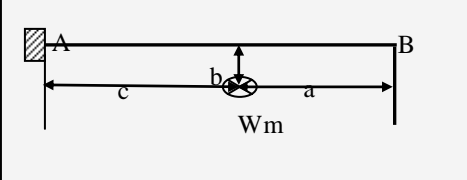
En el momento de hacer un diseño geométrico de alguna pieza se deben calcular para poder garantizar que soportara los esfuerzos a los que esta expuesto.

#### 10.1.1 Diseño de soportes de motores

La máquina requiere de dos motores de Paso a Paso los cuales serán instalados en el eje X y el Eje Z. El eje X es el que regula la profundidad de corte y el Z es el que regula el giro del material de trabajo (el plato divisor en el caso manual). Se

ha calculado el diseño de los soportes para garantizar que soporte el peso del motor. Para eso se utilizo la herramienta de Excel la cual se muestra a continuación.

Tabla 7 Cálculo Soporte Z

				
<b>GEOMETRÍA</b>				
Nombre	Variable	Valor	Unidades	
a		60	mm	
		0,06	m	
b		51,2	mm	
		0,0512	m	
c		20	mm	
		0,02	m	
<b>ESTÁTICA PUNTO B</b>				
Nombre	Variable	Ecuación	Valor	Unidades
Mm	Masa Motor		5	kg
Wb	Peso	$Mm \cdot g$	49	N
Fy	Fuerzas en y	$-W$	-49	N
Mx	Momento en x	$W \cdot b$	2,5088	N.m
Mz	Momento en z	$W \cdot a$	2,94	N.m

Hasta ahora solo se ha calculado la estática del sistema trasladando todas las fuerzas al plano transversal más crítico que en este caso es el 'A'. Luego se procede con el cálculo de la resistencia en el plano transversal donde se ilustran todas las fuerzas trasladadas y el punto mas crítico 'P'.

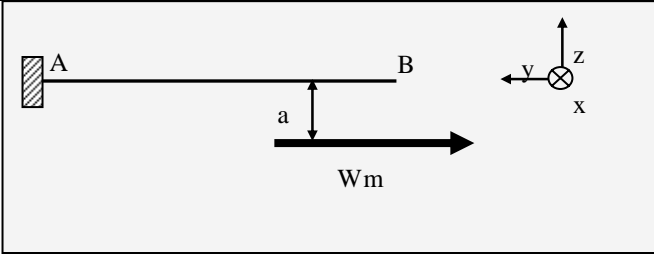
Tabla 8 Cálculo resistencia Z

CÁLCULOS RESISTENCIA				
ESFUERZOS EN B				
Nombre	Variable	Ecuación	Valor	Unidades
t	Espesor		5	mm
			0,005	m
h	Altura Sección transversal		90	mm
			0,09	m
A	Área	$h \cdot t$	0,00045	m <sup>2</sup>
Iz	Inercia en z	$1/12 \cdot t \cdot h^3$	3,0375E-07	m <sup>4</sup>
Iy	Inercia en y	$1/12 \cdot h \cdot t^3$	9,375E-10	m <sup>4</sup>
J	Momento Polar	Iz+Iy	3,04688E-07	m <sup>4</sup>
Sigma	Esfuerzo Normal	$Mz \cdot c / Iz$	435555,5556	Pa
			0,435555556	MPa
Tao	Esfuerzo Cortantes	$W / A + Mx \cdot c / J$	479419,3504	Pa
			0,47941935	MPa
Syp/n		$\sqrt{Sigma^2 + 4 \cdot Tao^2}$	1,053128813	MPa
n	Factor de Seguridad		1,5	
Syp	Esfuerzo Cedencia de Material		1,579693219	MPa

Analizando los resultados se puede comparar que tanto el esfuerzo cortante como el esfuerzo normal están muy por debajo del esfuerzo cedencia del material que en este caso es un acero con 520 MPa de resistencia a la fluencia.

Para calcular el soporte del motor del eje X se sigue el mismo procedimiento utilizado en el cálculo anterior. De nuevo el plano transversal mas critico es el 'A' a donde se trasladan todas las fuerzas por estática.

Tabla 9 Cálculo Soporte X

				
<b>GEOMETRÍA</b>				
Nombre	Variable	Valor	Unidades	
a		70	mm	
		0,07	m	
<b>ESTÁTICA PUNTO B</b>				
Nombre	Variable	Ecuación	Valor	Unidades
Mm	Masa Motor		5	kg
Wb	Peso	$Mm \cdot g$	49	N
Fy	Fuerzas en y	-W	-49	N
Mx	Momento en x	$-W \cdot a$	-3,43	N.m

Se tiene la sección transversal con todas las fuerzas y se procede a calcular la resistencia y en este caso el punto 'P' esta en el extremo superior izquierdo.

Tabla 10 Cálculo Resistencia X

CÁLCULOS RESISTENCIA				
ESFUERZOS EN B				
Nombre	Variable	Ecuación	Valor	Unidades
t	Espesor		5	mm
			0,005	m
h	Altura Sección transversal		90	mm
			0,09	m
A	Área	$h \cdot t$	0,00045	m <sup>2</sup>
Iz	Inercia en z	$1/12 \cdot t \cdot h^3$	3,0375E-07	m <sup>4</sup>
Ix	Inercia en y	$1/12 \cdot h \cdot t^3$	9,375E-10	m <sup>4</sup>
J	Momento Polar	$Iz + Iy$	3,04688E-07	m <sup>4</sup>
Sigma	Esfuerzo Normal	$W/A + Mx \cdot c / Ix$	9255555,556	Pa
			9,255555556	MPa
Syp/n		Sigma	9,255555556	MPa
n	Factor de Seguridad		1,5	
Syp	Esfuerzo Cedencia de Material		13,88333333	MPa

Analizando los resultados se puede comparar que tanto el esfuerzo cortante como el esfuerzo normal están muy por debajo del esfuerzo de cedencia del material que en este caso es un acero con 520 MPa de resistencia a la fluencia.

### 10.1.2 Diseño de relación de reducción

El cálculo de las relaciones de transmisión es bastante crítico mas aún en el eje Z que es el plato divisor porque se debe garantizar que la relación de reducción brinde una vuelta exacta en el eje del plato divisor.

Se tiene un Motor de 200 pasos por revolución por consiguiente se debe calcular una reducción que brinde como mínimo una resolución de 360 pasos por revolución en el eje del plato divisor. Esto se debe a que el plato divisor con el que cuenta la máquina actualmente tiene cuatro líneas de puntos subdivisores y todos son múltiplos de 360. En la línea exterior tiene 60 puntos en la siguientes 45, 30, 15. Todos estos números son múltiplos de 360. Con 360 pasos por revolución no se sacrifica la resolución actual sino por el contrario se tiene 6 veces mas precisión. Entonces para lograr 360 pasos por revolución se requiere de una relación de reducción de 1.8 lo cual se calcula con dividir los pasos requeridos sobre los pasos del motor.

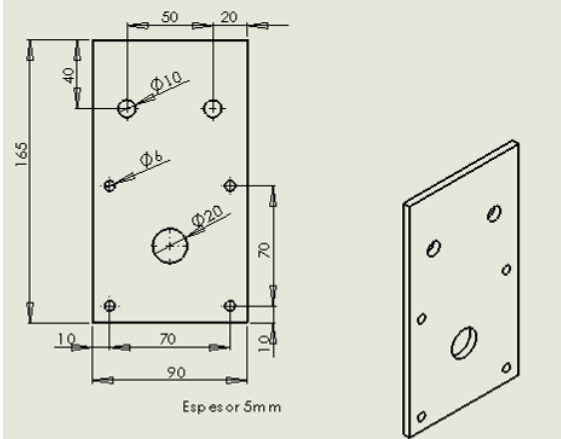
## 10.2 PLANOS Y FABRICACIÓN DE LOS SOPORTES

La fabricación de los soportes fue hecha con la ayuda del laboratorio de modelos de la Universidad EAFIT. Los planos se encuentran anexos al final de trabajo.

## 10.3 PROCESOS DE MANUFACTURA

Es de gran practicidad tener cartas de procesos porque en ellas se aclara que tiene que hacer la persona encargada de la manufactura y de esta manera él puede trabajar más rápido sin tener que entrar a perder tiempo en la determinación de los pasos para el proceso de fabricación.

Tabla 11 Carta Procesos X

Pieza:	Plano:		
SOPORTE MOTOR X			
<b>MANUFACTURA</b>			
OPERACIÓN	PROCESO	HERRAMIENTA	
Cortar platina de 91*166mm	Corte con plasma		
Refrentar caras hasta que la platina se ajuste a las dimensiones: 90*165mm	Fresado	Fresa de acabado superficial.	
2 Perforaciones de D10mm	Taladrado	Broca D10mm	
4 Perforaciones de D6mm	Taladrado	Broca D6mm	
Perforación de D20mm	Taladrado	Broca D20mm	

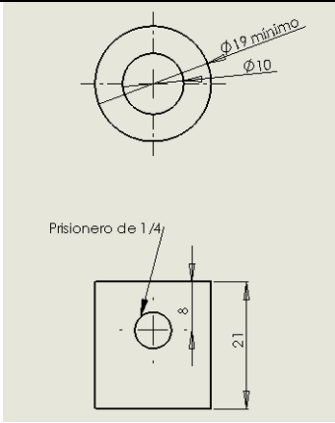
Para la manufactura del siguiente soporte se sigue el procedimiento parecido al anterior.

Tabla 12 Carta Procesos Z

Pieza:	Plano:	
SOPORTE MOTOR Z		
MANUFACTURA		
OPERACIÓN	PROCESO	HERRAMIENTA
Cortar platina de 141*91mm	Corte con plasma	
Refrentar caras hasta que la platina se ajuste a las dimensiones: 140*90mm	Fresado	Fresa de acabado superficial.
4 Perforaciones de D7mm	Taladrado	Broca D7mm
Cortar platina de 96*91mm	Corte con plasma	
Refrentar caras hasta que la platina se ajuste a las dimensiones: 95*90mm	Fresado	Fresa de acabado superficial.
4 Perforaciones de D6mm	Taladrado	Broca D6mm
Perforación de D20mm	Taladrado	Broca D20mm
Soldar ambas platinas formando un ángulo de 90°	Soldadura Eléctrica	Soldador

En la siguiente tabla se ilustra el proceso manufactura para un buje. Se muestra con un ejemplo pero el mismo procedimiento puede ser utilizado para cualquiera de los otros bujes requeridos en el trabajo.

Tabla 13 Carta Procesos Buje

Pieza:	Plano:	
BUJE		
<b>MANUFACTURA</b>		
<b>OPERACIÓN</b>	<b>PROCESO</b>	<b>HERRAMIENTA</b>
Cortar barra de sección circular. D 3/4" L22mm	Corte segueta	Segueta
Refrentar para longitud de 22mm	Torneado, Refrentado	Buril.
Ajuste de diámetro exterior	Torneado, Cilindrado	Buril.
Perforación D10mm. Ajuste de diámetro interior	Taladrado en torno	Broca D10mm
Perforación radial de D3/16"	Taladrado	Broca D3/16"
Roscar perforación 1/4"	Roscado	Machuelo 1/4"

Las partes manufacturadas se instalan en la fresadora para piñón recto, junto con motores de paso y los sensores de fin de carrera. Las siguientes imágenes muestran el equipo con las modificaciones.

Figura 13 Vista frontal

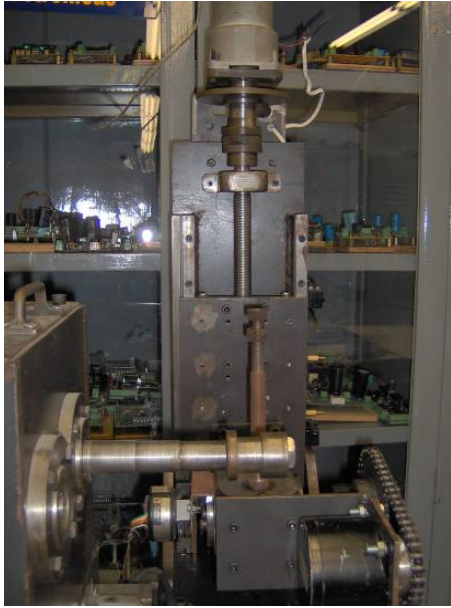
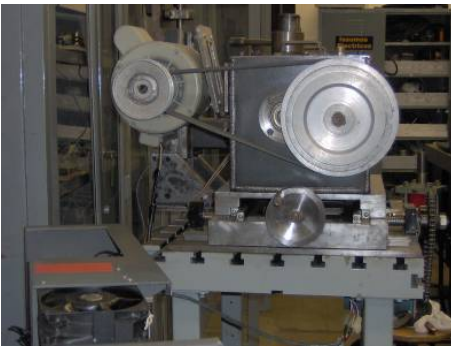


Figura 14 Vista Lateral Derecha



Figura 15 Vista Lateral Izquierda



## 11. ELECTRONICA

La eléctrica en este proyecto es fundamental ya que se trata de conseguir una máquina sistematizada que requiere de movimientos artificiales los cuales pueden ser suplidos con motores eléctricos Paso a Paso. La electrónica también es fundamental para el control de los motores la programación y demás funciones para lograr una correcta sistematización. Con la ayuda del Laboratorio de Mecatrónica EAFIT y sus tecnologías desarrolladas se obtiene lo siguiente.

### 11.1 TECNOLOGÍAS ELECTRÓNICAS APLICABLES A LA MÁQUINA

Factronic propiedad de Iván Arango tiene desarrollada una tecnología para el control de los motores Paso a Paso. Esta puede ser aplicada a la máquina teniendo en cuenta algunas modificaciones. La tarjeta esta diseñada para manejar tres ejes y por ende tres motores de Paso a Paso. Para la necesidad de este proyecto solo se requieren dos motores Paso a Paso y uno DC, teniendo que modificar un control de un motor.

El uso de encoders es muy común para retroalimentar la posición del motor con los cuales también se cuenta en LAMUE. En este caso no se utilizan los encoders ya que cuando el torque del motor es mayor que el torque requerido se asume que el motor no tiene atranques y avanza lo especificado.

### 11.2 MOTORES DE PASO

El LAMUE tiene motores de Paso a Paso que serán utilizados en la máquina. Uno de ellos es de 144 pasos por revolución y el otro es de 200 pasos por revolución.

También se utilizara un motor DC que ya esta en la máquina. El motor de 200 pasos por revolución esta reservado para utilizarlo en el eje Z, y el de 144 pasos por revolución esta reservado para el eje X.

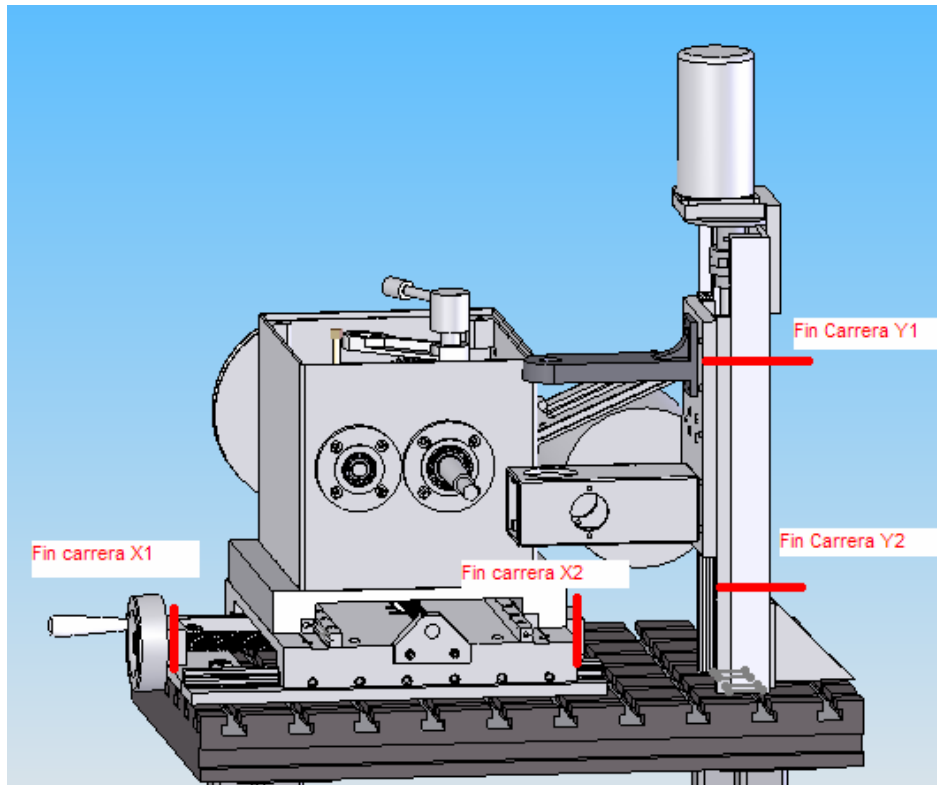
### 11.3 CONTROL

El control principal lo brinda el usuario a través del software, el software controla los motores y el sistema se retroalimenta con microsuiches.

#### 11.3.1 Sensores




La información sobre el estado del proceso de fresado es detectada por medio de los sensores. Estos detectan fenómenos físicos durante el proceso, principalmente los fines de carrera en cada uno de los ejes. En la máquina se instalan cuatro microsuiches de fin de carrera, como esquematiza la figura 16.

Figura 16 Ubicación microsuiches



Laboratorio Mecatrónica,2005

Tabla 14 Lista Sensores

EJE	SENSOR	IMAGEN
Eje X	Fin de carrera X1 (Microsuiche)	
	Fin de carrera X2 (Microsuiche)	
Eje Y	Fin de carrera Y1 (Microsuiche)	
	Fin de carrera Y2 (Microsuiche)	

### 11.3.2 Actuadores

Se debe tener identificado cuantos y cuales son los actuadores que posee la máquina y para ello se desarrollo la siguiente tabla donde se ve de manera clara los actuadores utilizados.

Tabla 15 Lista de actuadores

ACTUADOR	DESCRIPCION
Motor eje x	Motor Paso a Paso: Torque: 120 oz.pulg Resolución: 144pasos/rev Corriente: 4 A Voltaje: 5V
Motor eje z	Motor Paso a Paso: Torque: 90 oz.pulg Resolución: 200pasos/rev Corriente: 4 A Voltaje: 5V
Motor eje y	Motor DC: Corriente: 2 A Voltaje: 24 V
Motor de corte	Motor AC: Potencia: 0.333hp Voltaje: 110V

### 11.3.3 Subsistemas electrónicos

Los elementos del hardware y su disposición se muestran a continuación.

Figura 17 Subsistemas electrónicos

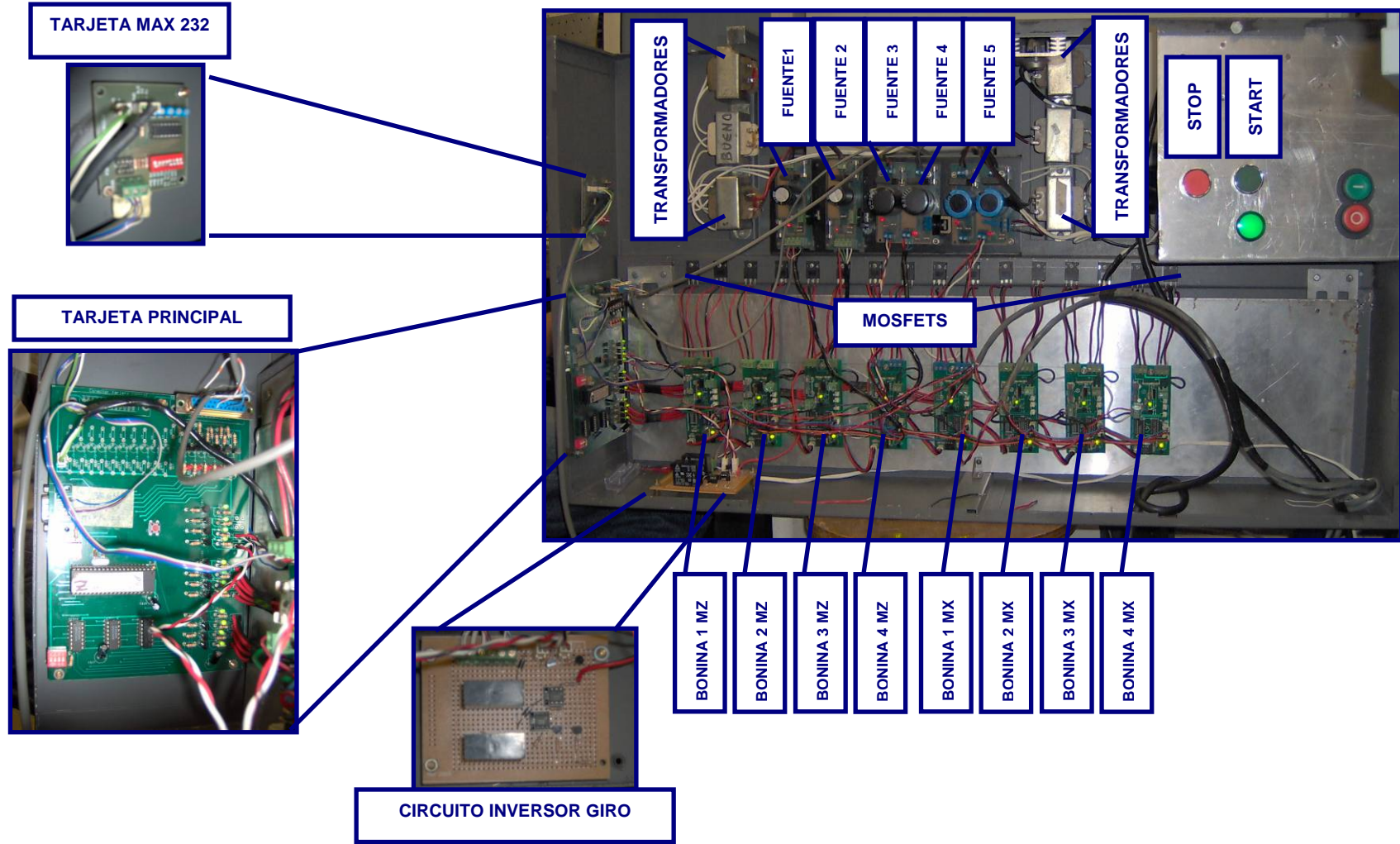
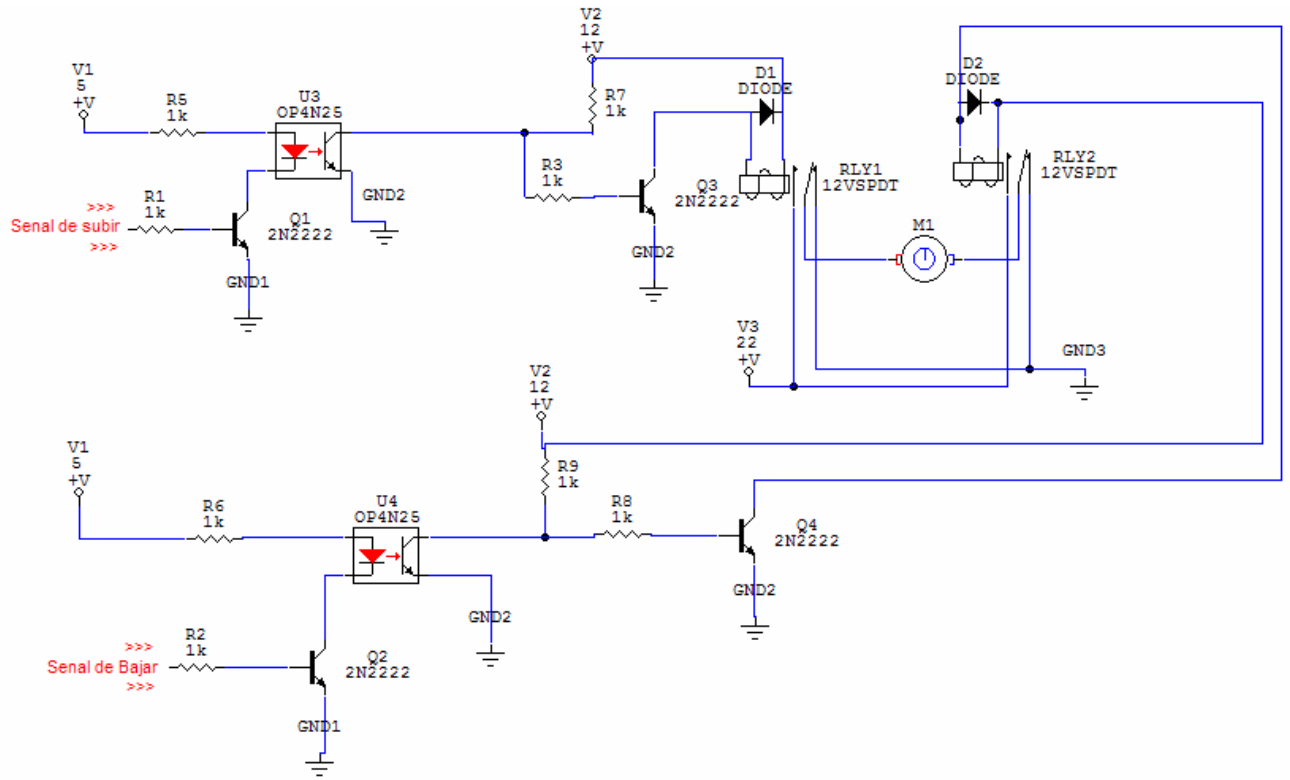


Tabla 16 Elementos de hardware

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN / FUNCIÓN
Tarjeta Max 232	Conversión Formato serial
Tarjeta Principal	Microcontrolador 16F877A Entrada: Microsuiches Salida: Instrucciones control motores a tarjetas bobinas.
Tarjetas Bobinas Motores	Control de cada una de las bobinas del motor. 4 tarjetas motor X, 4 tarjetas motor Z
Tarjeta Inversor Giro Motor DC	Inversión de giro del motor del eje y.
Fuente 1	Suministro energía a las tarjetas que controlan las bobinas de los motores. Corriente: 2 A, Voltaje: 12 V
Fuente 2	Suministro energía a la tarjeta Max 232 y a la tarjeta principal. Corriente: 2 A, Voltaje: 5 V
Fuente 3	Suministro energía al motor DC (Motor Y) Corriente: 2 A, Voltaje: 22 V
Fuente 4	Activación / Desactivación de los 16 mosfets. Corriente: 2 A, Voltaje: 18 V
Fuente 5	Suministro energía motores Paso a Paso (Motor X y Motor Z). Corriente: 4 A, Voltaje: 5.5 V
Interruptores START/STOP principales	Encendido / Apagado de la máquina.
Interruptores START/STOP motor AC	Encendido / Apagado del motor de corte de corriente alterna

El diseño general de la tarjeta para control de motor DC en el eje y se muestra en la figura18.

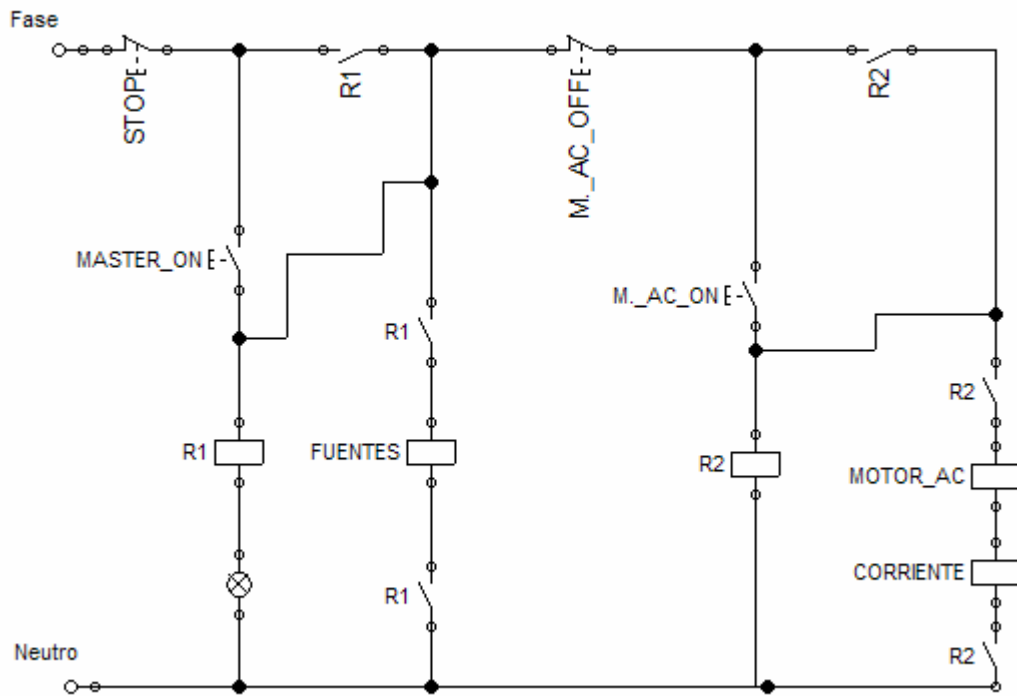
Figura 18 Tarjeta de inversión giro de motor DC EJE Y



#### 11.4 SECCIÓN DE POTENCIA

La sección de potencia es fundamental para el funcionamiento de la máquina, pues es la que le suministra la energía necesaria para el funcionamiento de la máquina y sus motores. Se compone de un circuito de AC, transformadores y fuentes DC. (figura 19)

Figura 19 Sección de Potencia



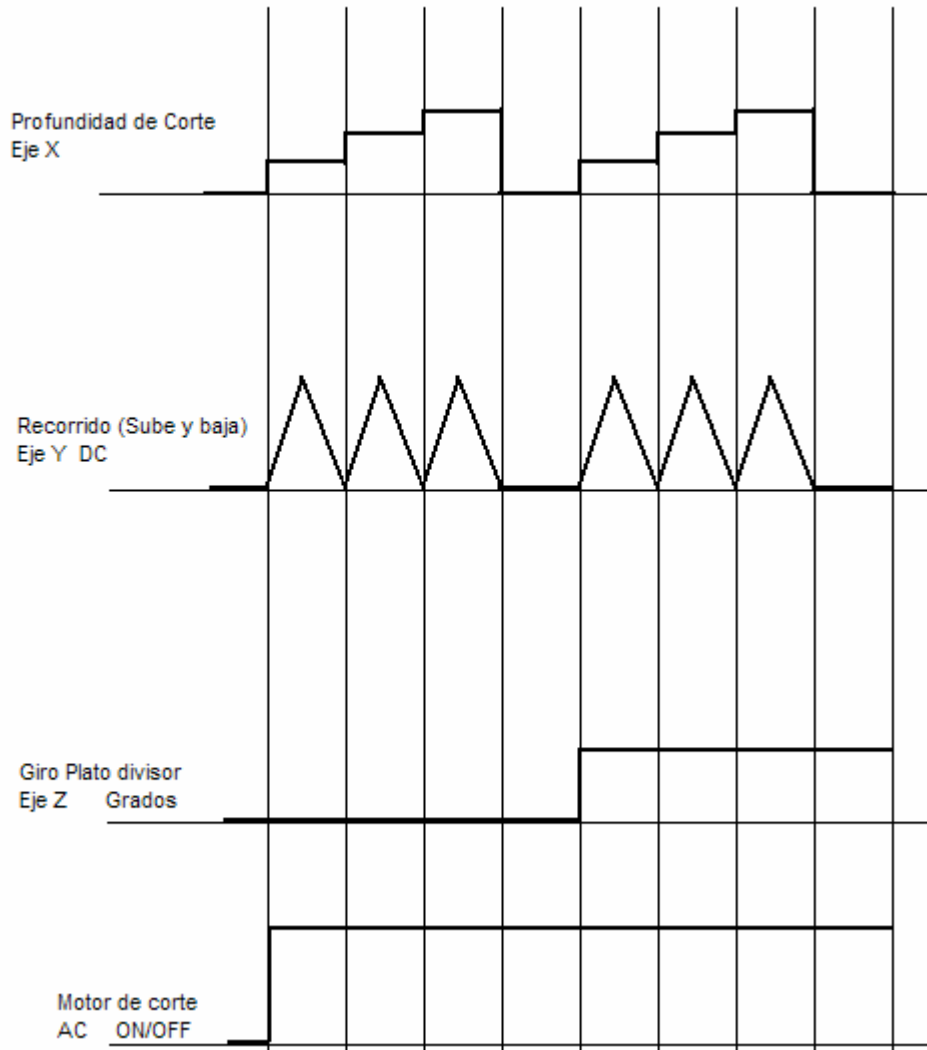
## 12. SOTFWARE

El desarrollo del software es muy importante pues sin el no hay una interfaz entre el usuario y la máquina. Con un software en LabView se pretende controlar la máquina y manejar todos los parámetros necesarios en el momento de pretender fabricar un piñón.

### 12.1.1 Secuencia de Movimientos

Para el desarrollo del software se requiere tener presente cual es la secuencia de movimientos que debe hacer la máquina para fabricar un piñón. Primero se acerca el eje de corte luego baja y sube el eje con el material de trabajo, luego se aleja el eje de corte y gira el eje con el material de trabajo y comienza de nuevo. A continuación se discute de una manera gráfica:

Figura 20 Diagrama de Gant para el proceso de fresado del piñón



En la figura 20 se tienen presente los cuatro actuadores que en este caso todos son motores. El eje de profundidad de corte X es el encargado de acercar cada vez más la fresa de corte al material de trabajo. En este caso se ilustra para cuando se requiere espaciar en tres partes la profundidad del corte. Es por eso que se ve escalonado en tres etapas y luego baja. Dependiendo del tamaño del piñón y del material se requieren más o menos pasadas.

El eje de recorrido “Y”, que sube y baja pasando el material de trabajo por la fresa de corte, es dependiente del eje X. Cada ocasión en la que el eje X se acerque el eje Y tiene que subir y bajar.

El giro del plato divisor, eje Z aumenta cuando el eje X retrocede luego de haber hecho las tres pasadas. Este grado de giro aumenta hasta completar una vuelta completa y es allí donde el trabajo de la máquina termina su labor para la fabricación de un piñón.

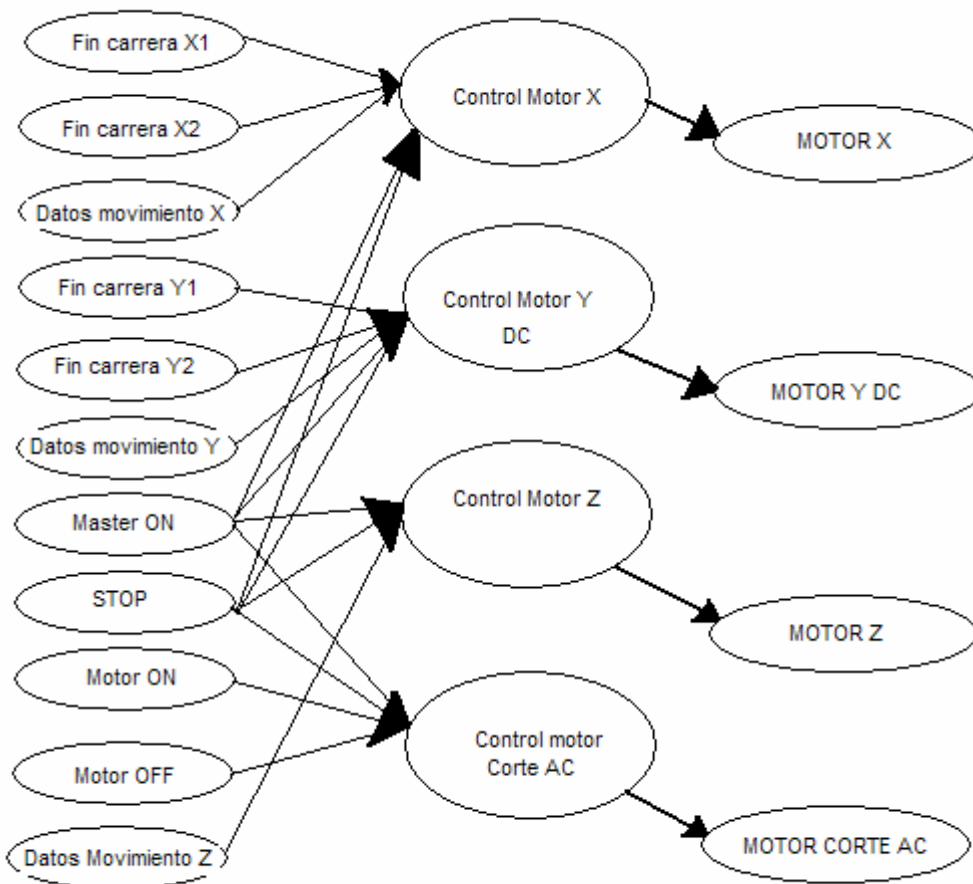
El eje de corte simplemente esta prendido o apagado. En este caso permanece prendido durante todo el proceso de mecanizado del engranaje en la máquina.

Solo se ilustran dos ciclos completos en la figura 20, cada uno de ellos representando el maquinado de un diente del piñón por lo cual se deberá repetir esta operación tantas veces como dientes se requieran.

#### 12.1.2 Estructura del programa

En primer lugar se debe definir un flujo de datos teniendo en cuenta que señales se tienen y para que son. A continuación se tiene muestra un diagrama de flujo de datos:

Figura 21 Estructura de flujo de datos



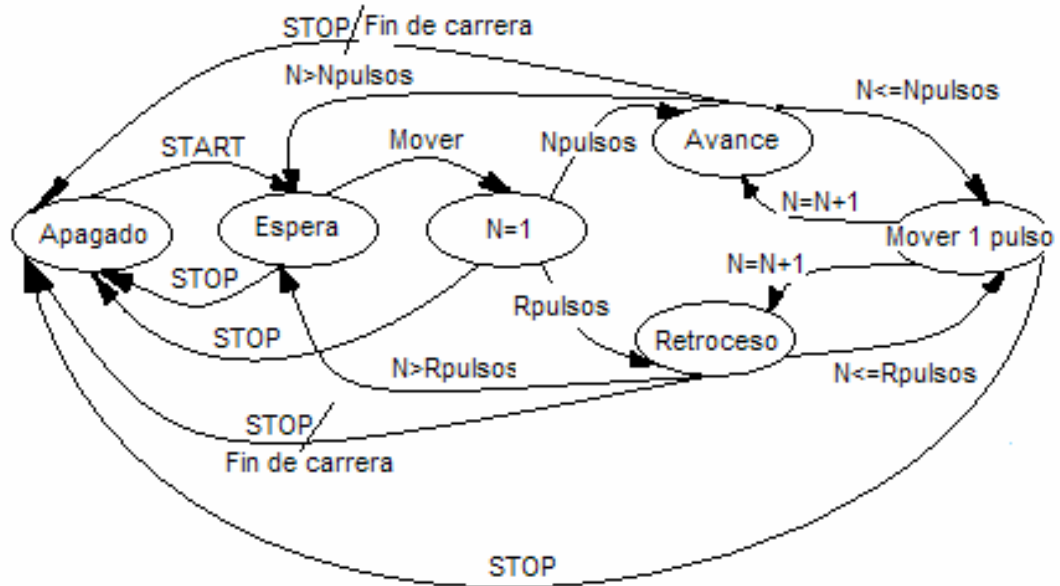
El gráfico anterior ilustra el flujo de datos, esto es útil porque representa todos los controles involucrados en la máquina y su relación con los actuadores en este caso todos son motores. Con esta información base se procede a diseñar cada uno de los controles como Máquinas de estado finito (MEF) teniendo en cuenta solo los controles que afectan cada uno de los actuadores.

Control del Motor X: El motor que maneja el eje X es un motor Paso a Paso el cual se mueve a razón de 144 pulsos por revolución. Tiene una reducción de 2.66 con lo que el eje movido gira a razón de 383 pulsos por revolución. El sistema que controla el eje X incluye dos microsiches de fin de carrera, un número de pulsos

que se requieren para avanzar el eje X la distancia requerida, y el start/stop de la máquina. (ver Figura 22)

Figura 22 Control motor X

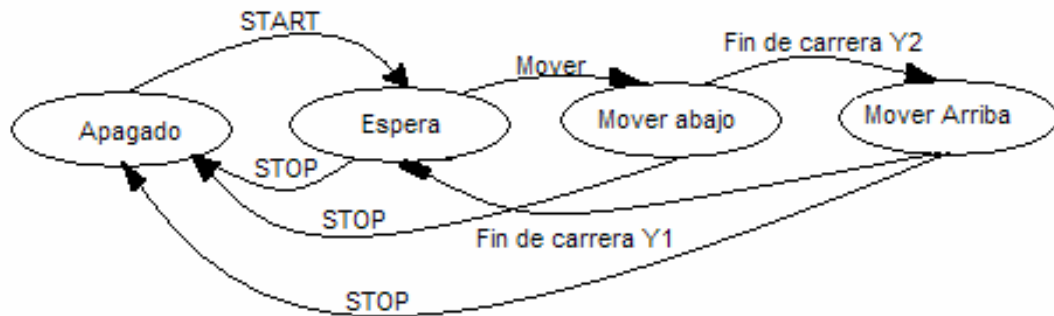
Control Motor X



Control del Motor Y: El motor que maneja el eje Y es un motor de corriente directa. Este motor mueve un tornillo de potencia el cual hace mover un carro entre dos extremos los cuales están limitados por dos microsuiches de fin de carrera. Se requiere una señal de sentido de giro que se ve afectada por los microsuiches y la secuencia del programa. El start/stop de la máquina también determina el funcionamiento del motor. (ver Figura 23)

Figura 23 Control motor Y

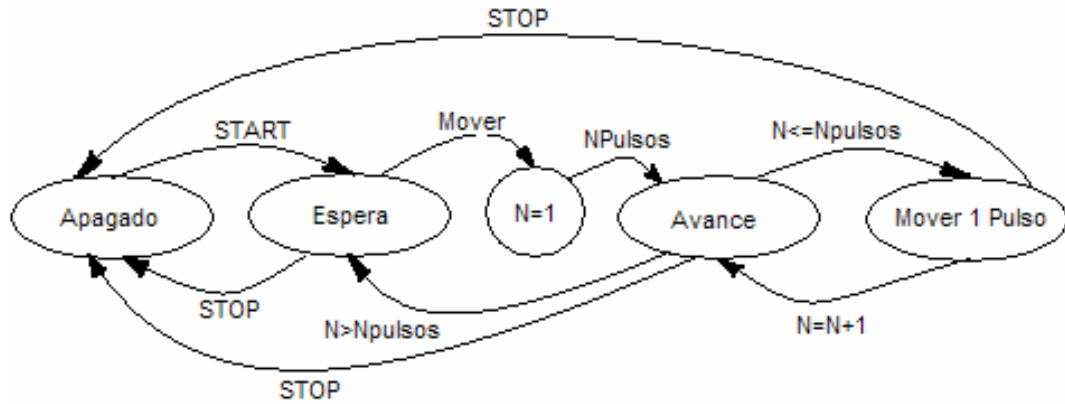
Control Motor Y



Control del Motor Z: El motor que maneja el eje Z es un motor Paso a Paso el cual se mueve a razón de 200 pulsos por revolución. Tiene una reducción de 1.8 con lo que el eje movido se moverá a razón de 360 pulsos por revolución. El sistema que controla el eje Z incluye: un número de pulsos que se requieren para hacer girar el eje Z los grados necesarios, y el start/stop de la máquina. (ver Figura 24)

Figura 24 Control motor Z

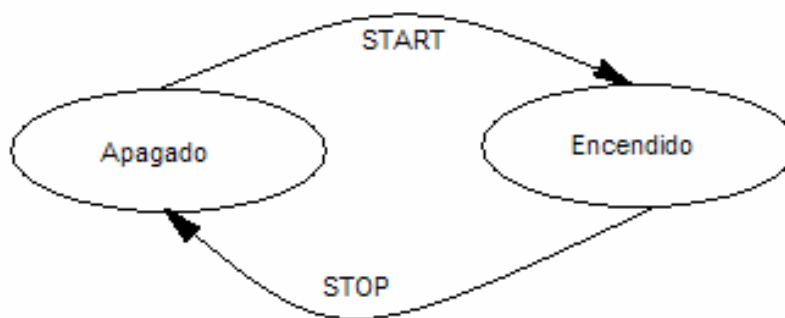
Control Motor Z



Control Motor AC: Este es el motor que mueve la herramienta de corte y se controla con botones y no desde el computador. (ver Figura 25)

Figura 25 Control Motor AC

Control Motor AC



El programa en LabView debe integrar los anteriores controles en conjunto con el diagrama de tiempos para poder lograr una secuencia de fabricación de piñones y repetirla tantas veces como dientes se requieran.

El programa tiene como entradas:

- Diámetro Exterior del piñón a fabricar.
- Numero de Dientes.
- Paso diametral.
- Fin de carrera X1.
- Fin de carrera X2.
- Fin de carrera Y1.
- Fin de carrera Y2.
- Numero de acercamientos.

El programa tiene como Salidas:

- Pulsos de recorrido para el eje X acompañado del sentido de giro.
- Pulsos de Avance y retroceso del eje Y.
- Pulsos de giro para el eje Z (sentido de giro para este siempre será el mismo).
- El programa también calcula internamente otras variables para su funcionamiento y las pone visibles para el usuario como lo son la altura del diente y radio exterior.

### 12.1.3 Interfaz con el usuario

En este espacio se pretende enseñar al usuario como debe interactuar con el programa para tener un uso adecuado del mismo. En primer lugar se debe aclarar que la máquina se puede operar desde dos interfaces diferentes, una en la que solo le ingresa tres datos y otra en la cual puede ingresar algunos requerimientos como potencia y el programa calcula todos los parámetros necesarios del piñón.

En primer lugar se explica como funciona la máquina con la interfaz sencilla en donde el usuario entra tres datos sencillos (paso diametral, número de dientes, número de acercamientos).

El Paso diametral se debe ingresar en dientes por pulgada. En la variable Número de dientes, se debe ingresar el número de dientes que tiene el piñón a fabricar. El número de acercamientos son el número de pasadas que tiene cada diente, este lo determina el usuario dependiendo de que calidad quiere en su piñón.

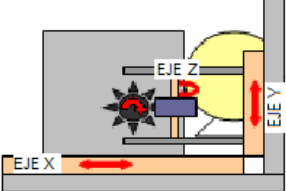

Antes de iniciar el programa se debe tener en cuenta los siguientes pasos:

- El operario debe hacer una inspección 360°, esto es darle la vuelta completa a la máquina para verificar que no halla ninguna anomalía, ajustando todas las piezas desajustadas, debe revisar la tensión en la cadena aceite, protectores, palos, basuras o herramientas estorbando. Garantizar que todas las pistas de movimiento estén libres de obstáculos.
- Luego comienza el montaje de la máquina, se debe montar la fresa indicada para el trabajo a realizar.
- Después se debe instalar el material de trabajo en el eje Z.
- Enfrentar la fresa de corte con el material de trabajo, con el tornillo de potencia manual ubicado perpendicular al eje X. Este eje siempre es manual y solo se ajusta una vez.
- El usuario debe encender la máquina del botón verde START y abrir el programa “Control Fresadora Piñones vi”
- En el programa se deben ajustar los parámetros requeridos para el funcionamiento, de la máquina.
- Para finalizar se corre el programa. **NUNCA CORRER EL PROGRAMA SIN QUE LA MÁQUINA ESTE ENCENDIDA!**

## 12.1.4 Ejemplo detallado del funcionamiento del programa

El programa desarrollado para el manejo de la máquina requiere de tres datos básicos, los cuales pueden ser ingresados por el usuario directamente o por un programa que calcula un piñón, y tiene como salida los parámetros requeridos por el programa principal. A continuación se muestra la ventana de interfase para el programa principal.

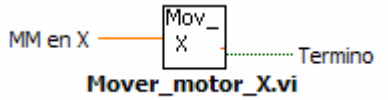
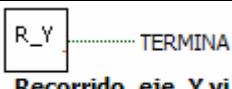
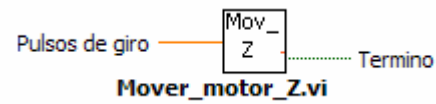
Figura 26 Interfaz con el Usuario

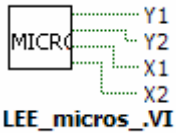
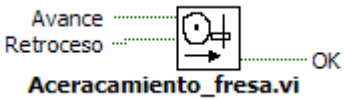
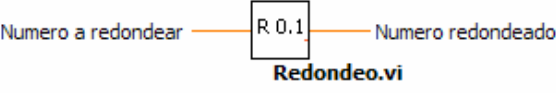

FRESADORA DE PIÑON RECTO		
<b>LISTA DE CHEQUEO DE PREPARACION</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Diseñar el piñón para tener los Parámetros de entrada a la mano.</li><li>2. Entrar los parámetros al programa.</li><li>3. Montar el material de trabajo.</li><li>4. Montar la fresa teniendo en cuenta el sentido de giro.</li><li>5. Verificar obstáculos en la máquina.</li><li>6. Encender el control.</li><li>7. Encender la fresa de corte.</li><li>8. Enfrentar la fresa de corte con el material de trabajo.</li><li>9. Establecer los límites del Eje Y.</li><li>10. Correr el programa.</li><li>11. Acercar la fresa de corte desde el programa hasta ver que esta rozando con el material de trabajo.</li><li>12. Pulsar el testigo de rozamiento para permitir que el programa continúe y fabrique el piñón.</li><li>13. Apagar.</li><li>14. Limpiar la máquina.</li></ol> 	<b>TESTIGO DE ENCENDIDO</b> Encendido: Maquina Trabajando. Apagado: Se termino el trabajo 	<b>PARAMETROS DE CONTROL</b> Profundidad del Diente en MM <input type="text" value="2,7"/> Radio exterior del pinon a Fabricar. <input type="text" value="24,1"/> Resolucion de Acercamientos <input type="text" value="0,0"/> Profundidad de chequeo <input type="text" value="0,0"/>
<b>DATOS DE ENTRADA</b>		
Paso Diametral <input type="text" value="20,0"/>		
Numero de Dientes <input type="text" value="36"/>		
Numero de Acercamientos <input type="text" value="2"/>		
<b>FERNANDO SIERRA IBAÑEZ</b>		

En la imagen anterior se ve como ejemplo un piñón con un paso diametral de 20 dientes por pulgada y con 36 dientes. El número de acercamientos es el número de veces que se acerca la fresa al piñón. El programa calcula para su funcionamiento la profundidad del diente y el radio exterior del piñón a fabricar. La resolución de Acercamientos es la profundidad dividido el número de acercamientos.

En el programa se utilizaron unos subVI's o subrutinas, esto con el fin de conservar un orden en la programación, lo cual facilita su posterior entendimiento y mantenimiento. En la tabla a continuación se muestran los VI's utilizados y su función.

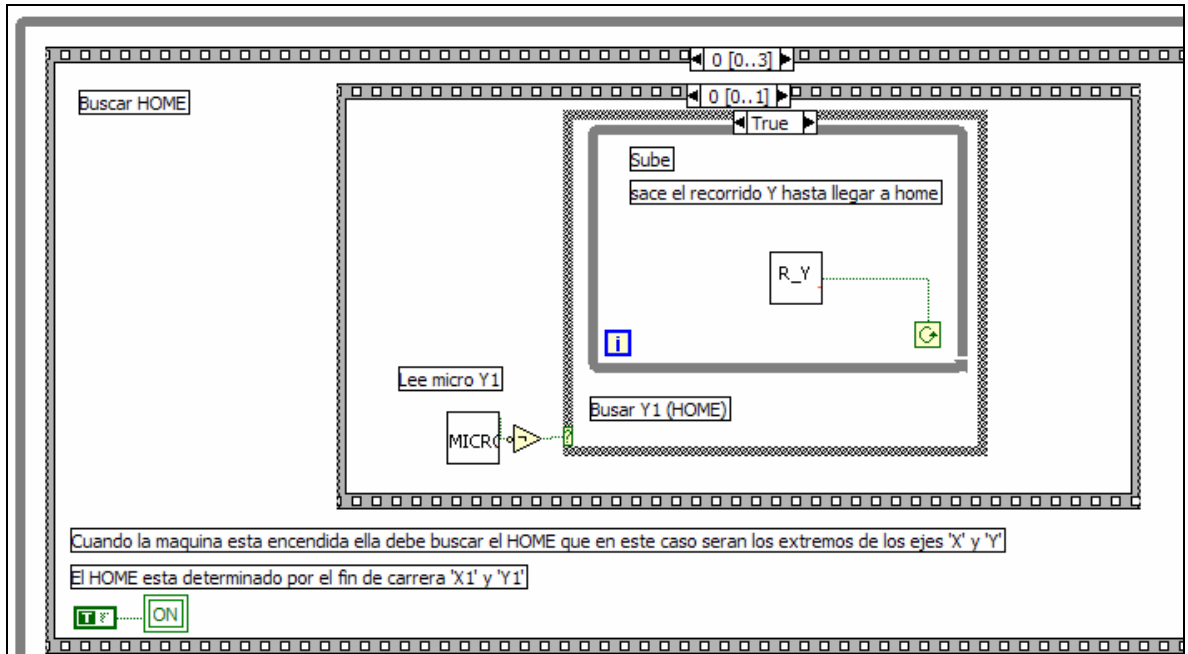
Tabla 17 Sub VI's o subrutinas

ICONO	Función
 <p><b>Mover_motor_X.vi</b></p>	<p>Este VI tiene como función mover el motor X. Se le ingresa la distancia que se quiere mover y su dirección la determina el signo. El programa internamente calcula el numero de pulsos requeridos, y en este caso por cada 107 pulsos de desplaza un milímetro. El programa también tiene un testigo el cual indica que terminó.</p>
 <p><b>Recorrido_eje_Y.vi</b></p>	<p>Este VI hace un recorrido completo del eje Y comienza por bajar hasta el micro Y2 y luego sube hasta el Y1. Se utiliza para buscar 'home' y para hacer el recorrido de maquinado. Tiene como salida un testigo de que termino.</p>
 <p><b>Mover_motor_Z.vi</b></p>	<p>Este VI le entran los pulsos que desea mover el eje Z. no tiene valores negativos. Se tienen 25920 pulsos por vuelta del eje Z. Cuenta con un testigo que terminó.</p>

 <p><b>LEE_micros_VI</b></p>	<p>Este programa solo lee los micros, se creo para tener una manera ordenada y fácil de acceder a su lectura.</p>
 <p><b>Aceracamiento_fresa.vi</b></p>	<p>Este programa es Utilizado para el acercamiento de la fresa al piñón de manera manual, es invocado por el programa principal cuando el lo necesite.</p>
 <p><b>Redondeo.vi</b></p>	<p>Este es un Vi que permite redondear números con una décima de precisión</p>
 <p><b>Conv_geometrico.vi</b></p>	<p>Este es un VI matemático que calcula las variables: Altura del diente, Radio exterior, partiendo del Paso diametral y el número de dientes.</p>

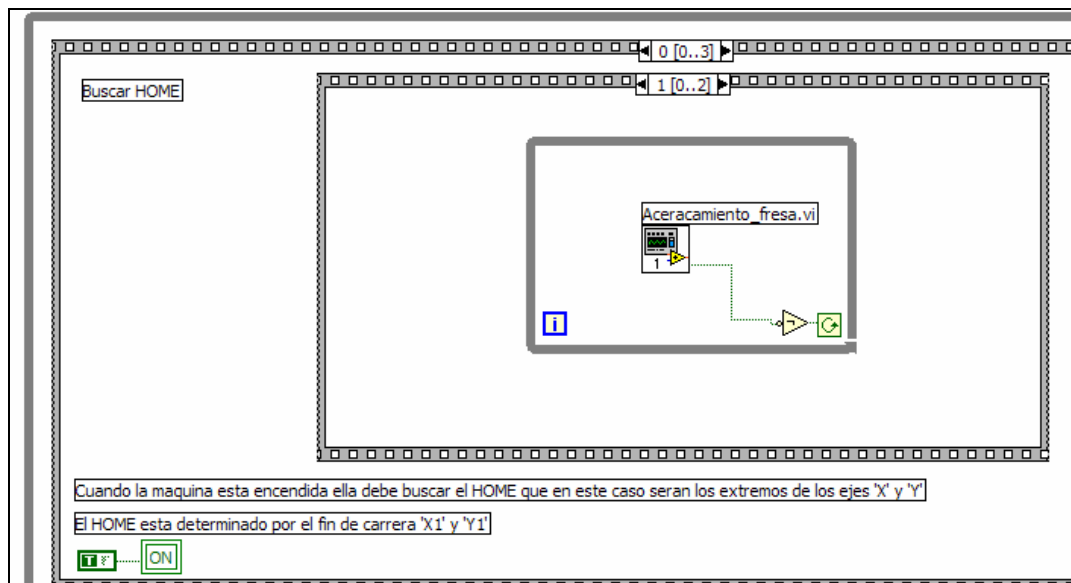
El testigo “ON” permanece encendido hasta que la máquina termine todo el proceso. Ahora se ilustra el diagrama del programa para explicar su funcionamiento.

Figura 27 Búsqueda de Home



En la figura 27 se ve que el programa empieza por buscar HOME, en primera instancia pregunta si esta en home (Y1 para eje Y), si es falso invoca el VI 'R\_Y'.

Figura 28 Invoca el programa de acercamiento de la fresa.



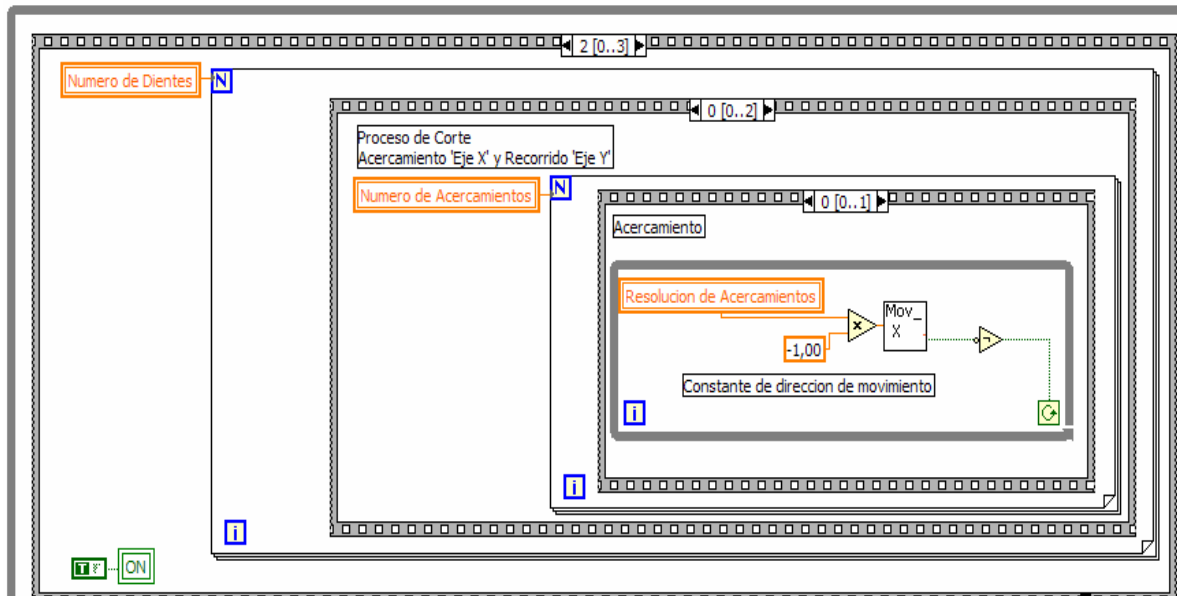
Luego procede con buscar el la posición de trabajo del eje X la cual se hace de manera manual con la siguiente ventana. (Figura 29)

Figura 29 Interfaz Acercamiento manual

ACERCAMIENTO MANUAL DE LA FRESA		
<b>INSTRUCCIONES</b>	<b>TESTIGO DE ROZAMIENTO</b>	<b>DIRECCION DE MOVIMIENTO</b>
1. Seleccionar los milímetros que desea que avance, se recomienda utilizar dimensiones menores que un milímetro. 2. Pulsar avance o retroceso para seleccionar la dirección. 3. Pulsar el Boton "Testigo de rozamiento" para comenzar proceso de Produccion		<b>Avance</b>  <b>Retroceso</b> 
	<b>DISTANCIA DE MOVIMIENTO</b>	<b>FERNANDO SIERRA IBANEZ</b>
	Milímetros <input type="text" value="0,00"/>	

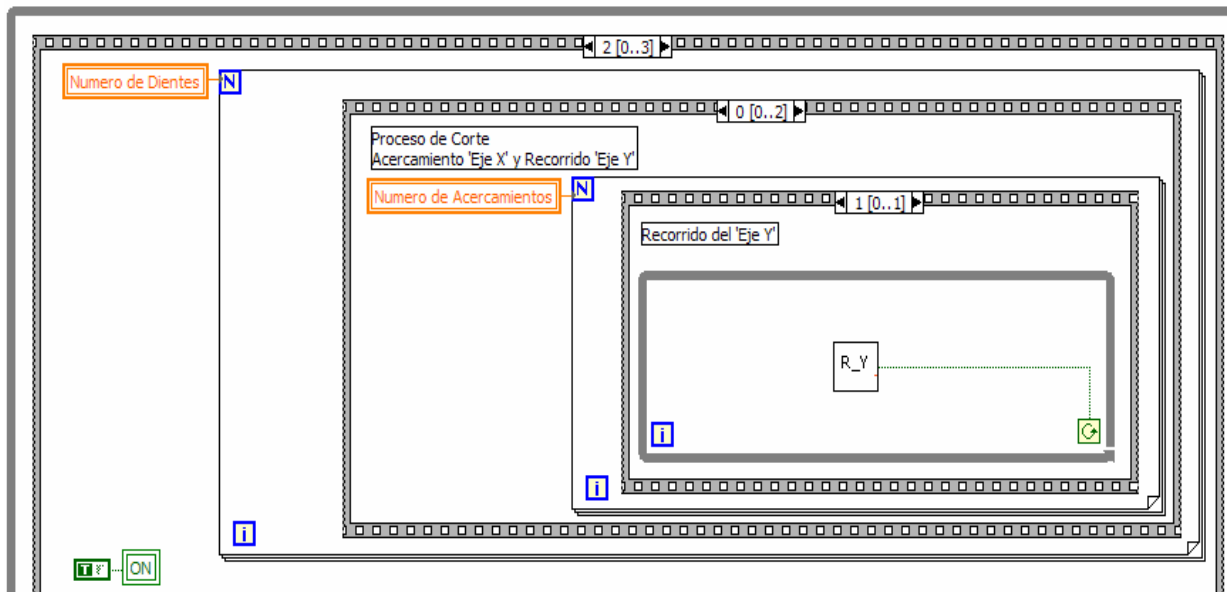
El usuario procede a acercar la fresa al lugar de trabajo hasta tener un rozamiento. Luego de tener la fresa rozando se pone el testigo de rozamiento y el programa empieza la secuencia. Antes de empezar el programa también calcula la resolución de acercamientos tomando la altura del diente y dividiéndola entre el número de acercamientos que elige el usuario.

Figura 30 Inicio diagrama Gant > Avance del Eje X



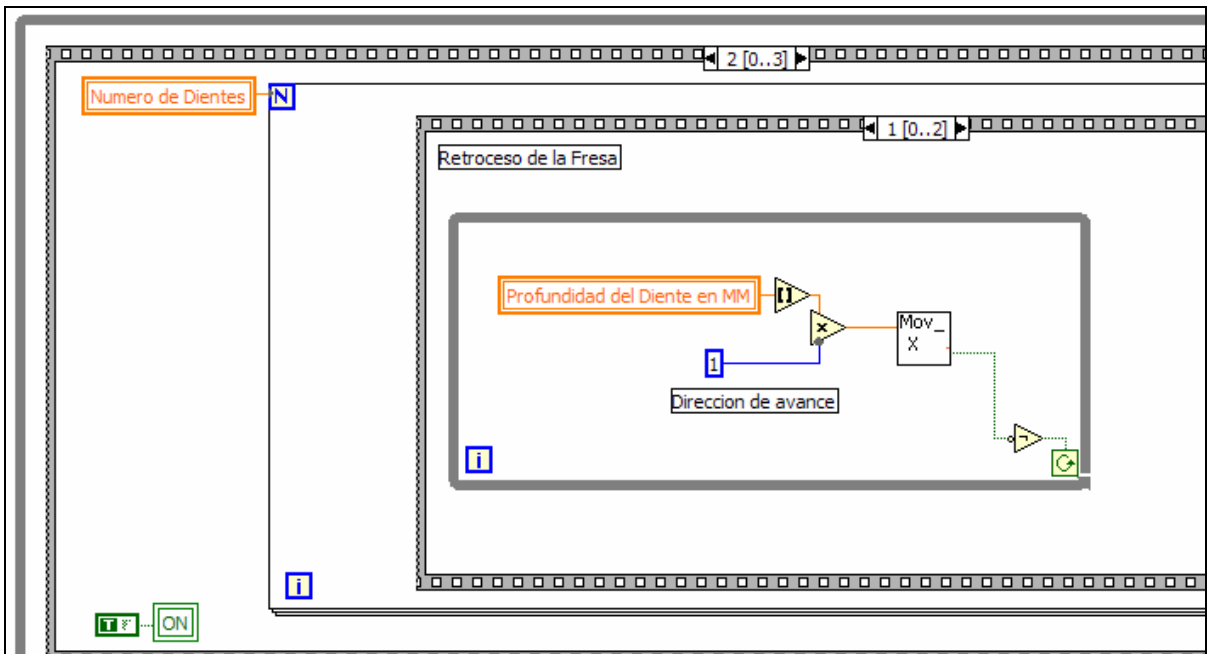
Ahora la máquina entra en una rutina repetitiva que es cortar cada diente del piñón. Esto lo hace en una rutina que se repite tantas veces como dientes se tienen y esta rutina es la que se explica en el diagrama de Gant. Hace su primer acercamiento para que luego el eje Y pueda subir y bajar causando que la fresa toque el material de trabajo y de esta manera se comienza a fabricar un piñón. Se acerca cuantas veces el usuario elija hasta llegar a la profundidad del diente.

Figura 31 Recorrido del Eje Y



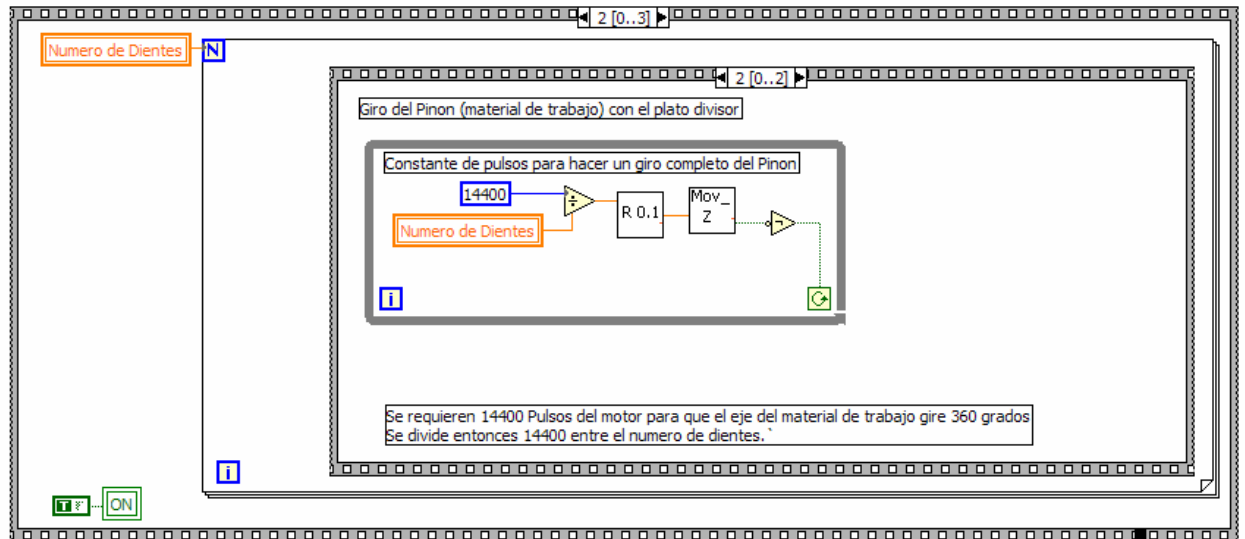
En la figura 31 se muestra como se invoca el vi 'R\_Y" para hacer el recorrido del eje Y después de haber hecho un acercamiento.

Figura 32 Retroceso del eje X



Después de haber hecho todos los acercamientos y alcanzado la profundidad del diente el carro en el eje X debe retroceder para comenzar de nuevo su rutina con el próximo diente. En la figura anterior se invoca retroceso del carro X.

Figura 33 Giro del material de trabajo en el eje Z

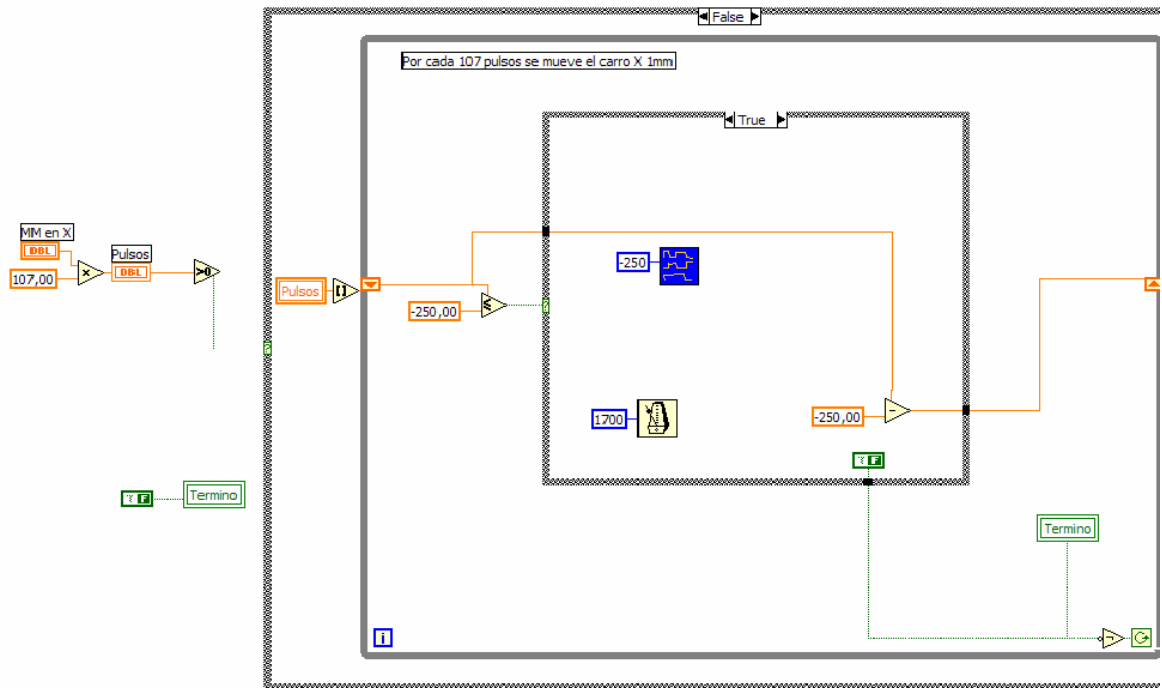


En la figura anterior se muestra como se invoca el movimiento del motor Z para proceder con el giro del material de corte (eje Z) con el cual se termina el ciclo y vuelve a empezar. Se requieren de 14400 pulsos para hacer un giro completo del material de trabajo por lo cual este número es dividido por la cantidad de dientes a fabricar.

En el momento de tener claro el funcionamiento general del programa es importante aclarar el funcionamiento de los subvi's, mas aun los que controlan los motores X Y Z.

Para los tres motores ya se conoce la figura de la maquinas de estado finito al comienzo del capitulo, ahora queda mostrar su programación en labview.

Figura 34 Movimiento Motor X

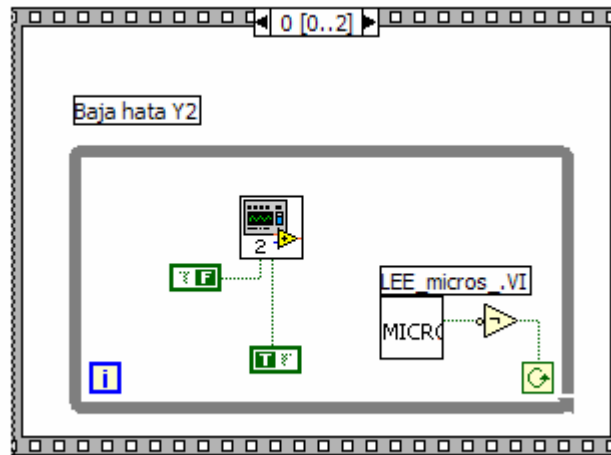


En primera instancia se enciende cuando se abre, luego con los datos de entrada que son la distancia verifica la dirección y luego se hace el movimiento por pulsos los cuales los hace por instancias de 250 pulsos equivalente a 2.5 mm. Cuando restan menos de 250 pulsos solo mueve el complemento. Una vez termina su ciclo envía una señal booleana indicando que termino con lo cual queda en espera para otra instrucción.

Para el eje Z es el mismo principio que el del eje X con la diferencia que siempre gira para un solo lado haciéndolo mas sencillo y sin necesidad de verificar sentido de giro.



Figura 36 Recorrido eje Y



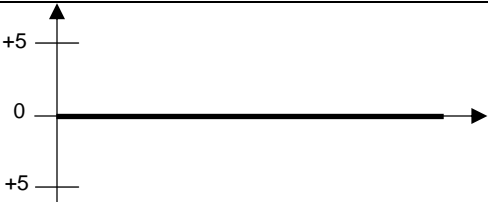
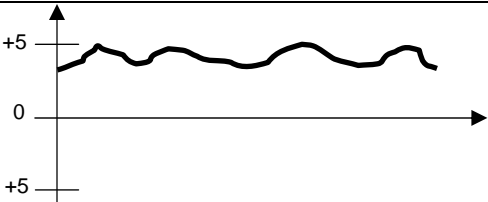
En el primer cuadro de la secuencia activa el motor en bajada hasta el micro Y2 y luego hace lo contrario hasta el Y1 y termina.

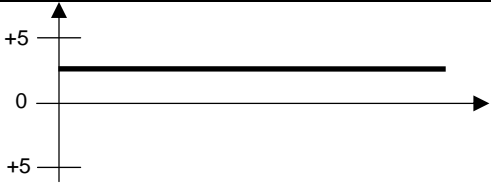
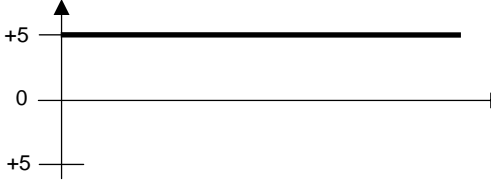
### 13. ENSAYOS

Después de terminada toda la construcción tanto la parte mecánica como la parte electrónica lo más natural y necesario, es probar el funcionamiento de todos los componentes. Las pruebas se deben hacer por partes, es decir probar cada una de las tarjetas, las fuentes y los motores por aparte y luego probar su funcionamiento en conjunto. Es muy normal que las cosas no funcionen en el primer intento sobre todo en sistemas electrónicos que tienen un número considerable de componentes.

La primer prueba es la de chequear comunicación entre el PIC (ubicado en la tarjeta principal) y el computador. Esto se hizo y no tuvo éxito en el primer intento. La comunicación puede ser chequeada con un programa de LabView que se encuentra en el laboratorio. Notando que el programa indica que no hay comunicación se debe chequear con un osciloscopio donde se ve interrumpida la señal. En este caso fue una mala configuración del dipswitch.

Tabla 18 Señal de retorno en el osciloscopio

 <p>The figure shows an oscilloscope screen with a vertical axis labeled +5, 0, and +5, and a horizontal axis with an arrow. A solid horizontal line is drawn at the 0 level, representing a flat signal.</p>	Sin señal
 <p>The figure shows an oscilloscope screen with a vertical axis labeled +5, 0, and +5, and a horizontal axis with an arrow. A wavy, irregular signal is shown, fluctuating between approximately 2.5 and 4.5 on the vertical scale.</p>	Señal distorsionada

	Señal débil
	Buena señal

El PIC también presenta problemas pues el programa original no está bien grabado por lo cual no se prestaba para una buena comunicación, el PIC se regrabó de una manera correcta y finalmente el computador y el PIC están en comunicación.

Las tarjetas pequeñas individuales de potencia que son las que energizan cada una de las bobinas del motor Paso a Paso no están activando 18V al mosfet. Esto nos lleva entonces a una revisión de cada una de las tarjetas y se identifica que les hace falta un puente entre dos terminales, lo cual se corrige y ahora la tarjeta ofrece un correcto funcionamiento.

Después de tener una correcta comunicación y tener las tarjetas funcionando se procede a probar el programa diseñado para su funcionamiento. De entrada se encuentra que uno de los motores no se mueve bien (el motor del eje Z). Rápidamente se identifica que es una de las tarjetas que activa una de las bobinas del motor, entonces se entra a revisar y el problema no se encuentra fácil. Luego de hacer varias pruebas como conectar el motor con otras tarjetas y conectando diferentes Mosfets se encuentra que uno de ellos es el que está causando el problema. Se cambia el Mosfet y todo está en estado normal.

Ahora cuando el programa busca el home del eje X no para. Esto es más un problema de software porque se debe dar un tiempo para que el motor se mueva y luego poder preguntar al PIC si ya llego al fin de carrera X1.

En ocasiones el motor del eje X no se mueve de manera apropiada y se especula que es la fuente. Por último la rutina del programa se cumple. Al final se cambia la fuente del motor X y queda funcionando bien.

El programa el maquinado presenta una irregularidad tanto en los grados de giro como en los acercamientos. NO se esta girando lo suficiente, por lo que los dientes no quedaban espaciados de igual manera. También la resolución de acercamientos estaba en enteros lo que causaba errores grandes de precisión, y descuadraba la máquina a medida que el proceso avanzaba. Se corrigen la precisión y el defecto del espaciamiento de los dientes y ahora el piñón sale casi perfecto.

## 14. RECURSOS UTILIZADOS

La universidad EAFIT cuenta con excelentes laboratorios y maquinaria metalmecánica. Se cuenta también con una mano de obra muy calificada para el manejo de estas máquinas tales como fresadoras, tornos, soldadoras etc.

El Laboratorio de Mecatrónica tiene actualmente disponibles para el proyecto la mayoría de las piezas requeridas tales como los motores. Los accesorios necesarios para la sistematización de la máquina se presentan a continuación en la tabla. En dicha tabla no se detallan los precios porque la mayoría de los insumos costosos como motores y encoders ya se tienen en el laboratorio.

Tabla 19 Lista de partes Utilizadas

ELEMENTO	CANTIDAD	EJE	FUNCIÓN
Motor de paso 4-5A	1	X	profundidad
Microsuiche	2		final de carrera
T control PAP	1		controlar el motor
Fuente DC 5V/4A	1		alimentar motor

ELEMENTO	CANTIDAD	EJE	FUNCIÓN
Motor de 3ª PAP	1	Z	avance/plato divisor
T control PAP	1		controlar el motor
Fuente DC 24V/3A	1		alimentar motor

ELEMENTO	CANTIDAD	EJE	FUNCIÓN
Motor DC 24V/3A	1	Y	corte
Microsuiche	2		final de carrera
T control inv. Giro relay.	1		controlar el motor
Fuente DC 24V/3A	1		alimentar motor

ELEMENTO	CANTIDAD	EJE	FUNCIÓN
Motor AC monofásico	1	Gral.	motor pp. corte
Control electromecánico	1		controlar encendido/ dur
Estación start/stop	1		encendido general
Toma de 110V	1		alimentación general
Tarjeta expansión fuentes	1		distribución de fuentes
Tarjeta I/O	1		administrar señales I/O
CPU con puertos seriales	1		controlador dispositivos
Puerto serial	1		Comunicación con PC
Cajón para el montaje	1		ubicación de dispositivos
Extractores de aire	1		disipar calor al interior
Canaletas por (m)	5		organización de cableado
Cables seriales 232	5		conexión a multipuerto

ELEMENTO	CANTIDAD	EJE	FUNCIÓN
Cables de potencia 110V	5	Gral.	alimentación de drivers
C encauchetado 3x18/(m)*	5		Conexión pp.
Cable de 2hilos apantallado/(m)*	30		conexión de micros
Cable de 6hilos cal 18(m)*	10		conexión motores
Soldadura lb.	1		soldar
PIC 16F877A	1		Controlar y comunicar con PC

MECÁNICA VARIOS	CANTIDAD		
Cadena #35	2		
Tornillos	14		
Arandelas	14		
Tuercas	8		
Platinas para soporte motores	2		
Eje de potencia	1		
Acoples tipo araña	2		
Piñón 36B35	1		
Piñón 20B35	1		
Piñón 15B35	1		
Piñón 40B35	1		
Soldadura	1		

## 15. CONCLUSIONES

Después de terminado el proyecto es importante resaltar las experiencias más relevantes de las que se aprende y concluir sobre ellas. En primer lugar, cabe reconocer la importancia de proyectos de esta naturaleza. La sistematización de equipos es una necesidad clara en la industria colombiana, y el aprendizaje al respecto debe ser un área de estudio en los programas de ingeniería de las universidades.

En el desarrollo del proyecto los conocimientos generales y algunos específicos de la electrónica se ven ampliados en el estudiante. Se adquiere experiencia en el proceso de desarrollar una máquina Mecatrónica, todos sus componentes y sus procesos. Esta experiencia permite afirmar que la sistematización es una tarea que requiere esfuerzo, pero que es completamente alcanzable. En el LAMUE se ha avanzado lo suficiente en el tema, como para obtener logros significativos en el trabajo con máquinas herramienta, dentro de los alcances de un proyecto de grado

Las aplicaciones mecatrónicas presentan grandes beneficios entre los que se destacan la precisión y eficiencia en tiempo. Sin embargo, su desarrollo exige esfuerzos considerables al involucrar conocimientos de la mecánica, la electrónica y la informática. El equipo sistematizado se vuelve más preciso y eficiente pero también más complejo, al involucrar más elementos susceptibles de desviaciones. El reto es lograr sistemas estables y con comportamientos controlables; y esta es una meta que exige conocimiento, método y voluntad.

La primera aproximación al problema, consiste en aprender sobre el proceso de fabricación de engranajes rectos fresados. Esto permite determinar los pasos

críticos en la operación del equipo, en cuales de estos es vital la precisión. Este conocimiento general de lo que son las fresadoras de piñones y como funcionan, delimita el enfoque y construye criterio.

Comprendiendo la función principal de la fresadora de piñón recto y los pasos de su operación se procede con la evaluación. Se estudia más afondo la máquina sobre la que se trabaja, sus mecanismos, estado mecánico, sus capacidades y su funcionamiento. De esta revisión se concluye que las condiciones iniciales son buenas y se proponen algunas modificaciones. Estas modificaciones tienen como objetivo facilitar la instalación de algunos elementos del hardware y alcanzar un estado de operación más adecuado. El diseño conceptual y la elaboración de las cajas negras son muy útiles en el momento de enfocar el problema pues con ellas se aclara cual es el problema y por donde se puede abordar.

Después de conocer el campo de acción se empieza a trabajar con diferentes disciplinas de manera simultánea, como lo son la electrónica y la mecánica. Se debe trabajar de manera simultanea porque el proyecto se presta para eso y es punto clave para terminar la proyecto a tiempo. Se instalan los sensores y actuadores en el equipo, para lo cual se diseñan los soportes y adaptaciones de los motores eléctricos Paso a Paso. Además, se manufacturan algunas piezas para mejorar los sistemas de desplazamiento.

Para la etapa del diseño y manufactura de las piezas mecánicas es muy importante el modelamiento en un programa CAD. Brinda una ayuda inigualable con la que se puede garantizar el acople perfecto de las piezas a fabricar. Con esto se ahorra mucho tiempo modificando la piezas para que casen la una con la otra. El uso de otras herramientas computacionales también es de gran ayuda, se ha tenido la experiencia anteriormente de hacer programas de iteración para encontrar as dimensiones óptimas de los diseños y en este caso se utilizo Excel para el cálculo de la resistencia en los soportes.

La electrónica es el puente entre el software de control y la máquina o proceso. La etapa de su implementación consiste en el correcto ensamblaje de un número considerable de elementos. En esta etapa se sueldan con orden y cuidado todas las tarjetas con los circuitos y se construye el contenedor del hardware en el cual se instalan las fuentes, las tarjetas y los interruptores de encendido y apagado. Nuevamente es muy importante tener mucho orden en la armada de la parte electrónica y eléctrica teniendo siempre nombrado todos los cables, esto es de mucha ayuda al momento de tener que buscar un error.

Teniendo la parte mecánica la eléctrica y la electrónica estas se acoplan y se comienzan los ensayos. Como es común, se presentan algunos problemas que se resuelven con una revisión concienzuda y detallada de cada uno de los componentes. En esta etapa se debe tener mucha paciencia, es un proceso de ensayo y error hasta que las cosas funcionen.

La sistematización se completa con la programación. Se procede a desarrollar un conjunto de módulos de programación para la comunicación entre el computador y la máquina y la interfaz con el usuario. El desarrollo del programa se ve facilitado por la creación de las máquinas de estado finito, ellas ayudan a tener en cuenta el orden, la secuencia y la lógica del funcionamiento del programa. Con esto basta transcribirlo al lenguaje de programación que en este caso fue Labview. Estos módulos están orientados a facilitar la relación del usuario con el equipo y los elementos de la automatización; se pretende que el usuario ingrese solo los parámetros de mecanizado básicos. Además se proporciona cierta seguridad al equipo frente a instrucciones que por descuido o desconocimiento puedan resultar perjudiciales.

Al terminar el desarrollo del proyecto puede afirmarse que con las condiciones logradas en la máquina puede producirse un engranaje completo ingresando al

programa el número de dientes y el paso diametral y ajustando las condiciones iniciales de operación. Estos resultados se corresponden con el objetivo general del proyecto.

El trabajo metódico y persistente hace posible alcanzar los objetivos esperados. Esto permite afirmar que es viable desarrollar tecnología mecatrónica en nuestro país, y que esta actividad debe fomentarse en la academia y en la industria. Es necesario que el avance de la ingeniería colombiana continúe hasta alcanzar la capacidad de producir máquinas herramienta mecatrónicas competitivas, y poner al día todas las máquinas obsoletas existentes.

## 16. RECOMENDACIONES

Existen algunas mejoras en los aspectos mecánicos, electrónicos e informáticos del equipo que aún pueden realizarse, las cuales se salen del alcance del proyecto de grado. Sin embargo, pueden ser tema de futuros trabajos de mejora y optimización.

Es posible perfeccionar los sistemas de desplazamiento para que tengan un mayor ajuste; que viabilice la fabricación de engranajes con mucha más precisión y con mejores acabados. Además, resulta apropiado agregar elementos al hardware como encoders, sensores de colisión y demás herramientas que permiten que la máquina funcione de una manera más confiable. También se pueden obtener otros avances en el aspecto de programación. Por ejemplo, lograr un software más robusto.

Al iniciar un proyecto como este debe hacerse una reflexión sobre las capacidades y la disposición de la persona que lo ejecuta. Es indispensable poseer ciertos conocimientos básicos de electrónica y de la lógica de programación. Además, se debe estar dispuesto a enfrentar y solucionar diversa clase de problemas que perturban el flujo normal del proceso de implementación.

Resulta recomendable para la ejecución de futuros proyectos de este tipo disponer de cierta documentación sobre algunos de los circuitos previamente diseñados en el LAMUE. Esto facilita el proceso y evita entorpecer con continuas inquietudes el trabajo del personal del laboratorio. Esta documentación puede incluir, por ejemplo, algunas soluciones a problemas típicos que se presenten. El levantamiento de esta información es susceptible de convertirse inclusive en otro proyecto de grado.

Puede ser beneficioso explorar otros programas de interfaz diferentes de LabView. Aunque este paquete utiliza un lenguaje de programación gráfico de fácil comprensión, en ocasiones presenta inconvenientes en asegurar la ejecución secuencial de las instrucciones y en la velocidad de comunicación con el hardware.

## 17. ANEXOS

En los anexos se presentan todos los planos utilizados para la fabricación de las piezas mecánicas.

## 18. BIBLIOGRAFIA

### 18.1 CLÁSICA

CASILLAS, A L. Máquinas: Cálculos de taller. Máquinas, Madrid 1981. ISSN 8440072163.

FACTRONIC. Iván Arango, Tel: 3013564674

GERLING, HENRICH. Alrededor de las Máquinas-Herramientas. Reverte, Barcelona 1987. ISBN 8429160493.

HAMROCK BERNARD J., JACOBSON, SSHMID. Elementos de máquinas. Mc Graw Hill México 1999. ISBN 0-256-19069-09

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMÁS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá-Colombia: ICONTEC, 2002. 37p. (NTC 1486).

MUNÉVAR, Gustavo. Gestión de proyectos de Automatización Industrial. En: Automatización Industrial Metalmecánica. Bogotá, 1995. ISSN 01240218.

UNIVERSIDAD EAFIT MEDELLÍN Laboratorio de Mecatrónica, 2006

## 18.2 INTERNET

ED.tecnologica@

Piñones [En línea] [Citado Marzo 2006]

Disponible desde Internet:

<http://www.educaciontecnologica.cl/engranajes3.htm>

Herramienta@

Corte [En línea] [Citado Marzo 2006]

Disponible desde Internet:

<http://www.monografias.com/trabajos14/maq-herramienta/maq-herramienta.shtml>

Kotler@

Kotler marketing Group. [En línea]. [Citado Marzo 2006]

Disponible desde Internet:

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

Robotics@

Corte [En línea] [Citado Marzo 2006]

Disponible desde Internet:

<http://www.x-robotics.com/motorizacion.htm>

Rosytor@

Mecánica [En línea] [Citado Marzo 2006]

Disponible desde Internet:

<http://www.monografias.com/trabajos12/rosytor/rosytor.shtml>

Wikipedia@

Enciclopedia libre [En línea] [Citado Agosto 2006]

Disponible desde Internet: [www.wikipedia.org/](http://www.wikipedia.org/)