

UNIVERSIDAD MICHOACAN DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

PROYECTO DE TESIS

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROUTER DE CONTROL
NUMÉRICO PARA EL CORTE Y TALLADO DE MADERA”**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

PRESENTA

EDER JAVIER AGUILAR MEJÍA

ASESOR DE TESIS

ING. CARLOS MANUEL SÁNCHEZ GONZÁLEZ

Enero de 2008

Agradecimientos

Quiero agradecer primeramente a DIOS por haberme dado la oportunidad de terminar la carrera con éxito y salud.

También quiero agradecer a mis padres y a mis hermanos por brindarme su apoyo incondicionalmente y confiar siempre en mí.

Estoy muy agradecido con cada uno de los maestros que he tenido durante el transcurso de mi vida como estudiante y me permito hacer una mención especial del ingeniero Carlos Manuel Sánchez Gonzáles por su apoyo y amistad.

Quiero agradecer también con mucho cariño a la FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA y en general a la UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO por haberme permitido adquirir los conocimientos necesarios para afrontar los retos que se me presenten en el futuro.

Dedicatoria

Quiero dedicarle este trabajo a:

Mi Hijo **Emiliano Aguilar Sánchez.**

Mi Mamá **Yolanda Mejía Cerna.**

Mi Papá **R. Javier Aguilar Pantoja.**

Mi Esposa **Yuritzzy Sánchez S.**

A mis hermanos y hermanas:

Nadia

Pepe

Ramón

Yolita

Resumen

En este trabajo se explica la forma en que se diseña y construye una máquina de control numérico.

Se diseñó un sistema de movimiento de tres ejes así como tres tarjetas de movimiento (una para cada uno de los ejes de la máquina) las cuales son consideradas como parte fundamental y principal de esta tesis, se utilizó una interfase gráfica comercial para el usuario.

Se analiza el tipo de madera con la que es conveniente trabajar así como las características físicas que debe cumplir para obtener el mejor resultado en la elaboración de piezas de madera.

Fueron estudiados también diversos sistemas de movimiento y de acuerdo a la investigación se tomarán las decisiones para construir el que más convenga.

Explica también la forma en la que operan distintos tipos de motores y en base a las necesidades que se tienen se optará por utilizar alguno de estos diversos tipos.

Se observan y analizan diferentes maneras de controlar el motor que se escoja para operar con el prototipo y así saber cuál es la mejor.

Mediante la realización de pruebas al modelo propuesto se establece si el funcionamiento del prototipo es satisfactorio o no.

En base a los resultados obtenidos en las pruebas a las que fue sometido el modelo serán sacadas conclusiones y realizado un estudio de factibilidad económica.

Contenido

Agradecimientos	ii
Dedicatoria	iii
Resumen	iv
Contenido	v
Lista de Figuras	x
Lista de Tablas	xiii
Lista de Símbolos y Abreviaciones	xiv

1. Introducción.

1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Justificación	3
1.4 Metodología	4
1.5 Descripción de los capítulos	4

2. El dibujo electrónico industrial.

2.1 Marco general	6
2.2 Definición del termino CAD – CAM	6
2.3 Historia de los CAD – CAM	8
2.3.1 Antecedentes del CAD – CAM	8
2.3.2 El CAD irrumpe en el mercado	10
2.3.3 La difusión global del CAD	11
2.4 Tipos de CAD – CAM	12
2.5 Características de los CAD – CAM	12
2.6 El Autocad	13
2.7 Definición de los CAM's	15
2.8 Tipos de CAM's	15
2.8.1 CAM's industriales	16

2.8.2	CAM's lite	17
2.9	El KCAM 4	17
2.10	Superficies de bajorrelieve	18
2.11	Archivos de diseño	20

3. Las maderas.

3.1	Marco general.	24
3.2	Estructura de la maderas.	25
3.3	Propiedades físicas de la madera.	26
3.3.1	Hendibilidad	26
3.3.2	Dureza o resistencia al corte	26
3.3.3	Flexibilidad	26
3.3.4	Facilidad de pulido	27
3.3.5	Plasticidad	27
3.3.6	Densidad	27
3.3.7	Porosidad	27
3.3.8	Higroscopicidad	27
3.3.9	Contracción	27
3.3.10	Hinchazón	28
3.3.11	Homogeneidad	28
3.3.12	Color	28
3.3.13	Veteado	28
3.3.14	Conductibilidad	28
3.3.15	Duración	29
3.4	Características de diferentes tipos de madera	29
3.4.1	Roble	29
3.4.2	Roble Rojo	29
3.4.3	Teka	29
3.4.4	Cedro	30
3.4.5	Abeto	30
3.4.6	Fresno	31

3.4.7	Haya	31
3.4.8	Abedul	31
3.4.9	Olmo	31
3.5	Estabilización de la madera	31
3.5.1	Tipos de secado de la madera	32
3.5.2	Efectos del secado	33
3.5.3	Deformaciones durante el secado	34
3.5.4	El proceso de secado o estabilización de la madera	34
3.5.5	El gradiente de secado de la madera	35
3.6	Tallado de la madera	35
3.7	Herramientas usadas para el tallado de madera	37
3.7.1	Herramientas manuales	37
3.7.2	Herramientas electromecánicas	40
3.8	Mecanismo de movimiento de tres ejes	42
3.9	Sistemas de desplazamiento	43
3.9.1	Sistema tornillo tuerca	43
3.9.2	Sistema cremallera piñón	45
3.9.3	Sistema de bandas	46

4. Sistemas de control numérico (CNC)

4.1	Marco general	48
4.2	Definición de sistemas de control numérico	50
4.3	Historia de los CNC	51
4.4	Tipos de sistemas de automatización	53
4.5	Características de las MHCN	54
4.6	Programación en el control numérico	56
4.7	Ventajas de los CNC	58
4.8	Desventajas de los CNC	59

5. El motor de pasos y su control eléctrico

5.1	Marco General	60
-----	---------------------	----

5.2	Principio de funcionamiento	62
5.3	Tipos de motores de pasos	65
5.4	Parámetros de los motores de pasos	67
5.5	Categorías de los motores de pasos	69
	5.5.1 Motor de reluctancia variable	69
	5.5.2 Motor de magneto permanente	70
	5.5.3 Motor Híbrido	70
5.6	Tarjeta de movimiento de tres ejes	71
	5.6.1 El C.I. L297	72
	5.6.2 El C.I. TEA3718	74
	5.6.3 El C.I. SG3524	76
	5.6.4 El C.I. SAA1027	77
5.7	Fuente de poder	78

6. Construcción del prototipo.

6.1	Marco General	80
6.2	Propuesta de la construcción del prototipo	80
6.3	Construcción del sistema de movimiento	82
	6.3.1 Construcción de los soportes longitudinales	82
	6.3.2 Construcción del puente	83
	6.3.3 Construcción del cabezal	83
6.4	El Motor de pasos	84
6.5	Construcción de los drive's	85
6.6	Configuración de la interfase gráfica	86
6.7	El puerto paralelo	89

7. Pruebas del prototipo.

7.1	Marco General	91
7.2	Pruebas a los drive's	91
	7.2.1 Prueba de corriente Vs velocidad	92
7.3	Pruebas de comunicación de los drive's con el KCam	93

7.4	Conclusiones.	96
7.5	Trabajos futuros.	99
	Referencias.	100
	Apéndice A.	103
	Apéndice B.	106
	Apéndice C.	107
	Apéndice D.	108

Lista de Figuras

2.6.1	Dibujo elaborado con Autocad 2004 versión en español	14
2.7.1	Ventana típica de un programa CAM	15
2.8.1.1	Panel básico de un sistema CNC industrial.	17
2.9.1	Ventana principal del KCam y algunas sub ventanas.	18
2.10.1	Bajorrelieve en piedra del dios azteca Quetzalcóatl	19
2.10.2	Bajorrelieve en metal llamado “El sacrificio de Isaac”	20
2.10.3	Bajorrelieve en madera llamado “Comerciante romano”	20
2.11.1	Ejemplo de las rutas para la fabricación de un objeto.	23
3.2.1	Partes principales de un tronco de madera	25
3.5.3.1	Efectos de un mal secado en la madera	34
3.5.4.1	Diferencia entre el secado natural (izquierda) y Artificial (derecha).....	35
3.6.1	Grabado sobre madera en objetos de uso domestico	36
3.7.1.1	Herramienta para realizar cortes en madera llamada Formón	37
3.7.1.2	Distintos tipos de Formones	38
3.7.1.3	Herramienta para realizar rebajes en madera llamada Gubia	38
3.7.1.4	Perfiles de distintas gubias	39
3.7.2.1	Distintos tipos de fresas para el tallado y grabado de madera	40
3.7.2.2	Rebajadora marca BOSH de 2 hp de potencia y 11 Amp.	41
3.7.1	Router’s de control numérico tipo industrial	41
3.8.1	Esquema de fresadora puente de 3 ejes	42
3.9.1.1	Sistema de movimiento tornillo tuerca	44
3.9.1.2	Ilustración del paso y avance en el sistema tornillo tuerca	44
3.9.2.1	Imagen del sistema piñón cremallera	45
3.9.2.2	Ilustración del desplazamiento en el sistema piñón cremallera	45
3.9.2.3	Factores importantes en el sistema piñón cremallera	46
3.9.3.1	Vista superior del sistema de movimiento tipo banda	46
3.9.3.2	Vista lateral del sistema de movimiento tipo banda	47
4.1.1	Diseño del fuselaje de un avión	49
4.1.2	Máquina herramienta de control numérico industrial.....	50
4.2.1	Tablero de mandos de una máquina herramienta de control numérico....	51

4.3.1	Desarrollo de sistemas de control numérico en laboratorios escolares....	53
5.1.1	Posibles combinaciones para controlar motores.....	60
5.1.2	Motores de pasos	62
5.3.1	Conexión interno de los motores de pasos	66
5.3.2	Motor unipolar y su dispositivo de control	66
5.3.3	Motor bipolar y su dispositivo de control	67
5.5.1.1	Vista de sección de un motor por pasos de reluctancia variable	69
5.5.2.1	Vista en sección de un magneto permanente	70
5.5.3.1	Distancia de desplazamiento por paso en un motor híbrido	71
5.6.1.1	Circuito Integrado L297 y su diagrama de bloques	72
5.6.1.2	Control de un motor de pasos utilizando los C.I. L297 y L298N	73
5.6.1.3	Control para motores unipolares utilizando los CI L297 y ULN2075B.	73
5.6.1.4	Tren de pulsos de entrada y salidas en las fases A B C y D	74
5.6.2.1	Circuito Integrado TEA3718 y su diagrama de bloques	75
5.6.2.2	Circuito de control para un motor de pasos utilizando dos TEA3718.....	75
5.6.3.1	Circuito Integrado SG3524 y su diagrama de bloques	76
5.6.3.2	Control para motores de pasos unipolar basado en el CI SG3524	76
5.6.4.1	Interconexión del C.I. SAA 1027 y el motor de pasos	77
5.7.1	Fuente de poder utilizada	79
6.3.1.1	Vista isométrica de la mesa de trabajo, soportes longitudinales y otros accesorios	82
6.3.2.1	Diseño de la mesa de trabajo, soportes longitudinales y otros accesorios	83
6.3.3.1	Herramienta de corte.....	84
6.4.1	Motor de pasos unipolar de seis hilos	84
6.5.1	Diagrama esquemático del drive.	85
6.5.2	Drive de control construido y circuito impreso	86
6.6.1	Ventana del programa KCam para config. de la superficie de trabajo.....	87
6.6.2	Ventanas del programa KCam para config. del puerto a utilizar.....	88
6.6.3	Ventana del programa KCam para config. del tiempo.....	88
6.7.1	Conector puerto paralelo DB25 de la PC	89

6.7.2	Configuración y conexión del puerto paralelo, drive y motores de pasos.	90
7.2.1.1	Gráfica de Corriente vs. Velocidad con el drive trabajando en medios pasos	92
7.2.1.2	Gráfica de Corriente vs. Velocidad con el drive trabajando en pasos completos	92
7.3.1	Dibujo a manufacturar diseñado en AutoCAD 2004	94
7.3.2	Dibujo importado desde AutoCAD por el software KCam listo para ser manufacturado.	94
7.3.3	Fotografía del sistema en las pruebas realizadas	95
7.3.3	Dibujo a manufacturar diseñado en AutoCAD 2004	95
7.3.4	Dibujo importado desde AutoCAD por el software KCam listo para ser manufacturado.	96

Lista de Tablas

2.11.1	Código DXF y su descripción	21
2.11.2	Código G y descripción de algunos comandos	21
2.11.3	Código M y descripción de algunos comandos.	22
2.11.4	Código para la elaboración de la figura 2.11.1	23
5.2.1	Secuencias de pasos para el funcionamiento del motor bipolar	63
5.2.2	Secuencias de pasos para el funcionamiento del motor unipolar con paso simple	63
5.2.3	Secuencias de pasos para el funcionamiento del motor unipolar con paso doble	64
5.2.4	Secuencias de pasos para el funcionamiento del motor unipolar con medio paso.	65
5.4.1	Angulo por paso y número de pasos por revolución en motores de pasos	68
5.6.1.1	Función de los pines del C.I. LM 297	74

Lista de Símbolos y Abreviaturas

°C	Grados Centígrados
Amp.	Amperes
BDS	Descripción de un sistema de tipo bloque (<i>Building Description System</i>)
C.I.	Circuito Integrado
CAD	Diseño Asistido por Computadora (<i>Computer Aided Design</i>)
CAE	Ingeniería Asistida por Computadora (<i>Computer Aided Engineering</i>)
CAM	Manufactura Asistida por Computadora (<i>Computer Aided Manufacturing</i>)
CIM	Manufactura integrada por computadora (<i>Computer Integrated Manufacturing</i>)
CNC	Control Numérico Computarizado
CTR	Pantalla de tubo de rayos catódicos
GM	<i>General Motors</i> ®
Hp	Caballos de fuerza (<i>Horse Power</i>)
I	Corriente
IGES	Estándar inicial de intercambio de gráficos (<i>Initial Graphics Exchange Standard</i>)
KG	Kilogramo
LSI	Alta Escala de Integración (<i>Large Scale Integration</i>)
M ³	Metro cúbico
MIT	Instituto Tecnológico de Massachusetts (<i>Massachusetts Institute of Technology</i>)
mm	Milímetro
PC	Computadora Personal (<i>Personal Computer</i>)
PDP-1	Computadora de segunda generación (<i>Programmed Data Processor-1</i>)
PLC	Controladores Lógicos Programables (<i>Program Logic Controlers</i>).
PWM	Modulador de ancho de pulso
RPM	Revoluciones Por Minuto
SAGE	Superficie envolvente semiautomática (<i>Semi Automatic Ground Envioirement</i>)
STEP	Estándar para el intercambio de modelos de productos (<i>Standard for the Exchange of Product model data</i>)
US	Estados Unidos de Norteamérica (<i>united state</i>)
V	Voltaje

Capítulo 1

Introducción

1.1.- Antecedentes

En la actualidad, todas las industrias se encuentran frente a un gran problema u oportunidad, llamado globalización y es que actualmente es tan grande y fuerte la competencia entre todas las industrias del mundo por vender más, generar un menor costo en sus producciones y aumentar la velocidad con la que elaboran sus productos. Es por esto, que solo las que se actualizan crecen y vencen a aquellas que simplemente se rezagan en esta interminable carrera.

Por lo anterior, es de gran importancia la automatización de los procesos en las industrias, no importando lo que fabriquen sino la rapidez y eficiencia con que lo hacen.

En la actualidad los router's son una herramienta bastante importante ya que nos permite la elaboración de objetos muy complejos, un router es un dispositivo al cual se le proporciona el diseño del objeto a elaborar en forma de dibujo electrónico, dicho router esta provisto tanto de software como de hardware, lo cual le permite recibir un archivo de un tipo y convertirlo en otro de tipo distinto, en esta conversión de datos el router establece las rutas que seguirá el hardware conectado a él y de este modo manufacturar la pieza u objeto que se desee.

En la automatización de estos procesos se ha visto el nacimiento de las máquinas herramientas de control numérico computarizado las cuales nos permiten una gran flexibilidad y precisión a la hora de la elaboración de objetos de una gama muy variada de materiales como:

- Plástico
- Madera
- Vidrio
- Acero
- Etc.

Teniendo en una sola máquina distintas máquinas herramientas como:

- Mandriladora

- Fresadora
- Cortadora
- Torno
- Etc.

Aunque el primer vestigio de la creación de una máquina de control numérico se dio en Inglaterra en el año de 1725, esta máquina funcionaba con tarjetas perforadas las cuales eran desechadas cada vez que una instrucción se quería cambiar.

El desarrollo de la automatización de los procesos no paro ahí y en 1873 fue diseñado un piano por el norteamericano M. Forneaux, el cual funcionaba también con tarjetas perforadas.

El siguiente gran paso digno de mención se dio cuando en 1942, la corporación BENDIX tuvo problemas con la fabricación de una leva tridimensional. El perfil tan especial de dicha leva es prácticamente imposible de realizar con máquinas comandadas manualmente. Se acordó entonces confiar los cálculos a una máquina automática que definiera un gran numero de puntos de la trayectoria.

Después de 10 años, para ser exactos en 1953 el Instituto Tecnológico de Massachusetts utiliza por primera vez el nombre de “Control numérico”.

Y por ultimo a finales de 1968 se desarrolla completamente el CNC como lo conocemos ahora y hasta nuestra fecha solo se ha ido perfeccionando y adicionándole el poder de las nuevas herramientas computacionales con las que contamos actualmente.

1.2.- Objetivos

Los objetivos de este proyecto son:

- Diseñar un router de control numérico, esto implica.
- Diseñar y construir los drive's que controlaran los motores.
- Configurar una interfaz gráfica comercial del sistema operativo Windows.
- Realizar un programa para un PIC que nos sirva para realizar las pruebas a los drives de control.
- Construir un cable de comunicación para que interactúen los drive's de control con el programa en la computadora.
- Construir la mesa de trabajo.

- Construir el eje X de la máquina herramienta.
- Construir el sistema de movimiento del eje X de la máquina herramienta (piñones, cremalleras, etc.).

1.3.- Justificación

Las máquinas herramientas han jugado un papel fundamental en el desarrollo tecnológico del mundo hasta el punto que no es una exageración decir que la tasa del desarrollo de máquinas herramientas gobierna directamente la tasa del desarrollo industrial.

Gracias a la utilización de la máquina herramienta se ha podido realizar de forma práctica, maquinaria de todo tipo.

Así por ejemplo, si para la mecanización total de un número de piezas fuera necesario realizar las operaciones de fresado, mandrilado y perforado, es lógico que se alcanzaría la mayor eficacia si este grupo de máquinas herramientas estuvieran agrupadas, pero se lograría una mayor eficacia, si todas estas operaciones se realizaran en una misma máquina. Esta necesidad, sumada a numerosos y nuevos requerimientos que día a día aparecieron, forzaron la utilización de nuevas técnicas que reemplazaran al operador humano.

De esta forma fue introducido el control numérico en los procesos de fabricación, impuesto por varias razones.

- Fabricar productos que no se podían conseguir en calidad y cantidad suficientes sin recurrir a la automatización del proceso de fabricación.
- Obtener productos hasta entonces imposibles o muy difíciles de fabricar, por ser excesivamente complejos para ser controlados por un operador humano.
- Fabricar productos a precios suficientemente bajos.

Como se ha mencionado anteriormente y como es sabido por todos, actualmente el desarrollo de una nación se basa en la fabricación y comercialización de productos y esto solo se logra satisfactoriamente entregando insumos de buena calidad a buen precio, sin dejar de lado que el volumen en la producción debe ser abundante.

La mejor opción para que las pequeñas, medianas y grandes empresas mexicanas puedan competir con las empresas extranjeras es la mecanización de sus procesos.

Por esto es esencial para todo ingeniero poder diseñar, construir, reprogramar, operar y mejorar las máquinas de control numérico.

1.4.- Metodología

Se desarrolla este trabajo, iniciando con un análisis documental de diversos temas tales como:

- El control numérico.
- Tipos y características de las maderas.
- El dibujo electrónico industrial.
- Tipos de motores
- Características y tipos de circuitos integrados para controlar motores de pasos.

Fue diseñado el control de los motores de pasos así como el sistema de comunicación de la computadora con dicho control.

Se construyó la tarjeta de comunicación así como las otras tarjetas para controlar los motores de pasos.

Se diseñaron los tres ejes de la máquina de CNC, se construyó la mesa y uno de los ejes.

La selección de materiales en la construcción de todo el proyecto ha sido de acuerdo a la facilidad de adquisición de dicho material.

Concluida la investigación, diseño y construcción de algunas de las partes de la MHCN han sido sometidas a diversas pruebas de funcionamiento y así obtenemos varias conclusiones para observar y estudiar la factibilidad del proyecto así como un minucioso planteamiento para posibles mejoras.

1.5.-Descripción de los capítulos

En el capítulo uno se da una breve descripción del trabajo, se muestra la situación actual en el desarrollo de las máquinas de control numérico computarizado y se resaltan los beneficios de utilizar estas máquinas en las industrias así como de lo importante que es para un ingeniero tener la capacidad de manejar, programar incluso diseñar este tipo de máquinas.

En el capítulo dos se presenta el dibujo electrónico industrial y se describen diversos programas de tipo CAD, CAM y la forma que interactúan ambos, así como una descripción de lo que son las superficies de bajorrelieve.

En el capítulo tres se encontrarán las características de distintos tipos de madera, las mejores para trabajar con herramientas de fresado, las diversas formas de estabilizarlas, las herramientas manuales y electromecánicas con las que se trabaja la madera. Además de mecanismos y de sistemas de movimiento en tres ejes.

En el capítulo cuatro se hace referencia a los sistemas de control numérico computarizado, sus definiciones, características, tipos de programación, ventajas y desventajas con que estos sistemas cuentan.

En el capítulo cinco se describe el principio de funcionamiento del motor de pasos, sus diferentes aplicaciones, tipos, parámetros y categorías. También tocaremos el tema del drive o controlador del motor de pasos, su descripción y explicaremos su funcionamiento.

En el capítulo seis se describe paso a paso la construcción y armado de las piezas fabricadas para la máquina herramienta de control numérico computarizado (MHCNC).

En el capítulo siete se muestran los resultados de las pruebas a las que fueron sometidos los diversos componentes de la máquina así como las diversas modificaciones que se le hicieron al diseño original. Se dan a conocer las conclusiones a las que se ha llegado, se hace también un estudio de factibilidad económica además de señalar las posibles mejoras a las que puede ser sometido el modelo.

Capítulo 2

El dibujo electrónico industrial

2.1.- Marco general

El diseño y la fabricación asistidos por computadora es una disciplina que estudia el uso de sistemas informáticos como herramienta de soporte [Martino 1990] en todos los procesos involucrados en el diseño y la fabricación de cualquier tipo de producto. Esta disciplina se ha convertido en un requisito indispensable para la industria actual que se enfrenta a la necesidad de mejorar la calidad, disminuir los costos y acortar los tiempos de diseño y producción. La única alternativa para conseguir este triple objetivo es la de utilizar la potencia de las herramientas informáticas actuales e integrar todos los procesos, para reducir los costos (de tiempo y dinero) en el desarrollo de los productos y en su fabricación.

El uso cooperativo de herramientas de diseño y de fabricación ha dado lugar a la aparición de una nueva tecnología denominada fabricación integrada por computadora e incluso se habla de la “Gestión Integrada por Computadora” como el ultimo escalón de automatización hacia el que todas las empresas deben orientar sus esfuerzos. Esta tecnología consiste en la gestión integral de todas las actividades y procesos desarrollados dentro de una empresa mediante un sistema informático. Para llegar a este escalón sería necesario integrar, además de los procesos de diseño y fabricación, los procesos administrativos y de gestión de la empresa lo que rebasa el objetivo más modesto de esta tesis que se centra en los procesos de diseño y fabricación, básicos para la gestión integrada.

2.2.- Definición del termino CAD - CAM

CAD es el acrónimo de “*Computer Aided Design*” o diseño asistido por computadora. Se trata de la tecnología implicada en el uso de computadoras para realizar tareas de creación, modificación, análisis y optimización de un diseño. De esta forma, cualquier aplicación que incluya una interfaz gráfica y realice alguna tarea de ingeniería se considera software de CAD.

Las herramientas de CAD abarcan desde herramientas de modelado geométrico hasta aplicaciones a medida para el análisis u optimización de un producto específico. Entre estos dos extremos se encuentran herramientas las cuales nos permiten:

- Modelado
- Análisis de tolerancias
- Calculo de propiedades físicas (masa, volumen, momentos, etc.),
- Análisis de elementos finitos,
- Ensamblado, etc.

La función principal en estas herramientas es la definición de la geometría del diseño (pieza mecánica, arquitectura, circuito electrónico, etc.).

La geometría de un objeto se usa en etapas posteriores en las que se realizan tareas de ingeniería y fabricación. De esta forma se habla también de ingeniería asistida por computadora o *Computer Aided Engineering*, para referirse a las tareas de análisis, evaluación, simulación y optimización desarrolladas a lo largo del ciclo de vida del producto. De hecho, este es el mayor de los beneficios de la tecnología CAD, la reutilización de la información creada en la etapa de síntesis en las etapas de análisis y también en el proceso CAM.

El término CAM se puede definir como el uso de sistemas informáticos para la planificación, gestión y control de las operaciones de una planta de fabricación mediante una interfaz directa o indirecta entre el sistema informático y los recursos de producción así pues, las aplicaciones del CAM se dividen en dos categorías:

Interfaz directa: Son aplicaciones en las que la computadora se conecta directamente con el proceso de producción para monitorizar su actividad y realizar tareas de supervisión y control. Así pues estas aplicaciones se dividen en dos grupos:

- Supervisión: implica un flujo de datos del proceso de producción a la computadora con el propósito de observar el proceso y los recursos asociados y recoger datos.
- Control: supone un paso más allá que la supervisión, ya que no solo se observa el proceso, sino que se ejerce un control basándose en dichas observaciones.

Interfaz indirecta: Se trata de aplicaciones en las que la computadora se utiliza como herramienta de ayuda para la fabricación, pero en las que no existe una conexión directa con el proceso de producción.

2.3.- Historia de los CAD - CAM

En la historia del CAD/CAM se pueden encontrar precursores de estas técnicas en dibujos de civilizaciones antiguas como Egipto, Grecia, Roma, etc. Los trabajos de Leonardo da Vinci muestran técnicas CAD actuales como el uso de perspectivas. Sin embargo, el desarrollo de estas técnicas esta ligado a la evolución de las computadoras.

Como se ha mencionado la evolución y desarrollo de las aplicaciones CAD han estado íntimamente relacionadas con los avances del sector informático. El nacimiento del CAD, lo podemos situar al final del periodo de las computadoras de primera generación, pero tiene su pleno desarrollo a partir de la aparición de las computadoras de cuarta generación en que aparecen los circuitos de alta escala de integración LSI “*Large Scale Integration*”, en los cuales ya están desarrollados plenamente los lenguajes de alto nivel. Y también están desarrolladas: la memoria virtual utilizando sistemas de memoria jerárquicamente estructurados, la multiprogramación y la segmentación con el propósito de permitir la ejecución simultánea de muchas partes del programa.

A destacar, el gran interés estratégico que desde el principio ha tenido el CAD para las empresas, por el enorme impacto en la productividad. Las grandes compañías desde el principio han apostado por el CAD y ello supone importantes inversiones, que lógicamente potencian y convierten el CAD en un producto estratégico con un gran mercado.

La cronología del CAD, se puede resumir en los siguientes datos agrupados en los apartados:

2.3.1.- Antecedentes del CAD – CAM

* 1955: El primer sistema gráfico SAGE (*Semi Automatic Ground Enviorement*) de las Fuerzas aéreas norteamericanas (*US Air Force's*), es desarrollado en el *Lincoln Laboratory* del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*).

El sistema SAGE procesaba datos de radar y otras informaciones de localizaciones de objetos mostrándolos a través de una pantalla CTR (tubo de rayos catódicos).

* 1958: Aparecen las primeras máquinas herramientas y *General Motors* comienza a usar técnicas basadas en el uso interactivo de gráficos para sus diseños.

*1962: Basado en su tesis doctoral Ivan E. Sutherland desarrolla en el *Lincoln Laboratory* (MIT) el sistema *Sketchpad*.

La tesis "*A Machines Graphics Communications System*" establece las bases de los gráficos interactivos por computadora tal y como hoy los conocemos. Sutherland propuso la idea de utilizar un teclado y un lápiz óptico para seleccionar situar y dibujar, conjuntamente con una imagen representada en la pantalla.

Aun más innovadora, era la estructura de datos utilizada por Sutherland. A diferencia de todo lo que se había hecho hasta entonces, estaba basada en la topología del objeto que iba a representar, es decir describía con toda exactitud las relaciones entre las diferentes partes que lo componía, introduciendo así, lo que conoce como Programación Orientada a Objetos.

Antes de esto, las representaciones visuales de un objeto realizadas en la computadora, se habían basado en un dibujo y no en el objeto en si mismo. Con el sistema *Sketchpad* de Sutherland, se trazaba una clara distinción entre el modelo representado en la estructura de datos y el dibujo que se veía en la pantalla.

Proyectos paralelos *Sketchpad*, se desarrollaron en ITEK y *General Motors* (empresas privadas estadounidenses). El proyecto de ITEK: "The Electronic Drafting Machine" utilizaba: una computadora PDP-1 (*Programmed Data Processor-1*) de *Digital Equipment Corp.*, pantalla vectorial de refresco con memoria de refresco en disco duro, tableta y lápiz electrónico para introducción de datos.

* 1963: El sistema *Sketchpad* introducido en las universidades causa gran expectación. Quizás lo más interesante fuera la demostración de que la computadora podía calcular que líneas eran las que definían la parte vista del objeto al tiempo que borraba de la pantalla el resto.

Las líneas ocultas permanecían en la memoria de la computadora, en la base de datos, y volvían a aparecer cada vez que se colocaba el cuerpo en una posición distinta respecto al observador. Las limitaciones del sistema provenían más de la capacidad de la computadora que del principio conceptual como tal.

El Prof. Charles Eastman de *Carnegie-Mellon University* desarrolla BDS (*Building Description System*). Estaba basado en una librería de cientos de miles de elementos arquitectónicos, los cuales, pueden ser ensamblados y mostrar sobre la pantalla un diseño arquitectónico completo.

2.3.2.- El CAD irrumpe en el mercado

*1965: Basado en ITEK *Control Data Corp.*, comercializa el primer CAD con un precio de 500.000 US\$.

El Prof. J. F. Baker Jefe del *Cambridge University Engineering Department*, inicia las investigaciones en Europa trabajando con una computadora gráfica PDP-1.

A. R. Forrest realiza el primer estudio de investigación con un CAD, realizando intersección de dos cilindros.

*1969: COMPUTERVISION desarrolla el primer *plotter* (trazador).

*1970: Las grandes compañías del sector automóvil y aeroespacial (*General Motors, Ford, Chrysler, Lockheed*) adoptan los sistemas CAD

*1975: TEXTRONIX desarrolla la primera pantalla de 19".

AMD (*AVION MARCEL DASSAULT*), desarrolla el primer sistema CAD/CAM y Lockheed es la primera empresa que lo compra.

*1977: Se crea *DELTA TECHNICAL SERVICES* en la Universidad de Cambridge (*Cambridge University*).

*1978: COMPUTERVISION desarrolla la primer terminal gráfico que utiliza la tecnología *raster*.

A finales de los 70's un sistema CAD tenía un precio de 125.000 US \$.

*1979: *Boeing, General Electric* y NIST, desarrollan un formato neutral de intercambio de datos IGES (*Inicial Graphics Exchange Standard*)

*1980: Se crea MATRA DATAVISION

Se crea la empresa española INVESTRÓNICA, con desarrollos CAD y CAM para la industria textil-confección.

MATRA DATAVISION comienza desarrollos CAD/CAM.

*1981: Se crea DASSAULT SYSTEM.

Basados en desarrollos de la *Cornell University*, la empresa 3D/Eye Inc., es la pionera en 3D y tecnología de gráficos.

UNIGRAPHICS presenta *Unisolid* el primer sistema de modelado sólido sobre una computadora PADL-2.

2.3.3.-La difusión global del CAD.

*1982: John Walker funda *AUTODESK* con 70 personas con la idea de producir un programa CAD para PC de menos de 1000 US \$. En el COMDEX de Noviembre de Las Vegas presenta el primer AutoCAD.

*1983: Inicio del sistema universal de transferencia de datos STEP (*Standard for the Exchange of Product model data*)

*1985: Se presenta *MicoStation*, desarrollo CAD para PC, basado en *PseudoStation* de *Bentley System*. Permite ver dibujos en formato IGDS, sin necesidad del software de *Interghhs*.

*1990: Mac Donell Douglas (*Boeing*) selecciona el sistema *Unigraphics*.

*1992: El primer AutoCAD sobre plataforma SUN (procesadores *Risc*)

*1995: El primer AutoCAD, sobre Windows.

*1995: *Unigraphics* sobre el sistema operativo Windows.

*1996: *General Motors* firma el mayor contrato de la historia CAD/CAM con *Unigraphics*

*1997: Los líderes mundiales de mercado CAD/CAM son: 1º *Parametric Technology*, 2º *Dassault Systems*, 3º *EDS/Intergraph*, 4º *SDRC*, 5º *Autodesk*.

El volumen del mercado 95.800 millones de US\$ en Estados Unidos y en Europa de 24.500 millones de Euros.

*1999: La empresa *Autodesk* tiene 1.000.000 usuarios de AutoCAD LT y 100.000 3D Studio.

*2000: *Autodesk* inicia la venta por Internet de AutoCAD 2000.

*2001: Se presenta la versión de AutoCAD 2002. Destacan la función de asociación de funciones de las dimensiones en el dibujo, el editor gráfico de atributos. La definición de bloques y un conversor de capas asociado a la funcionalidad del gestor de normas. Así como una orientación hacia trabajar por Internet.

2.4.- Tipos de CAD – CAM

En la actualidad hay tantos tipos de sistemas CAD/CAM como las combinaciones de los software de los dos por separado ya que en su mayoría todos están diseñados para comunicarse entre si, a continuación se presentan distintos programas tanto de CAD como de CAM:

CAD's

- AutoCad
- DeltaCad
- Corel Draw
- Desk Art
- Solid Works
- Etc.

CAM's

- DesKam
- KCam
- ArtCam
- MasterCam
- FeatureCam
- Etc.

La utilización de cada software depende solo de la disposición económica para adquirir dichos paquetes computacionales ya que hay desde los que son gratis o de prueba, hasta los que están sumamente caros, claro está que su valor es directamente proporcional a las utilerías con que dichos programas cuentan, a las facilidades que nos brindan, ambientes grafico mas agradables y un mas fácil manejo.

2.5.- Características de los CAD – CAM

Las características principales que nos brinda el CAD – CAM es, como ya se menciono anteriormente el de poder elaborar piezas con gran exactitud, a un bajo costo y con una gran rapidez.

Nos permite además tener una gran interacción entre los diferentes tipos de CAD y de CAM ya que en su mayoría todos son compatibles con todos, siempre y cuando los dos utilicen el mismo sistema operativo.

Cabe destacar que es muy fácil encontrar mucho software gratis tanto de CAD como de CAM en Internet, claro que muchos de estos son una muestra de los comerciales y solo se pueden utilizar por periodos que van desde 15 días hasta uno o dos meses y no nos permiten tener algunas funciones como los que se encuentran en venta, existe otra clase de software gratis en la RED y son los que se encuentran en desarrollo y son para que la gente los utilice aunque aun dichos paquetes cuenten con deficiencias, pero también es de destacar que se pueden encontrar programas muy completos y que para la elaboración de piezas no muy complicadas estos paquetes computacionales pueden llenar nuestras expectativas e incluso superarlas, muestra de ellos es el KCAM 4 el cual esta disponible gratuitamente y es con el que más adelante trabajaremos.

2.6.-El AutoCAD

EL AutoCAD es un programa con una larga sucesión de nuevas utilidades y características que han hecho de este programa una herramienta bastante poderosa, fácil de utilizar y con una interfase cada vez más amigable con el usuario. En su historia y desarrollo encontramos una serie de 19 ediciones las cuales son:

- Versión 1.0 (Release 1), noviembre de 1982
- Versión 1.2 (Release 2), abril de 1983
- Versión 1.3 (Release 3), septiembre de 1983
- Versión 1.4 (Release 4), noviembre de 1983
- Versión 2.0 (Release 5), octubre de 1984
- Versión 2.1 (Release 6), mayo de 1985
- Versión 2.5 (Release 7), junio de 1986
- Versión 2.6 (Release 8), abril de 1987
- Release 9, septiembre de 1987
- Release 10, octubre de 1988
- Release 11, julio de 1990
- Release 12, junio de 1992

- Release 13, noviembre de 1994
- Release 14, febrero de 1997
- AutoCAD 2000, febrero de 1999
- AutoCAD 2002, agosto de 2001
- AutoCAD 2004, marzo de 2003
- AutoCAD 2006, septiembre de 2005
- AutoCAD 2007, julio de 2006

Para este proyecto fue utilizado el AutoCAD 2004 en Español ya que es un programa bastante nuevo, muy agradable para trabajar y además relativamente fácil de manejar, en la figura 2.6.1 se observa un dibujo hecho en este programa así como algunas de las partes principales de la ventana de este software.

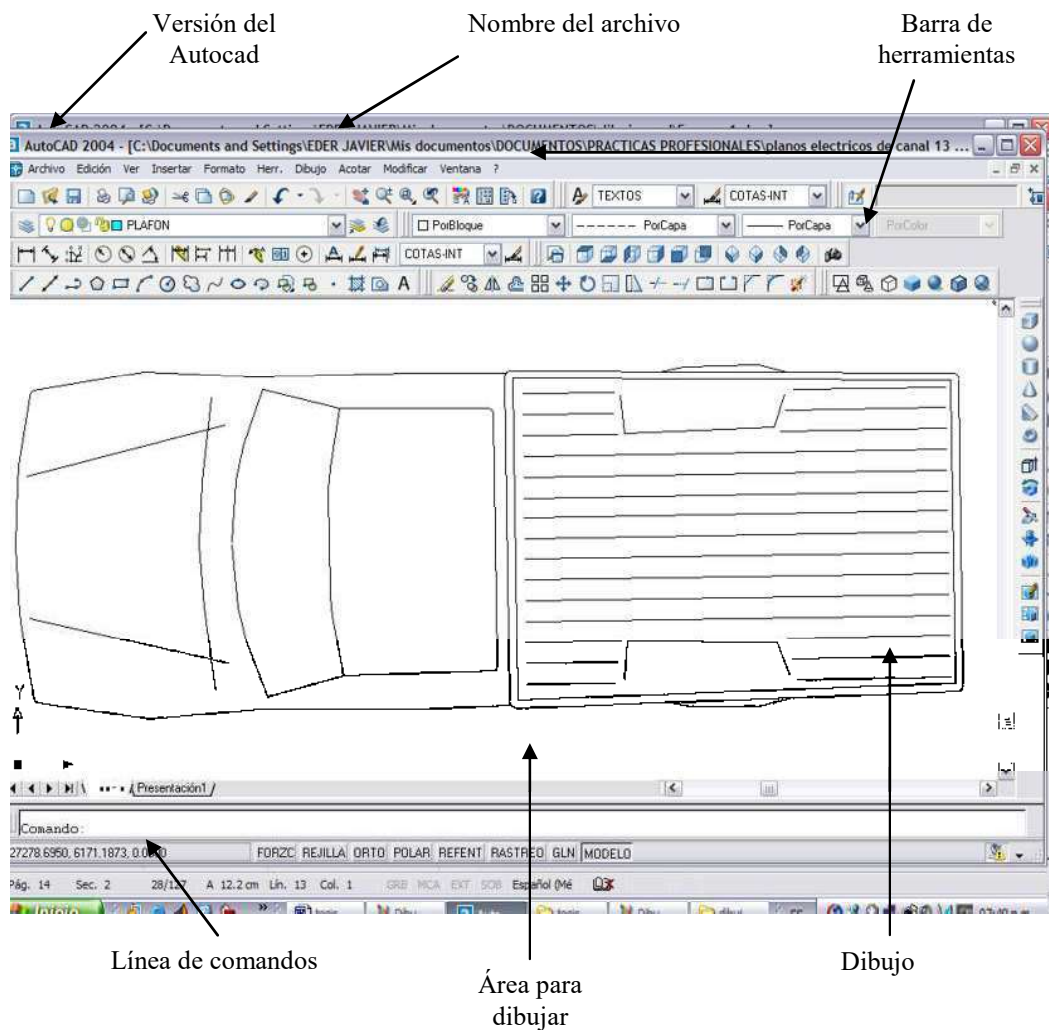


Figura 2.6.1.- Dibujo elaborado con Autocad 2004 versión en español

2.7.-Definición de los CAM's

CAM es el acrónimo de *Computer Aided Manufacturing* o en español manufactura asistida por computadora [Universidad Tecnológica de Panamá 2006], este tipo de programas se conectan con otro software de tipo CAD y estos dos programas juntos conforman lo que se le llama un sistema integrado CAD-CAM.

Los equipos CAM se basan en una serie de códigos numéricos, almacenados en archivos, para controlar las tareas de fabricación. Este control numérico por computadora se obtiene describiendo las operaciones de la máquina en términos de los códigos especiales y de la geometría de formas de los componentes, creando archivos especializados o programas de piezas. La creación de estos programas de piezas es una tarea que, en gran medida, se realiza hoy en día por software especial que crea un vínculo entre los sistemas CAD y CAM en la figura 2.7.1 se muestra una ventana de un programa CAM.

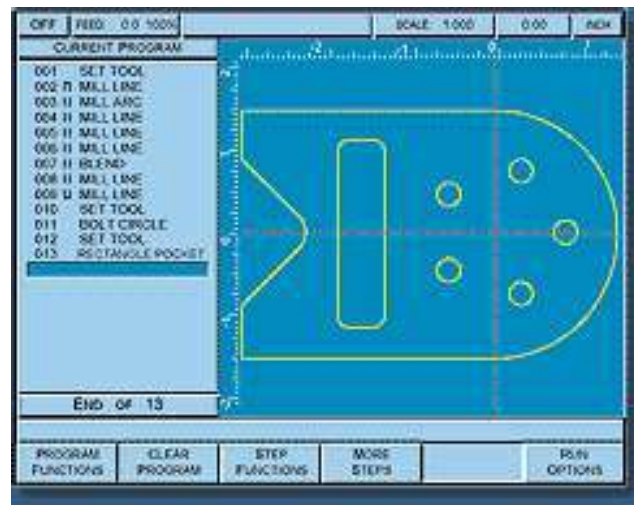


Figura 2.7.1 Ventana típica de un programa CAM

El área de prototipos rápidos es una evolución de las técnicas de CAD/CAM, en la que las imágenes tridimensionales se convierten en modelos reales empleando equipos de fabricación especializada, Desk ART es un ejemplo de estos sistemas de estereolitografía.

2.8.-Tipos de CAM's

A continuación, se detallan las principales características de dos tipos de controles numéricos unos llamados CAM industriales y otros de los conocidos como lite.

2.8.1.-CAM's industriales

Analizaremos tres programas de control numérico de tipo industrial, el primero es de la firma *SIEMENS* de nombre *SINUMERIC 3T* fabricado en el año de 1984, el segundo y tercero de la compañía *FAGOR* con los nombres de CNC 8025 y CNC 8030 respectivamente.

SINUMERIC 3T es un CNC con microprocesador para tornos, con mando de interconexión programable integrado, para dos ejes de control en X y Z. interpolación lineal y circular, la entrada/salida del programa se puede hacer a través del teclado alfanumérico del panel del servicio o a través de la interfase RS 232.

Este CNC tiene una función de *Teach-Inc, playback*, la cual permite la realización del programa durante el mecanizado de una pieza muestra, además cuenta con sistemas de vigilancia en la interconexión y en la máquina para impedir daños en la pieza, su velocidad de avance va desde 0.01 mm/vuelta hasta 50mm/vuelta, la precisión de entrada/salida es de 0.001 mm.

CNC 8025 es un CNC que esta preparado para su uso en ambientes industriales, concretamente en tornos. Permite controlar los movimientos y accionamientos de la máquina.

El control numérico CNC 8025 es un modulo cerrado y compacto que dispone en su panel frontal de un monitor monocromático de 8 pulgadas, que se utiliza para mostrar la información requerida del sistema, un teclado que permite la comunicación con el CNC, pudiéndose solicitar información mediante comandos o bien alterar el estado del CNC mediante la generación de nuevas instrucciones y un panel de control que contiene las teclas necesarias para trabajar en modo manual y los botones de arranque y paro del ciclo en la figura 2.8.1.1 se observa un panel de control de un CNC.

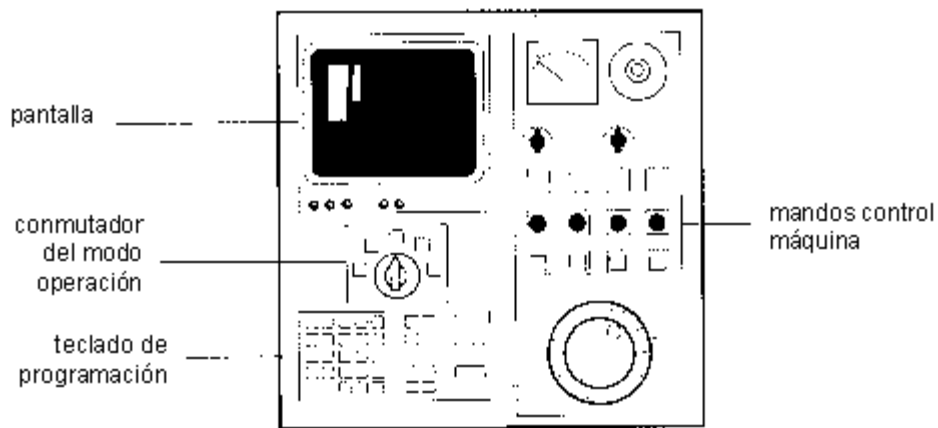


Figura 2.8.1.1.- Panel básico de un sistema CNC industrial.

Existen en el mercado muchos programas CAM de tipo industrial como estos, aquí solo se presentaron tres de ellos con la finalidad de dar un panorama general de los mismos, se debe señalar que estos son programas bastante robustos que cuentan con sus propios puertos de entrada/salida y que estos no siempre son compatibles con las computadoras personales ya que son programas creados para ser usados en las industrias.

2.8.2.-CAM's lite

Existen versiones disponibles en Internet de programas CAM que son de uso mas ligero tal es el caso de DesKAM 2000, el cual fue diseñado para trabajar en plataformas como Windows 95, 98 y NT, este programa es de manufactura asistida por computadora, así que cuenta con un editor 3D que permite hacer un acercamiento o girar una región específica de un objeto el cual como se explico con anterioridad puede ser diseñado por los paquetes CAD para que pueda ser convertido a código G por este programa posteriormente.

Otro ejemplo de este tipo de programas es el KCam el cual fue diseñado para hacer sencillo y simple la elaboración de piezas, con la ventaja de que cuenta con una serie de herramientas que son mas bien funciones típicas de un CNC industrial

2.9.-El KCAM 4

Este programa es sumamente fácil de manejar, se puede usar en aplicaciones muy variadas tales como perforación de circuitos impresos, grabado y manufactura de diseños

en diversos materiales entre otras, ya que es a través del puerto serie y paralelo como se manipula el equipo CNC conectado.

Este programa además de ser muy eficaz tiene otra gran ventaja y es que se le puede encontrar en Internet completamente gratis.

Este software puede trabajar con archivos DXF, HPGL, Excellon y Gerber, permitiendo la manipulación de códigos G, creación de macros de código G lo cual es un uso típico en los CNC industriales, cuenta además con un control manual. Y permite la conversión de archivos de tipo DXF a código G, en la figura 2.9.1 se presenta la ventana principal del programa KCam.

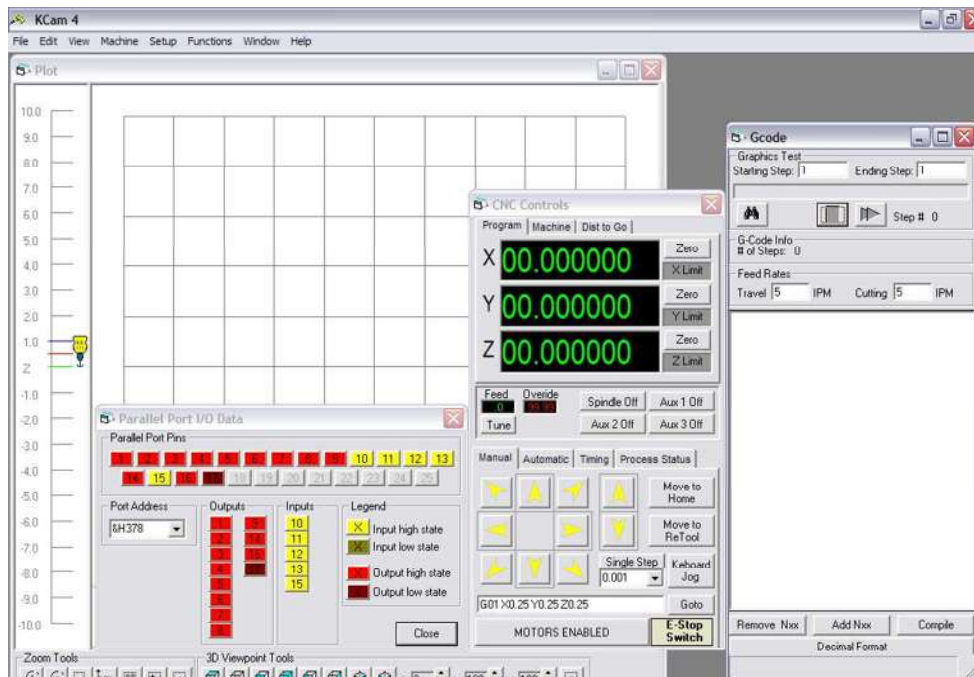


Figura 2.9.1.- Ventana principal del KCam y algunas sub ventanas.

2.10.-Superficies de bajo relieve

El grabado, tallado o repujado son técnicas decorativas realizadas sobre metal, cuero, piedra o madera para obtener un bajo relieve. Esta técnica [Siciliano 1999] consiste en oprimir o retirar material con una herramienta especial (dependiendo del material que se desea trabajar) desde su parte frontal, para que el dibujo sobresalga por cara vista. El

bajorrelieve en metales, piedra, madera, etc. es una artesanía cuyos orígenes se pierden en la prehistoria.

Los primeros objetos documentados proceden de la civilización minoica, y se conservan muestras posteriores en todas las culturas antiguas de la cuenca mediterránea.

La técnica en madera, realizada sobre el material, consigue después del modelado una superficie lisa, dura y brillante. Con esta práctica se decoran numerosos objetos domésticos, como mesas, sillas, puertas, cabeceras, etc. El hombre ha conservado y perfeccionado este arte heredado por nuestros ancestros, evolucionando con el tiempo las técnicas, herramientas, incluso también los estilos de decoración de acuerdo a la época en que las piezas han sido elaboradas.

Algunos ejemplos destacados de las técnicas de grabado en diverso materiales se muestran a continuación:

Bajorrelieve en Piedra: Los artesanos aztecas fueron bastante diestros en el arte de la cantería. Esta obra del 1500, esculpida en piedra, representa al dios azteca Quetzalcóatl, la serpiente emplumada que, de acuerdo con la mitología azteca, creó todas las formas vivientes.



Figura: 2.10.1.-Bajorrelieve en piedra del dios azteca Quetzalcóatl

Bajorrelieve en Metal: El sacrificio de Isaac (1401-1402) es el bajorrelieve de bronce con el que Brunelleschi participó en el concurso para realizar las puertas del baptisterio de la catedral de Florencia, que ganó su rival Ghiberti.



Figura: 2.10.2.-Bajorrelieve en metal llamado “El sacrificio de Isaac”

Bajorrelieve en Madera: Durante la república y el imperio romano, muchas de las tiendas llegaron a especializarse en la venta de determinados productos manufacturados. El arte romano representó en ocasiones esta actividad comercial, como muestra este bajorrelieve conservado en la Galería de los Uffizi, en la ciudad italiana de Florencia, donde se puede apreciar a un vendedor de almohadas.



Figura: 2.10.3.-Bajorrelieve en madera llamado “Comerciante romano”

2.11.-Archivos de diseño

El lenguaje máquina comprende todo el conjunto de datos que el control necesita para la mecanización de la pieza, en las tablas: 2.11.1, 2.11.2 y 2.11.3 se muestran una lista de instrucciones y en la figura 2.11.1 se presenta un ejemplo de cómo funciona, no obstante que el ejemplo es pequeño nos brinda una noción clara del funcionamiento de las instrucciones.

El archivo DXF (formato de dibujo de intercambio) es un formato del fichero de datos del CAD, desarrollado por Autodesk como su solución para permitir interoperabilidad de los datos entre AutoCAD y otros programas.

Los archivos DXF fueron introducidos originalmente en diciembre de 1982 como parte de AutoCAD 1.0, esto pensado en proporcionar una representación exacta de los datos en el formato nativo del archivo de AutoCAD, DWG (dibujo).

Autodesk publica actualmente especificaciones en su sitio Web para las versiones más modernas de archivos DXF de AutoCAD.

N es la dirección correspondiente al número de bloque o secuencia. X, Y, Z son las direcciones correspondientes a las coordenadas según los ejes X, Y, Z.

G es la dirección correspondiente a las funciones preparatorias que se utilizan para informar al control de las características de las funciones de mecanizado.

M es la dirección correspondiente a las funciones auxiliares que se usan para indicar a la máquina herramienta operaciones tales como: paro de programa o cambio de herramientas entre otras.

Tabla 2.11.1.- Código DXF y su descripción

Código DXF	Descripción
Line	Línea de coordenadas X1, Y1, Z1 a X2, Y2, Z2.
Polyline	Multilínea de coordenadas X1, Y1, Z1 a la siguiente coordenada
Vertex	Multilínea, siguiente coordenada X2, Y2, Z2.
Point	Punto X1, Y1, Z1.
Arc	Arco sentido horario.
Circle	Circulo completo.

Tabla 2.11.2.- Código G y descripción de algunos comandos

Código G	Descripción
G00	Desplazamiento lineal a velocidad rápida.
G01	Desplazamiento lineal a velocidad programada
G02	Circular en sentido horario
G03	Circular en sentido anti horario

G04	Temporización programable
G17	Selección del plano XY
G18	Selección del plano XZ
G19	Selección del plano YZ
G40	Cancelar corrección de radio
G41	Corrección de radio izquierdo
G42	Corrección de radio derecho
G45	Lineal a velocidad lineal
G73	Ciclo de taladrado
G80	Anulación de taladrado
G81	Ciclo de taladrado centrado
G82	Ciclo de taladrado ranurado
G83	Ciclo de taladrado desvirutado
G90	Coordenadas absolutas
G91	Coordenadas incrementales
Pxx	Tiempo de taladrado, xx es un numero dado por el usuario

Tabla 2.11.3.- Código M y descripción de algunos comandos.

Código M	Descripción
M00	Paro de programa
M01	Paro de programa opcional
M02	Fin de programa
M03	Rotación de sentido horario
M04	Rotación de sentido anti horario
M05	Parada del cabezal
M06	Cambio de herramienta
M07	Refrigeración 1
M08	Refrigeración 2
M09	Apagado de refrigeración 1 y 2
M13	Rotación y refrigerante 1

M30	Fin de programa y reset
M60	Fin de programa
M98	Llamada a subrutina
Mxx	Uso definido por el usuario

Enseguida se muestran un conjunto de importantes instrucciones de estándares establecidos que aparecen en los lenguajes de programación usados en sistemas de control CNC. Y se observa un ejemplo de la forma en que se establecen las rutas para la elaboración del objeto de la figura 2.11.1.

Tabla 2.11.4.- Código para la elaboración de la figura 2.11.1

Código	Descripción
G00	Desplazamiento rápido
G01	Desplazamiento lineal con avance
G02	Desplazamiento circular sentido horario
G03	Desplazamiento circular, sentido anti horario

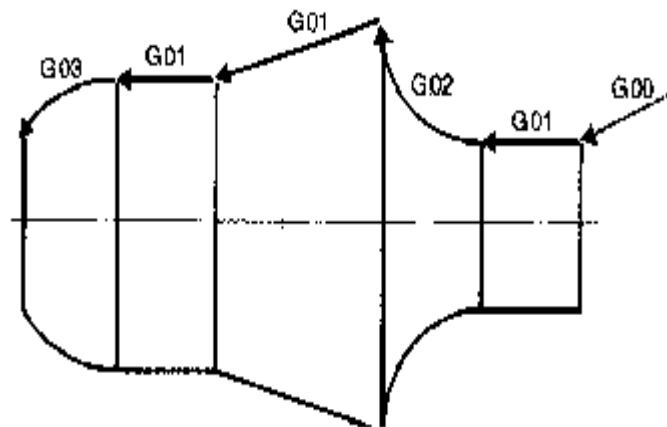


Figura 2.11.1.- Ejemplo de las rutas para la fabricación de un objeto.

Capítulo 3

Las maderas

3.1.- Marco General

Un tema bastante importante en este trabajo es el análisis de los diversos tipos de madera que existen, debido a que es en este material en el que trabajará la MHCNC. Es importante también saber cuales son las condiciones óptimas para poder trabajar la madera y así obtener los mejores resultados.

Para los fines constructivos denominamos madera al conjunto de tejidos orgánicos que forman la masa de los troncos de los árboles, desprovistos de corteza y hojas.

La madera es uno de los elementos constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado para la construcción de sus viviendas y otras edificaciones. Pero para lograr un resultado excelente en su trabajabilidad hay que tener presente ciertos aspectos relacionados con la forma de corte, curado y secado.

La materia prima utilizada por el carpintero ebanista es la madera, se obtiene del tronco, de las ramas y de las raíces principales de los árboles. El árbol es un ser viviente que nace crece, envejece y muere. Se compone de dos partes una subterránea y la otra exterior. La parte subterránea esta compuesta de tronco, cuello y raicillas. La raíz no solo tiene por objeto fijar a la planta en el suelo si no que la sustenta, es decir, que la alimenta. La parte exterior la forman: el tronco, las hojas y las flores. El tronco es la parte mas utilizada del árbol.

La naturaleza de la madera depende del clima y del suelo en que crece. Partiendo de esto, podemos comprender porque la madera no es un material homogéneo. Podemos comprender también la importancia que tiene para una correcta selección el conocimiento de su origen, su edad, su formación y desarrollo.

No todos los árboles tienen la misma tipificación, inclusive siendo de una misma zona. Factores como la espesura del bosque, si dicho bosque se encuentra en una ladera o en una hondonada, si el árbol es del centro del bosque o de su periferia si es del norte o es del sur del mismo, son factores que influyen en la tipificación.

3.2.-Estructura de la madera

La madera está constituida por una aglomeración de células tubulares de forma y longitud muy variables. En un corte transversal se aprecian diversas zonas:

- La médula o corazón constituye el centro del tronco, del que parten radios medulares hacia la periferia. Es la parte más vieja y se forma por secado y resinificación, separándose de ella sustancias resinosas, estando generalmente coloreada. Forma un cilindro en el eje del árbol y está constituida por células redondeadas que dejan grandes meatos en sus ángulos de unión.
- El duramen es la parte inmediata a la médula, formado por madera dura y consistente impregnada de tanino y de lignina.
- La albura es la capa siguiente, la madera joven que posee más savia y se transforma con el tiempo en el duramen al ser sustituido el almidón por tanino que se fija en las membranas celulares volviéndolas más densas e imputrescibles.
- El libro o capa generatriz está debajo de la corteza, formada por células de paredes muy delgadas que son capaces de transformarse por divisiones sucesivas en nuevas células. En la cara externa se forman células de xilema o madera nueva y en la interna líber o floema. Las capas de xilema están formadas por la madera de primavera y verano de color claro y blanda, alternándose con la madera de otoño, más oscura y compacta, formando los anillos de crecimiento claramente diferenciados.
- La corteza o capa suberosa es la piel del árbol cuya misión es de protección y aislamiento de los tejidos del árbol de los agentes atmosféricos.

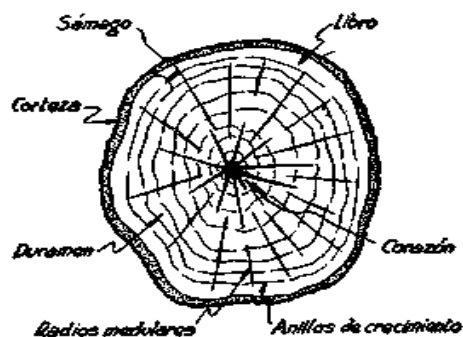


Figura 3.2.1.- Partes principales de un tronco de madera

3.3.- Propiedades físicas de la madera

Es importante conocer las propiedades de la madera sana [Jackson Day 1998] pues de ello depende la elección de una clase u otra. Conviene hacer notar que en la madera se dan diferencias muy notables, muy diversas aun en el mismo árbol perteneciendo al tronco, ramas y partes inferiores o superiores del tronco, también la raíz principal o secundarias. Según la edad del árbol; haya crecido en terreno húmedo o seco; cálidos o fríos; formando grupos o aislado.

3.3.1.- Hendibilidad

Es la facilidad que tiene la madera de hendirse o partirse en el sentido de las fibras, las más apropiadas al hendido son las que tienen las fibras largas y carecen de nudos. El conocimiento de estas propiedades interesa poco al ebanista, pero sí le importan bastante al carpintero. Algunas maderas como el castaño, el abeto, el alerce, se hienden con facilidad, la madera verde es más hendible que la seca. La madera se hiende naturalmente a medida que se va secando.

3.3.2.- Dureza o resistencia al corte

La dureza depende casi siempre de la cohesión de las fibras y de su estructura, consiste en la mayor o menor dificultad puesta de la madera a la penetración de otro cuerpo como clavos, tornillo, etc. Las maderas más fibrosas son más duras mientras que las más ricas en vasos son más blandas. La dureza de la madera cambia con el secado. Las maderas verdes son más blandas que la seca por lo que la seca es más apreciada

3.3.3.- Flexibilidad

Es la propiedad que tiene algunas maderas de poderse doblar o ser curvadas en sentido de su longitud, sin romperse. Si son elásticas vuelven a su forma primitiva cuando ha cesado la fuerza que las presiona. La madera verde, húmeda o caliente es más flexible que la seca.

3.3.4.- Facilidad de pulido

La utilidad y tal vez más delicada fase del trabajo, consiste en el pulido. Este está íntimamente relacionado con la clase de material que se trabaja. Si es de tejido fino, la superficie quedara bien alisada, destacándose mucho la viscosidad de las fibras y la belleza del color. La madera apta para un buen pulido, encerado, etc., pertenece a las especies duras o semiduras, nogal, cerezo, frezno, peral, haya, etc. A las maderas blandas se les separan las fibras o se levantan, por lo que resulta difícil conseguir con ella un acabado lustroso.

3.3.5.- Plasticidad

Es la propiedad que tienen algunos cuerpos de dejarse modelar. Esta cualidad es muy relativa en las maderas, y se obtiene aprovechándole el poder de compresión de las fibras, mediante un molde y contra molde.

3.3.6.- Densidad

Densidad o peso específico de un cuerpo es la relación que existe entre su peso y su volumen. Sin embargo la parte que comprende los vasos y poros de la madera es muy variable, pues depende del grado de humedad.

3.3.7.- Porosidad

Es la propiedad que poseen los cuerpos de tener entre sus moléculas un espacio vacío llamado poros.

3.3.8.- Higroscopicidad

La madera es notablemente higroscópica, es decir, que absorbe o desprende humedad, según el medio ambiente en que esta situada. La variación de la cantidad de agua lleva consigo la diferencia de peso y volumen.

3.3.9.- Contracción

La madera conserva notablemente de un 15% a un 20% de agua, por evaporación disminuye el volumen y la madera experimenta contracciones. Cuando el grado de humedad de la madera es inferior al ambiente, esta absorbe agua; entonces las células

aumentan de volumen y la madera se hincha. La contracción es mayor en las fibras jóvenes y en las blandas. En pleno desarrollo llega a tener un 60% de humedad, mediante el secado artificial disminuye hasta un 10%. Longitudinalmente experimenta un 0.3 % de contracción por lo que la deformación es casi nula. En dirección de los radios medulares es de un 5%. Principalmente en los anillos anuales es de un 10%

3.3.10.- Hinchazón

Es la propiedad que tiene la madera de absorber, a través de los vasos la humedad atmosférica. Cuando absorbe agua aumenta el volumen provocando una hinchazón en las fibras. Longitudinalmente sumergida en el agua aumenta su volumen, pero en sentido perpendicular aumenta de un 2.5 % a 6%. La madera aumenta su volumen hasta llegar a un punto de saturación de agua (20-25%) A partir de allí no aumenta mas su volumen aunque siga absorbiendo agua.

3.3.11.- Homogeneidad

Una madera es homogénea cuando su estructura y la composición de sus fibras resulta uniforme en cada una de sus partes.

3.3.12.- Color

Cambia de una especie a otra. En general la madera dura es oscura o intensa y la blanda es de color más blanco.

3.3.13.- Veteado

Depende de los dibujos que las fibras presentan al exterior.

3.3.14.- Conductibilidad

Las maderas seca es mala conductora del calor y de la electricidad, pero la húmeda se hace conductora. La conductividad es mayor en el sentido longitudinal de sus fibras que en el radial y anillos anuales y más en las maderas pesadas que en las ligeras o porosas.

3.3.15.- Duración

La duración de la madera varía mucho, no solo la especie, la forma de apeo, de secado, etc. sino principalmente según el medio ambiente y condiciones de la puesta en obra. La intemperie provoca el secado y la humedad, principal causa de destrucción

3.4.- Características de diferentes clases de maderas

A continuación haremos una breve exposición [Jackson Day 1998] de maderas cuyas cualidades para la construcción de muebles son ya probadas y aceptadas.

3.4.1.-Roble

El roble proporciona la madera mas utilizada en Europa y América del norte para la construcción de muebles incluso barcos. Su durabilidad es de 120 años, sin duda la madera de más alta calificación después de la teka. Es, conjuntamente con el pino, la madera que produce mayores variedades aptas para la construcción de muebles. Requiere de un largo periodo de estacionamiento para su posterior utilización, ya que si se precipita su utilización, se producen alabeos o grietas. El peso específico oscila ente 720 Kg. /m³ a 890 Kg. /m³.

3.4.2.- Roble Rojo

El roble rojo es de grano recto y textura basta, de veteado menos atractivos que el roble blanco. Como resultado se obtienen buenos acabados, y su peso específico es de 790 Kg. /m³.

3.4.3.-Teka

La teka encierra en su madera particularisimas características que no se dan en madera alguna de todas las especies conocidas, como por ejemplo, la de resistir al fuego.

Otra característica particular de la teka es que permite ser secada en pie, sin que afecte su duramen. Su vida después de secada parece ser ilimitada. Su densidad, así como su modulo de resistencia, son desproporcionados con relación al común de las maderas; este es su principal atractivo.

Su peso específico es de 660 Kg. /m³. Reúne pues la Teka los requisitos de la madera más adecuada para la construcción de cualquier tipo de mueble, con ventajas inalcanzables para otras especies. El único defecto que tiene, es su elevado costo ya que es originaria de Birmania.

3.4.4.-Cedro

Es otra de las maderas más utilizadas en la construcción de muebles, debido a que soporta muy bien el ataque de microorganismos. Su madera puede ser liviana o moderadamente pesada, observándose gran disparidad en el peso específico entre maderas de diferentes árboles, al punto de variar entre 500 Kg. /m³ a 820 Kg. /m³. No admite ser usada en piezas muy curvadas o dobladas al vapor, pues es débil su resistencia a la flexión, ya que se vuelve quebradiza.

3.4.5.-Abeto

Conocido también como pino spruce, el abeto es el árbol que más abunda si admitimos que es un pino y que dentro de este nombre genérico caben infinidad de variedades su rápido desarrollo provoca que sea una de las maderas más baratas. Para la construcción de muebles podemos mencionar las variedades más corrientes de pino “Colorado”, el “Clear”, el “Oregon”, el “Sitka” y el “Blanco”.

El pino colorado es oriundo de América del Norte y zonas frías Europeas su principal característica es que tiene una gran durabilidad.

El pino Clear es una variedad baja del pino “spruce”, este pino también es conocido como pino blanco. Su madera es muy ligera, de gran estabilidad. Es la clase de pino que reúne las mejores cualidades, aun con bruscas variaciones de humedad y temperatura. A este pino se le conoce también como pinos “California” y “Canadá”.

El “Oregon” es una forma de pino colorado, y su utilización es similar a este. Es de crecimiento tardío, es decir, de zonas frías.

El pino “Sitka” como ya se menciona es otra variedad del abeto y debido a su estabilidad, falta de nudos y sin movimientos, la convierten en la más idónea para la construcción de diferentes muebles.

3.4.6.-Fresno

Es una especie frondosa, y se caracteriza por un vetado hermoso. Existen no menos de sesenta variedades, particulares de cada clima y región. Es una madera durable en seco, pero de poca duración si se moja y seca alternadamente. Por eso se suele utilizar barnizada y con fines decorativos. Posee una extraordinaria flexibilidad, lo que lo hace ideal para muebles en los que se requieran grandes curvas. Su peso específico ronda, para las mejores variedades, en 650 Kg. /m³.

3.4.7.-Haya

De origen europeo, es una madera de grano recto, y de textura fina y lisa. Es de los más utilizados en la construcción de muebles y ebanistería, obteniéndose acabados muy vistosos. Su peso específico es del orden de 720 Kg. /m³.

3.4.8.-Abedul

Madera de textura lisa y grano recto. La albura es ancha y de color gamuza muy pálido, y el duramen es de color parduzco. Entre sus usos mas frecuentes se encuentra en piezas torneadas y utensilios. Su peso específico es de 640 Kg. /m³.

3.4.9.-Olmo

Es una de las maderas más apreciadas en ebanistería debido a su color y textura. Es utilizado también en la construcción naval, la variedades mas preciadas son las del olmo “Blanco” y el de “Roca” o “Negro”, debido a su durabilidad bajo el agua, solo superadas por la Teka. Su empleo es basto dada su facilidad para tomar curvas cerradas moldeadas por vapor. Tiene un alto peso específico 890 Kg./m³ y aunque la utilización del olmo se ve limitada a lugares donde su gran peso especifico no afecte, es bastante recomendable.

3.5.- Estabilización de la madera

Para evitar los daños o pérdidas que puedan producirse por deformaciones o contracciones [González 2000], la madera debe secarse o estabilizarse antes de ser utilizada, idealmente a un contenido de humedad similar al de equilibrio de la zona o condición donde se usará.

La madera puede secarse en forma natural. Aprovechando las condiciones atmosféricas favorables del verano, es posible bajar la humedad de la madera, sin embargo, el resultado no es parejo y no es posible conseguir en un tiempo razonable una humedad baja durante todo el año.

La alternativa es secar artificialmente la madera, empleando tecnologías que permiten un resultado uniforme.

Cuando una madera se seca, se contrae. Y fruto de esta contracción puede cambiar o "moverse". Por lo general la contracción se da más intensamente a lo largo de los anillos de crecimiento. Este movimiento de contracción puede provocar algunas distorsiones, ya que cuando se presentan en algunas tablas anillos de crecimiento más largos unos que otros, como el caso de la madera cortada tangencialmente, la contracción en los anillos más largos es mayor que en los anillos cortos, entonces se producen ciertos curvamientos.

Estabilización de la madera: Primero la savia que lleva materiales solubles, susceptibles de fermentar, es la causa principal de la alteración de las maderas. La savia es un jugo de fácil corrupción conviene expulsarla o hacerla inofensiva acelerando la desecación con toda rapidez. La madera secada al aire libre tiene todavía un 12% de humedad en verano y un 18% en invierno. La humedad se manifiesta en la savia, muy perjudicial y muy difícil de eliminar, en el agua de impregnación, origina la contracción de la madera, y en el agua libre interpuesta entre los espacios celulares vacíos, fácil de eliminar.

Existen diversos métodos para el secado de la madera, a continuación mencionaremos los más importantes:

3.5.1.-Tipos de secado de la madera:

Secado natural: es el más antiguo y más sencillo con buenos resultados tiene como inconveniente la exigencia de tiempo y terreno, y como ventaja que no cambia el colorido conservando de la madera todo su color y belleza.

Secado al aire libre: el primer secado debe hacerse a fines del otoño cuando hay menos savia concentrada en la raíz y luego se deja a los troncos con corteza durante unos meses antes de llevarlos al aserradero.

Secado en almacén: Transcurridos un par de meses, y secas ya las maderas, se colocan en cobertizos cerrados, al abrigo del sol, pero con ventilación suficiente.

Secado natural acelerado: Para facilitar la desecación de la savia y la eliminación de sales, se sumergen las maderas en agua, esta atraviesa por osmosis los tejidos a través de los vasos, y disuelve la savia, durante tres o cuatro semanas este tratamiento oscurece la madera pero reduce a un tercio el tiempo necesario para el secado.

Secado artificial: El desaviado es un lavado interno de la madera, con el que se elimina la savia por disolución. El secado artificial es un medio rápido y racional para disponer en poco tiempo de la madera seca con la humedad normal.

Desecación al vapor de agua: Es un sistema rápido y completo, se introduce la madera en el secadero, se le inyecta vapor de agua, que se va elevando gradualmente la temperatura disolviendo la savia condensándola en el fondo a modo de un líquido sucio.

Secado con aire caliente: el procedimiento del aire caliente es muy similar al del vapor de agua solo que en vez de circular vapor circula aire caliente.

Secado continuo o de túnel: Su duración es de 2 a 10 días. Pueden ser sometidas a este procedimiento de secado con aire caliente las maderas estufadas, con el fin de que se sequen más rápido.

Secado por calentamiento electrónico: La corriente no pasa a través de la madera si no que se disponen entre las armaduras de un condensador de alta frecuencia. El secado es muy rápido, equivale al calor del calentador eléctrico y provoca la oxidación de la savia.

Secado por calentamiento en estiércol: es lenta, consiste en introducir la madera, con la curvatura y forma deseada, en un cúmulo de estiércol. El calor que producen los excrementos animales es suficiente para secar la madera, dependiendo del grosor, tipo de madera y tipo de excrementos es el tiempo que durará el secado.

3.5.2.- Efectos del secado

Al secarse la madera sufre una disminución de peso y volumen, también no hay que olvidar que sigue habiendo hinchazón y contracción aun después de poner la madera en obra.

3.5.3.- Deformaciones durante el secado

La madera se deforma durante el secado, porque la contracción no se verifica uniformemente, debido a que la humedad varía a lo largo del tronco.

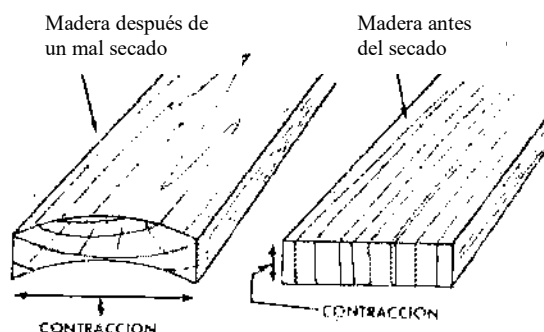


Figura 3.5.3.1.- Efectos de un mal secado en la madera

3.5.4.- El Proceso del secado o estabilización artificial de la madera.

El secado artificial o estabilización consiste en someter a la madera a un ambiente donde se controlan las tres variables que permiten acortar dicho proceso: temperatura, humedad y velocidad del aire [González 2000].

El proceso se hace en cámaras o secadores, que son estructuras que tienen secadores normalmente alimentados por vapor, en los cuales se puede subir la temperatura hasta 50° C o sobre 100° C, según la tecnología del equipo. Además, tienen ventiladores con los que se regula la velocidad del aire y deflectores para que se distribuya de manera uniforme en todos los puntos, logrando un secado parejo.

La madera se coloca en la cámara en pilas formadas por capas de madera separadas entre sí por separadores, que permiten el flujo de aire entre la madera. Así mismo, en la parte superior se colocan, por lo general, bloques de hormigón como contrapeso a fin de reducir las deformaciones.

Una cámara, usualmente, contiene cinco mil pulgadas cúbicas de madera.

El tiempo de secado varía, según el espesor y la tecnología del equipo, desde cuatro horas a no más de tres días. El proceso es controlado por computadoras que se retroalimentan con sensores dispuestos en el interior del equipo y que, automáticamente,

van variando la combinación de temperatura, humedad y velocidad del aire hasta alcanzar el resultado esperado.



Figura 3.5.4.1.-Diferencia entre el secado natural (izquierda) y Artificial (derecha).

3.5.5.- El gradiente de secado de la madera

Un término bastante utilizado por los expertos en la madera es el gradiente de secado de madera que es la relación entre la humedad contenida en la madera y la humedad de equilibrio en ese ambiente. Este es el criterio más importante para un adecuado proceso de secado de madera en hornos.

Un gradiente muy bajo puede prolongar el tiempo de secado de la madera excesivamente, mientras que un gradiente muy alto aceleraría mucho el proceso pero seguramente traería consecuencias graves en la calidad de la madera ó la interrupción del secado de la madera.

Los valores normales están entre 1.5 y 2.5 dependiendo de la especie. En piezas muy gruesas no se pueden usar gradientes altos ya que la diferencia entre el centro de la pieza, que está húmedo, y la superficie, que tiene una humedad de equilibrio de acuerdo al ambiente, es muy alta y provoca esfuerzos que dañan la madera ó interrumpen el secado.

3.6.- Tallado de la madera

La talla en madera es una actividad muy antigua y extendida. Sus aplicaciones son variadísimas, aunque su principal función es la decoración y el ornamento. Es utilizada tanto a nivel arquitectónico como para el embellecimiento de objetos de uso cotidiano como se puede apreciar en la figura 3.6.1.



Figura 3.6.1.- Grabado sobre madera en objetos de uso domestico

Como toda artesanía, tiene un componente artístico, en el cual el tallista-artesano vuelca su talento creativo para sacar de unas simples tablas una obra de arte, y otro componente llamado técnico-mecánico que hay que tener en cuenta para que la materia prima responda a esfuerzos físicos y lograr el resultado deseado.

Esto, hace que para los no iniciados, el abordaje de tal disciplina resulte poco menos que intimidatorio, aunque casi cualquier persona puede obtener unos resultados más que dignos, eso sí, con un mínimo de esfuerzo, dedicación y paciencia.

La mejor manera de enfrentarse a una obra es pensar que las formas y relieves que se quiere conseguir ya están dentro de la madera y "sólo" se tiene que sacar a la luz, quitando la madera que "las tapa".

Esta labor requiere de herramientas muy especializadas, las cuales pueden ser electrónicas como el router o algunas de tipo artesanal como las gubias de tallista, pero con alguna de éstas y un trozo de madera se puede descubrir todo un mundo de posibilidades.

Todo ese trabajo manual esta quedando en manos de la mecanización, la simplicidad de los muebles modernos chapeados y el hecho de que la talla a mano requiere demasiado tiempo, el cual nunca es pagado en su justa medida y a que los mecanismos para el tallado de la madera pueden aumentar la productividad de un taller de unas cuantas piezas en meses a varios cientos en el mismo periodo de tiempo convierte a la producción mecanizada en un rival casi invencible para los artesanos.

3.7.- Herramientas usadas para el tallado de madera

Las herramientas usadas para trabajar la madera la podemos clasificar en dos grupos principales los cuales son:

- Herramientas manuales o de artesano.
- Herramientas electromecánicas.

Hablaremos en primer lugar del grupo uno para poder compararlas con las que actualmente se están utilizando.

3.7.1.- Herramientas manuales

Los formones y las gubias pertenecen al grupo de herramientas antiguas de corte diseñadas especialmente para realizar hendiduras y rebajes en la madera.

Son un buen complemento para el trabajo efectuado con sierras, serruchos y cepillos, además resultan imprescindibles para todo profesional o aficionado a la ebanistería.

El formón es una herramienta fabricada en hierro acerado. Su forma es rectangular y plana, y está compuesto por un mango generalmente de polipropileno (para absorber mejor los golpes), dentro del cual se inserta una hoja biselada por todos sus lados.

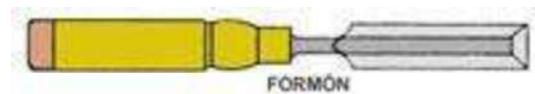


Figura 3.7.1.1.-Herramienta para realizar cortes en madera llamada Formón

Sirven para realizar incisiones poco profundas, pero muy anchas. Resulta ideal para efectuar cortes o cajas en la madera, destinados a alojar otras piezas u otros accesorios.

Existen diversas marcas de formones con diferentes características, aunque a primera vista se ven todos muy parecidos. Lo más importante es examinar la forma de la hoja de corte de cada uno.

El tamaño es una variable importante a la hora de escoger un formón.

Los más cortos miden entre 18 y 23 cm. de largo y se usan en espacios estrechos o con la finalidad de hacer los detalles mas finos de un trabajo.

Los medianos miden entre 23 y 27 cm. de largo y son los favoritos para realizar en general el trabajo.

Los más largos, de 40 cm. o más, son útiles para trabajos pesados, raramente se usan para trabajos pequeños ya que pueden dañar la madera y estropearla.

El ancho de la hoja del formón es otra característica importante de examinar. Puede variar entre 2 y 50 mm.



Figura 3.7.1.2.- Distintos tipos de Formones

Para trabajos de tallado sobre madera resultan muy útiles aquellos con hojas de 14 a 18 mm. de ancho, que sean lo más delgado posible (los de menor espesor son más livianos y cortan mejor) y de un acero de buena calidad, no demasiado duro ni tampoco muy blando. Usar un formón más estrecho para tallar cosas pequeñas no resulta necesario ni recomendable.

El ángulo del filo de un formón oscila entre 25° y 40°. Para tallar maderas duras se deberá escoger un ángulo mayor (bisel corto) que para maderas blandas (bisel largo). Para trabajar maderas duras y blandas con una misma herramienta, se escogerá un ángulo intermedio.

La gubia es una herramienta de carpintería definida como un formón delgado, pero con la hoja curvada y vaciada. Consta de un mango de madera y una hoja de hierro que puede tener diferentes formas con un bisel más grande en la cara exterior que en la interior.



Figura 3.7.1.3.-Herramienta para realizar rebajes en madera llamada Gubia

Se usa para realizar rebajes cóncavos, formas acanaladas y labrar adornos en piezas de madera redondeadas. Muchas veces la gubia permite perfeccionar el trabajo del formón.

Existe gran variedad de gubias, que se clasifican de acuerdo a la huella que producen y a la forma del hierro. Dos son los tipos básicos: las que sirven para marcar y entallar, que tienen el filo en la parte cóncava de la hoja y las de desbastar, que permiten arrancar mucha cantidad de material y realizar concavidades y entrantes en barras. Este último tipo se usa especialmente en el torno.

Además, cada tipo se encuentra en varios tamaños. El tamaño del corte que realiza la gubia se expresa en milímetros (o en pulgadas) y va desde 2mm o menos, hasta 35mm.

Según la huella que dejan, existen gubias para líneas rectas, curvas pronunciadas en forma de U y también huellas con forma de V.



Figura 3.7.1.4.-Perfiles de distintas gubias

Las gubias más utilizadas son:

- Gubia plana (de 12 mm.), que tiene una curvatura suave en su corte.
- Gubia de media caña (de 10 mm.), con una curvatura muy pronunciada, equivalente a media circunferencia, que permite realizar incisiones profundas y cortas.
- Gubia con forma de V, con ángulos que varían entre 35° y 60°, y que se usa para incisiones profundas y lineales.
- Gubia recta, de hierro fino y sin biseles laterales, que realiza cortes rectos similares a los de un formón.
- Gubia recta en ángulo, que corta en diagonal y permite acceder a zonas difíciles de alcanzar.
- Gubia cañón, que corta en forma de "U".
- Gubias curvas, que tienen el hierro curvado desde el comienzo y permiten realizar cortes en V o como los de las gubias planas y de media caña. Son adecuadas para trabajar en zonas donde la gubia de hierro recto podría atascarse por ofrecer un ángulo de ataque a la madera demasiado alto.

Para llegar a zonas inaccesibles para las gubias rectas están las gubias que tienen una curvatura en la parte final del hierro.

Otras gubias especiales: Para realizar cortes rectos en zonas de acceso difícil son las de forma angulada.

Para conseguir redondear mejor una forma, se puede usar un tipo de gubia que en la parte final del hierro tienen una curvatura invertida.

3.7.2.-Herramientas electromecánicas

En la clasificación de las herramientas electromecánicas podemos mencionar a las máquinas de control numérico y a las fresas con que estas operan, las fresas juegan un factor bastante importante pues son las que darán forma a la madera.



Figura 3.7.2.1.-Distintos tipos de fresas para el tallado y grabado de madera

Podemos encontrar una gran variedad de fresas de distintos tamaños formas y grosores, así mismo para trabajar sobre distintos materiales un ejemplo de esta variedad son las fresas que se muestran en la figura 3.7.2.1 a las fresas se les conoce también con el nombre de usillos.

Tenemos también una herramienta bastante utilizada por los carpinteros hoy en día llamada rebajadora la cual permite dar forma así como diversos estilos a los contornos de las piezas de madera que los artesanos elaboran, estas rebajadoras utilizan fresas de diversas formas, aunque como ya se comenta el carpintero las opera manualmente un ejemplo de estas talladoras se muestra en la figura 3.7.2.2.



Figura 3.7.2.2.- Rebajadora marca BOSH de 2 hp de potencia y 11 Amp.

Al tallado de madera por máquinas de control numérico se le ha dado el nombre de escultura digital asistida por computadora.

Este concepto es el de crear objetos quitando material, como ha hecho el hombre desde los albores de la humanidad para materializar sus sueños.

Este tipo de “arte” digno de mención consiste en crear virtualmente (en la pantalla de la computadora) un objeto o dibujo y enviar las órdenes vía cable, satélite o incluso través de Internet para que una máquina situada en un lugar diferente realice la escultura. En este caso la máquina realizaría la obra justo en el momento de ser ordenada de forma teledirigida.



Figura 3.7.2.3.-Router's de control numérico tipo industrial

Una de las posibilidades es trabajar escaneando una obra, fotografía de persona o cualquier cosa sólida para después reproducirla en el material que deseemos. Estos aparatos escanean el objeto por medios de rayos y retienen en una computadora un programa o software el cual genera un tipo de archivo que define el objeto en sus tres dimensiones. El

antiguo asunto del pantógrafo espacial que tantos dolores de cabeza había dado a los artistas e ingenieros del renacimiento esta por fin resuelto.

Desde el origen de la escultura asistida por computadora se ha buscado visualizar la obra pero también fabricarla. En estos tiempos se cuenta con máquinas de corte por láser, plasma, fresas de acero, chorros de agua, etc. todo esto aumenta el rendimiento y las posibilidades de las máquinas desarrolladas anteriormente.

En estos últimos años se han inventado máquinas con posibilidades creativas nunca vistas incluso inimaginadas, lo que las máquinas pueden fabricar, se puede hacer a mano con mucho más lentitud, menor precisión o inclusive hay piezas que no se pueden hacer.

Con estas máquinas se han creado obras realmente increíbles, muy bellas y además en lapsos de tiempo sorprendentemente cortos.

3.8.-Mecanismo de movimiento de 3 ejes para la herramienta de corte.

Un mecanismo de movimiento de tres ejes del tipo mesa fija consta de las siguientes partes:

- Mesa de trabajo
- Soportes longitudinales
- Puente
- Herramienta de corte o Cabezal

Esta máquina herramientas se desplaza en los tres ejes espaciales X, Y y Z para poder mecanizar la pieza.

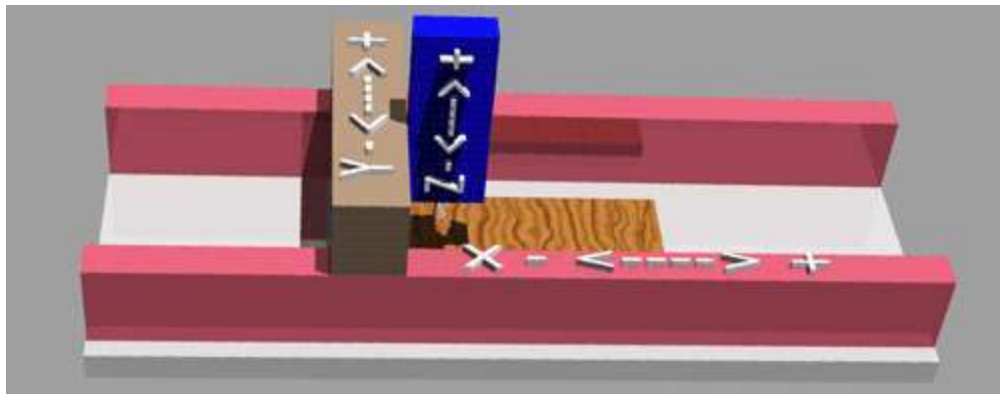


Figura 3.8.1.-Esquema de fresadora puente de 3 ejes

Descripción de la fresadora puente de 3 ejes (figura 3.8.1):

El puente (en marrón) se desplaza sobre los soportes longitudinales (en rojo), este es el movimiento denominado X.

El motor de giro de herramienta de corte o cabezal (azul) se desplaza sobre el puente, este es el movimiento denominado Y.

Por ultimo el cabezal se desplaza para arriba y abajo, este es el movimiento denominado Z.

Por lo tanto X y Y se asocia a los movimientos horizontales de la mesa de trabajo (blanco). Si la fresadora es de mesa fija o bancada, como en el dibujo, el cabezal realiza los tres movimientos.

Para trabajos más complejos como por ejemplo una estatua, se necesitan fresadoras equipadas con más ejes de desplazamiento. Existen multitud de modelos de fresadora para cumplir con diferentes capacidades de carga, precisión de trabajo, y trayectorias a recorrer.

3.9.- Sistemas de desplazamiento

Para desplazar un objeto de forma lineal es necesario hacer uso de sistemas que transforman el movimiento angular en movimiento rectilíneo [MecanESO 2006], a continuación se mencionan algunos de ellos, para conseguir mover un objeto en dos o más dimensiones será necesario acoplar varios de estos sistemas:

3.9.1.- Sistema Tornillo – Tuerca

Es un sistema donde un tornillo de posición fija al girar provoca el desplazamiento de la tuerca.

El tornillo solo gira pero no se desplaza, sin embargo su giro hace que el cilindro de cola suba o baje debido a que esta es la que hace de tuerca.

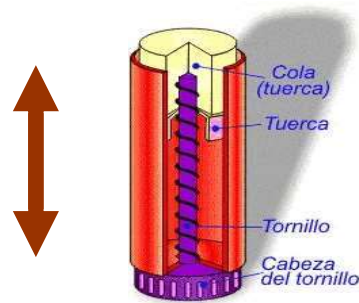


Figura 3.9.1.1.- Sistema de movimiento tornillo tuerca

El sistema tornillo-tuerca presenta una ventaja muy grande respecto a otros sistemas de conversión de movimiento giratorio en longitudinal: por cada vuelta del tornillo la tuerca solamente avanza la distancia que tiene de separación entre filetes (paso de rosca) por lo que la fuerza de apriete (longitudinal) es muy grande.

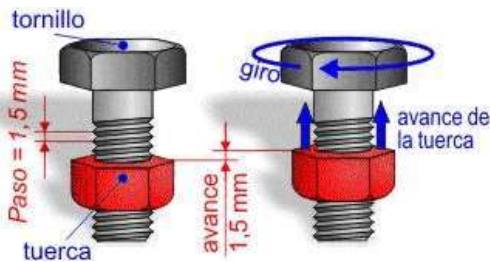


Figura 3.9.1.2.- Ilustración del paso y avance en el sistema tornillo tuerca

Por otro lado, presenta el inconveniente de que el sistema no es reversible (no podemos aplicarle un movimiento longitudinal y obtener uno giratorio).

El sistema tornillo-tuerca como mecanismo de desplazamiento se emplea en multitud de máquinas pudiendo ofrecer servicio tanto en sistemas que requieran de gran precisión de movimiento (balanzas, tornillos micrométricos, transductores de posición, posicionadores, máquinas herramientas...) como en sistemas de baja precisión.

Aunque la mayor parte de los sistemas tornillo-tuerca se fabrican en acero, también los podemos encontrar fabricados en otros metales (bronce, latón, cobre, níquel, aceros inoxidables y aluminio) y en plásticos (nylon, teflón, polietileno, pvc...), todo ello dependerá de sus condiciones de funcionamiento.

3.9.2.- Sistema Cremallera – Piñón

Permite convertir un movimiento giratorio en uno lineal continuo o viceversa, este sistema es más rápido para el desplazamiento de la herramienta, aunque el par o fuerza de retención es considerablemente mejor.

Este sistema es perfectamente reversible, su utilidad práctica suele centrarse solamente en la conversión del movimiento giratorio en lineal continuo, siendo muy apreciado para conseguir movimientos lineales de precisión (caso de microscopios u otros instrumentos ópticos como retroproyectors), desplazamiento del cabezal de los taladros sensitivos, movimiento de puertas automáticas de garaje, sacacorchos, regulación de altura de los trípodes, movimiento de estanterías móviles, máquinas, etc.

El sistema está formado por un piñón (rueda dentada) que engrana perfectamente en una cremallera (riel dentado) estos componentes se pueden observar en la figura 3.9.2.1.

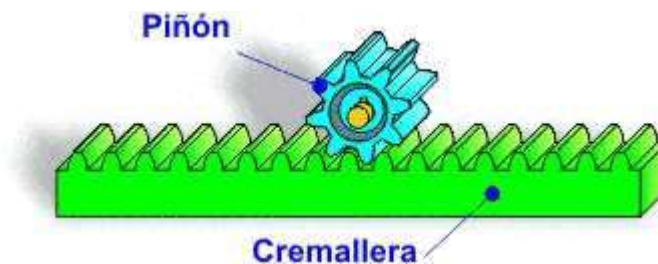


Figura 3.9.2.1.-Imagen del sistema piñón cremallera

Cuando el piñón gira, sus dientes se empujan con los de la cremallera, provocando el desplazamiento lineal del piñón.

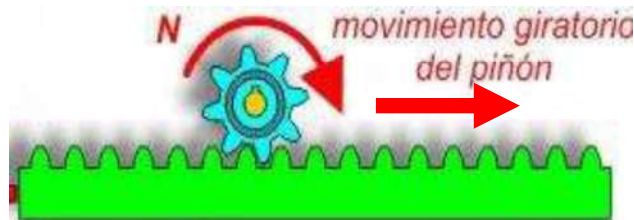


Figura 3.9.2.2.-Ilustración del desplazamiento en el sistema piñón cremallera

La relación entre la velocidad de giro del piñón y su velocidad lineal depende de dos factores: el número de dientes del piñón y el número de dientes por centímetro de la cremallera.



Figura 3.9.2.3.-Factores importantes en el sistema piñón cremallera

3.9.3.- Sistema de Banda

El sistema de banda transportadora ó impulsor tangencial lineal consiste en una polea o piñón que es acoplado directamente al eje del motor, el cual, ejerce una fuerza en una banda, para mover una carga en forma lineal. Aunque los impulsores tangenciales generalmente están constituidos por poleas y bandas, las catarinas y las cadenas de metal son parte de estos sistemas. Los impulsores tangenciales tienen bastante flexibilidad en el diseño mecánico de sistemas de desplazamiento lineal, pueden ser muy exactos con poco contragolpe.

Las figuras 3.9.3.1 y 3.9.3.2 muestran un sistema de movimiento de banda

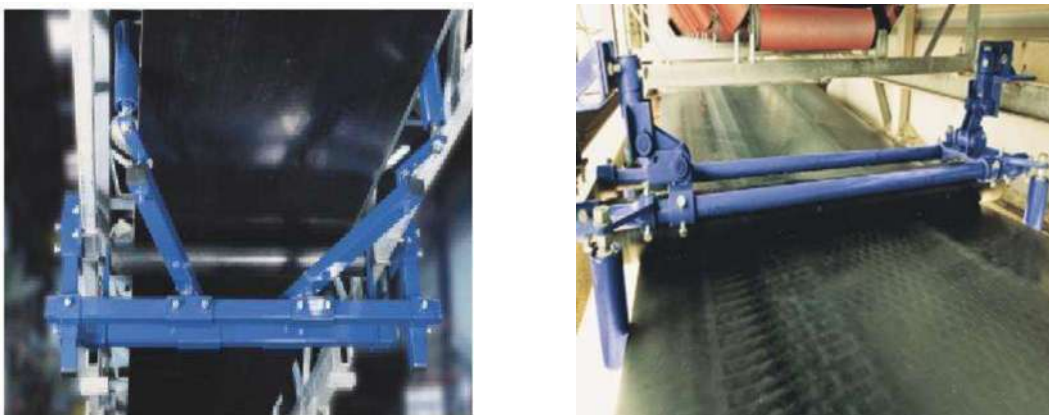


Figura 3.9.3.1.-Vista superior e inferior del sistema de movimiento tipo banda

El sistema de bandas transportadoras, es uno de los sistemas mas utilizados para un transporte y desplazamiento confiable y económico. El desgaste y la desalineación de las

bandas pueden causar daños prematuros y permanentes. Una mala alineación en el punto de carga, vientos laterales, lluvia o una absorción desigual de la radiación solar son algunos ejemplos de motivos que pueden alterar el funcionamiento de las bandas transportadoras.

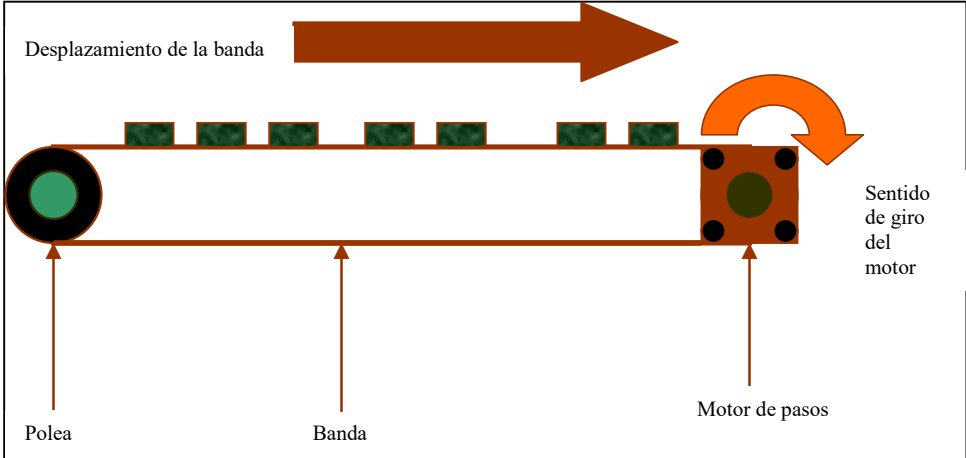


Figura 3.9.3.2.-Vista lateral del sistema de movimiento tipo banda

Capítulo 4

Sistemas de control numérico

4.1.- Marco general.

Actualmente existe un ambiente de grandes expectativas así como de incertidumbre en la mayoría de las economías de los países tercermundistas a los cuales por desgracia pertenecemos.

Mucho de esto se da por los rápidos cambios de la tecnología actual, pues estos no permiten asimilarla en forma adecuada de modo que es muy difícil obtenerle el mejor provecho.

También surgen cambios rápidos en el orden económico y político los cuales inhiben el surgimiento de soluciones autóctonas o propias para nuestros problemas más fundamentales.

Entre todos estos cambios [Boon 1991] uno de los de mayor influencia lo será sin duda el desarrollo de las nuevas políticas mundiales de mercados abiertos y globalización. Todo esto habla de una libre competencia y surge la necesidad de adecuar nuestras industrias a fin de que puedan satisfacer el reto de los próximos años. Una opción o alternativa frente a esto es la reconversión de las industrias introduciendo el elemento de la automatización. Sin embargo esto debe hacerse en la forma más adecuada de modo que se pueda absorber gradualmente la nueva tecnología en un tiempo adecuado; todo esto sin olvidar los factores de rendimiento de la inversión y capacidad de producción.

Uno de los elementos importantes dentro de este resurgir de la automatización son las Máquinas Herramientas de Control Numérico Computarizado, las cuales brindan algunas ventajas adicionales.

Desde los orígenes del control numérico todos los esfuerzos se han encaminado a incrementar la productividad, precisión, rapidez y flexibilidad de las máquinas herramientas. Su uso ha permitido la mecanización de piezas muy complejas, especialmente en la industria aeronáutica, como la que se aprecia en la figura 4.1.1.

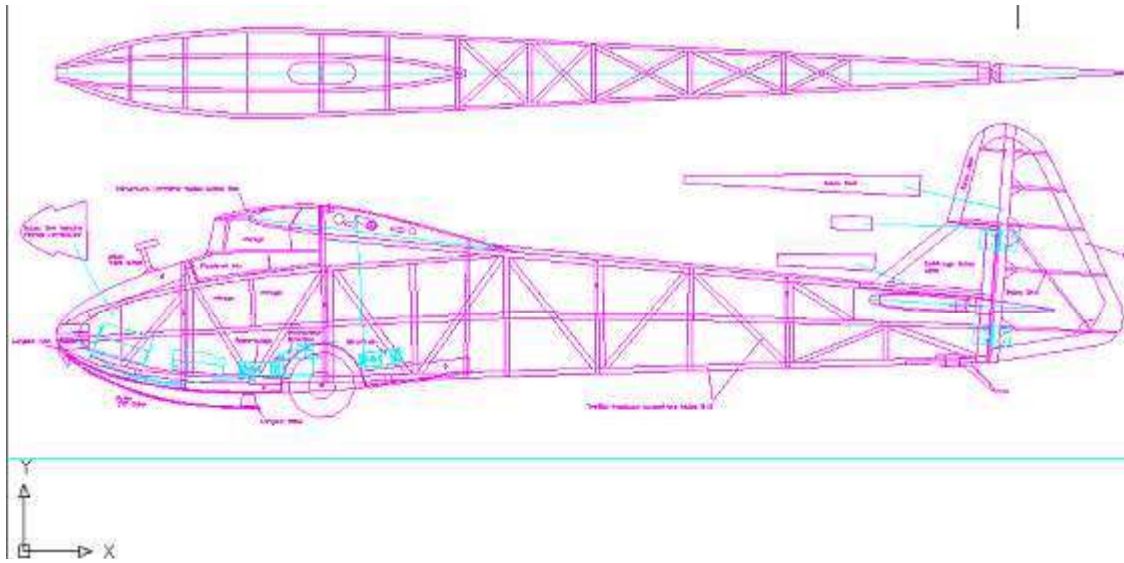


Figura 4.1.1.- Diseño del fuselaje de un avión

La utilización de sistemas de control aportará considerables beneficios, no sólo a los fabricantes de control y fabricantes de máquinas-herramientas, sino también al usuario final. Permitirá la integración de módulos propios, dando así a una empresa la posibilidad de implementar un sistema de programación específico tanto a pie de máquina como en el departamento de programación. Al basarse en estándares, la integración en un entorno CIM será fácil y económica.

También se obtendrán una reducción del tiempo de desarrollo y un incremento de la flexibilidad en la adaptación de los controles a las demandas especiales de las máquinas-herramienta y células de producción. Finalmente, se reducirán los costes de desarrollo, adaptación, puesta en marcha, formación, documentación y mantenimiento.

Las máquinas herramienta de control numérico (figura 4.1.2) configuran una tecnología de fabricación que de la mano de la microelectrónica, la automatización y la informática industrial ha experimentado en los últimos años un desarrollo acelerado y una plena incorporación a los procesos productivos, desplazando progresivamente a las máquinas convencionales, su capacidad de trabajo automático y de integración de los distintos equipos entre si y con los sistemas de control, planificación y gestión de formación, hacen del control numérico (CN) la base de apoyo a las tecnologías de fabricación como: el CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) fabricación integrada por computadora y el COM.- fabricación flexible.



4.1.2.-Máquina herramienta de control numérico industrial

4.2.- Definición de sistemas de control numérico (C.N.C.)

A los sistemas de control numérico también se les conoce como control numérico computarizado ó C.N.C. y se refiere al control numérico de máquinas, generalmente Máquinas Herramientas. Y es aquel sistema que permite confiar a una computadora los cálculos de las trayectorias que debe seguir una máquina herramienta para la manufactura de algún objeto.

Normalmente este tipo de control se ejerce a través de una computadora y la máquina está diseñada a fin de obedecer las instrucciones de un programa dado. Dichas máquinas de control numérico poseen un mayor nivel de flexibilidad que los Controladores Lógicos Programables. Este tipo de control se ha aplicado con éxito a Máquinas Herramientas de Control Numérico (MHCN) ya que es posible hacer modificaciones, incluso parar el proceso y que este posteriormente continúe si así se requiere, para hacer dichas modificaciones las MHCN cuentan con un panel o tablero de mandos donde el operador tiene el control sobre la máquina, un ejemplo de este tablero de mandos se puede apreciar en la figura 4.2.1.



Figura 4.2.1.-Tablero de mandos de una máquina herramienta de control numérico

Entre las MHCN que existen actualmente podemos mencionar:

- Frezadoras CNC.
- Tornos CNC.
- Máquinas de Electroerosionado
- Máquinas de Corte por Hilo,
- Etc.

En la actualidad hay distintas maneras en las que la computadora puede comunicarse con una máquina herramienta para reprogramarla y estas van desde las cintas perforadas hasta la comunicación inalámbrica lo cual permite una gran flexibilidad a la hora de la manufactura de objetos aunque la forma de comunicación depende también del poder económico de cada empresa.

Por lo tanto, el control numérico programable es la versión moderna de los mandos manuales que se tenían en el pasado para controlar algún tipo de movimiento que realizaba una máquina herramienta.

4.3.- Historia de los sistemas de control numérico (C.N.C.)

En el año de 1725 [Monografías 2003] se construye en Inglaterra la primer máquina automática de tejer, la cual era controlada por varias tarjetas perforadas.

No fue sino hasta el año de 1863 cuando se observa nuevamente un control automático aunque en esta ocasión fue un piano el cual toco mecánicamente gracias a M. Forneaux.

Solo unos pocos años después en un periodo que abarco de 1870 a 1890 Eli Whitney comenzó con el desarrollo de plantillas y dispositivos simples al que en ese tiempo se le conoció como “Sistema norteamericano de manufactura de partes intercambiables”.

Por esas mismas fechas en el año de 1880 comenzó la introducción de una variedad de herramientas para el maquinado de metales, a la par comienza también una producción que en ese tiempo se consideraba de gran escala.

Durante los años consecutivos siguió el avance en el desarrollo de sistemas de control pero fue hasta el año de 1940 cuando comenzó la introducción de controles hidráulicos, neumáticos y eléctricos así comienza con un mayor énfasis el maquinado automático.

Un gran paso se dio cuando en 1942, la corporación BENDIX tuvo problemas con la fabricación de una leva tridimensional para un regulador de una bomba de inyección para motores de avión. El perfil tan especial de dicha leva es prácticamente imposible de realizar con máquinas controladas manualmente, esta dificultad provenía de combinar los movimientos simultáneamente según varios ejes de coordenadas hallando el perfil deseado. Se acordó entonces confiar los cálculos a una máquina automática que definiera un gran numero de puntos de la trayectoria.

En 1947 John Parsons, constructor americano de hélices de helicóptero, concibe un control automático de entrada de información al cual se le conoce con el nombre de digitón.

El gobierno Estadounidense apoya en 1949 la iniciativa para el desarrollo de una fresadora de tres ejes en contorneado mandado por control digital.

En 1953 el Instituto Tecnológico de Massachussets utiliza por primera vez el nombre de “Control numérico”, los estudios hechos por el ITM en sus laboratorios darían grandes resultados a la postre, algunas universidades y empresas a la fecha siguen investigando formas de perfeccionamiento de los sistemas descubiertos anteriormente e intercambian información para obtener mejores resultados (figura 4.3.1).



Figura 4.3.1.- Desarrollo de sistemas de control numérico en laboratorios escolares

Hacia 1956 y solo después de tres años de desarrollo de esta tecnología el ITM hace una venta de 170 máquinas de control numérico a tres grandes compañías norteamericanas.

En 1960, también en el ITM se realizan las primeras demostraciones de control adaptable (un perfeccionamiento del control numérico que permite además, la autorregulación de las condiciones de trabajo de las máquinas).

A finales de 1968 se desarrolla completamente el CNC como lo conocemos y hasta nuestra fecha solo se ha ido perfeccionando y adicionándole el poder de las nuevas herramientas computacionales con las que se cuentan.

4.4.- Tipos de sistemas de automatización

Una solución para los problemas que aquejan hoy en día a la industria es utilizar una de las 5 formas automatizar los procesos.

Los tipos de automatización son:

- Control Automático de Procesos
- El Procesamiento Electrónico de Datos
- La Automatización Fija
- El Control Numérico Computarizado
- La Automatización Flexible.

El Control Automático de Procesos, se refiere usualmente al manejo de procesos caracterizados por diversos tipos de cambios (generalmente químicos y físicos); un ejemplo de esto lo podría ser el proceso de refinación de petróleo.

El Proceso Electrónico de Datos frecuentemente es relacionado con los sistemas de información, centros de cómputo, etc. Sin embargo en la actualidad también se considera dentro de esto la obtención, análisis y registros de datos a través de interfases y computadoras.

La Automatización Fija, es aquella asociada al empleo de sistemas lógicos tales como: los sistemas de relevadores y compuertas lógicas; sin embargo estos sistemas se han ido flexibilizando al introducir algunos elementos de programación como en el caso de los PLC'S (*program logic controllers*) o Controladores Lógicos Programables.

Un mayor nivel de flexibilidad lo poseen las máquinas de control numérico computarizado.

Este tipo de control se ha aplicado con éxito a Máquinas Herramientas de Control Numérico (MHCN).

El mayor grado de flexibilidad en cuanto a automatización se refiere es el de los robots industriales que en forma más genérica se les denomina como "Celdas de Manufactura Flexible".

4.5.-Características de las MHCN.

Las Máquinas Herramientas de Control Numérico (MHCN), constituyen la modalidad de automatización flexible mas utilizada; son máquinas herramientas programadas para fabricar lotes de pequeño y medio tamaño de piezas de formas complicadas; los programas de software sustituyen a los especialistas que controlaban convencionalmente los cambios de las máquinas y constituciones que incluye las tareas y sus velocidades así como algunas variables de control adaptativo para comprobar aspectos tales como temperatura, vibración, control adaptativo, condición del material, desgaste de las herramientas, etc., que permiten proceder a los reajustes necesarios.

Estas máquinas pueden encontrarse en forma asilada, en cuyo caso se habla de un modulo, o bien interconectadas entre si por medio de algún tipo de mecanismo automático

para la carga y descarga del trabajo en curso, en cuyo caso se hablaría de una célula de fabricación.

En ocasiones las máquinas están dispuestas en forma semicircular para que un robot pueda encargarse de manejar los materiales, mientras que en otros la configuración es lineal.

Cuando una máquina de control numérico actúa de forma independiente, necesita contar con la presencia de un operario, quien se ocupa de la carga y descarga de las piezas a procesar, los programas y las herramientas.

Algunas máquinas CN incluyen “cartucheras” rotatorias con diferentes herramientas también conocidas como usillos.

El programa de computadora puede seleccionar la herramienta a utilizar, de este modo, una máquina puede encargarse de realizar distintas operaciones que antes habían de hacerse en varias etapas con diferentes máquinas. No solo se reduce el tiempo de lanzamiento, sino que también se simplifica el flujo de ítems (aditamentos y procesos) en curso por el taller. En otros casos, frente a las máquinas se ubica un carrusel de herramientas, materiales, etc. y aquellas, sin necesidad de intervención humana, seleccionan con un “brazo” el instrumento o material que necesitan para desarrollar una determinada tarea.

Se cree que, en un futuro, las máquinas de Control Numérico harán el trabajo de precisión, mientras que los robots se limitarán a la carga, descarga y ensamblaje. En los casos de producción de gran volumen, la automatización rígida, más sencilla y barata, sería suficiente porque, aunque puede haber excepciones, las máquinas CN y los robots son lentos.

Para determinar la conveniencia de estas máquinas en términos de coste habrá que considerar la mano de obra, la disponibilidad de operarios especializados, tipo y grado de precisión requerida, fiabilidad de las máquinas, etc. Algunas empresas que producen una gama de productos estrecha se han dirigido, no obstante, a las máquinas CN porque, aunque el coste de la programación sea alto, una vez hecha esta, puede ser utilizada posteriormente sin necesidad de volver a programar.

4.6.-Programación en el control numérico y códigos

La programación en el control numérico es la base medular de estos sistemas, dicha programación se puede realizar de diversas formas y por diferentes herramientas computacionales y programas para computadora, que van desde gráficos hasta códigos, aunque también se pueden hacer las operaciones de forma manual. A continuación se describe de una manera más amplia como es que se realiza la programación automática así como la manual.

Programación Automática:

En este caso, los cálculos los realiza una computadora, que suministra en su salida el programa de la pieza en lenguaje máquina. Por esta razón recibe el nombre de programación asistida por computadora. De este método hablaremos más adelante.

Programación Manual:

El lenguaje máquina 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 comandos y códigos son interpretados por algún software.

El programa de mecanizado contiene todas las instrucciones necesarias para el proceso de automatización y manufactura.

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 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:

Código 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 (N000 N999).

X, Y, Z son las direcciones correspondientes a las cotas según los ejes X, Y, Z de la máquina herramienta. 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.

Código 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.

Ejemplos:

G00: El trayecto programado se realiza a la máxima velocidad posible, es decir, a la velocidad de desplazamiento en rápido.

G01: Los ejes se gobiernan de tal forma que la herramienta se mueve a lo largo de una línea recta.

G02: Interpolación lineal en sentido horario.

G03: Interpolación lineal en sentido anti horario.

G33: Indica ciclo automático de roscado.

G77: Es un ciclo automático que permite programar con un único bloque el torneado de un cilindro, etc.

Código 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 derecha o izquierda, cambio de husillo, etc. La dirección M va seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta 100 funciones auxiliares diferentes.

Ejemplos:

M00: Provoca una parada incondicional del programa, detiene el husillo y la refrigeración.

M02: Indica el fin del programa. Se debe escribir en el último bloque del programa y posibilita la parada del control una vez ejecutadas el resto de las operaciones contenidas en el mismo bloque.

M03: Permite programar la rotación del husillo en sentido horario.

M04: Permite programar la rotación del husillo en sentido anti horario, etc.

Código 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.

Código S

Es la dirección correspondiente a la velocidad de rotación del husillo principal. Se programa directamente en revoluciones por minuto, usando cuatro dígitos.

Códigos I, J y 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.

Código 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.

4.7.- Ventajas de los CNC

Entre las ventajas más significativas de los CNC podemos mencionar las siguientes:

- Incremento de la flexibilidad en la maquinaria (se adapta mejor a los cambios en las tareas y en los programas de producción).
- Incremento en la flexibilidad para el cambio, en la medida en que las instrucciones grabadas se pueden modificar cuando sea necesario, con lo que facilitan la adaptación a los cambios introducidos por la ingeniería de diseño.

- Reducción de necesidades de mano de obra y de inventarios, así como de los tiempos de lanzamiento, de suministro externo y de proceso.
- Precisión y exactitud para elaborar piezas muy complejas o simplemente imposibles de realizar con una operación manual.
- Rápido desarrollo de herramientas computacionales (software) cada vez más potentes y fáciles de manejar.

4.8.- Desventajas de los CNC

Podemos observar que los CNC tienen aun ciertas desventajas las cuales se mencionan a continuación:

- La frecuencia de errores en la programación.
- El deterioro de las cintas magnéticas o perforadas en las que están grabadas las instrucciones (este ya no es un problema porque desde hace muchos años las MHCN han dejado de operar con cintas o tarjetas perforadas aunque aun podemos encontrar algunas máquinas que operan bajo este principio).
 - La sensibilidad del lector de las instrucciones a las averías.
 - También es importante mencionar que la configuración física de las máquinas no facilita la realización de cambios, así como que, en muchos casos, los operarios especializados tienen que permanecer al lado de aquellas para monitorear como funcionan e introducir los posibles ajustes si fuesen necesarios.

Con ayuda e intervención de varias tecnologías diferentes, las MHCN han resuelto muchos problemas, nos brindan también una mayor flexibilidad en comparación con las Máquinas Herramientas convencionales, estas últimas paulatinamente han sido sustituidas por la nueva tecnología de control numérico.

Capitulo 5

El motor de pasos y su control electrónico

5.1.- Generalidades

En numerosas ocasiones es necesario convertir la energía eléctrica en energía mecánica [Electrónica automatismos 2006], esto se puede lograr, por ejemplo, usando los motores de corriente continua (CC), corriente alterna (CA) o motores de pasos, en el siguiente diagrama se muestran las diferentes opciones que se tienen para controlar los diversos tipos de motores.

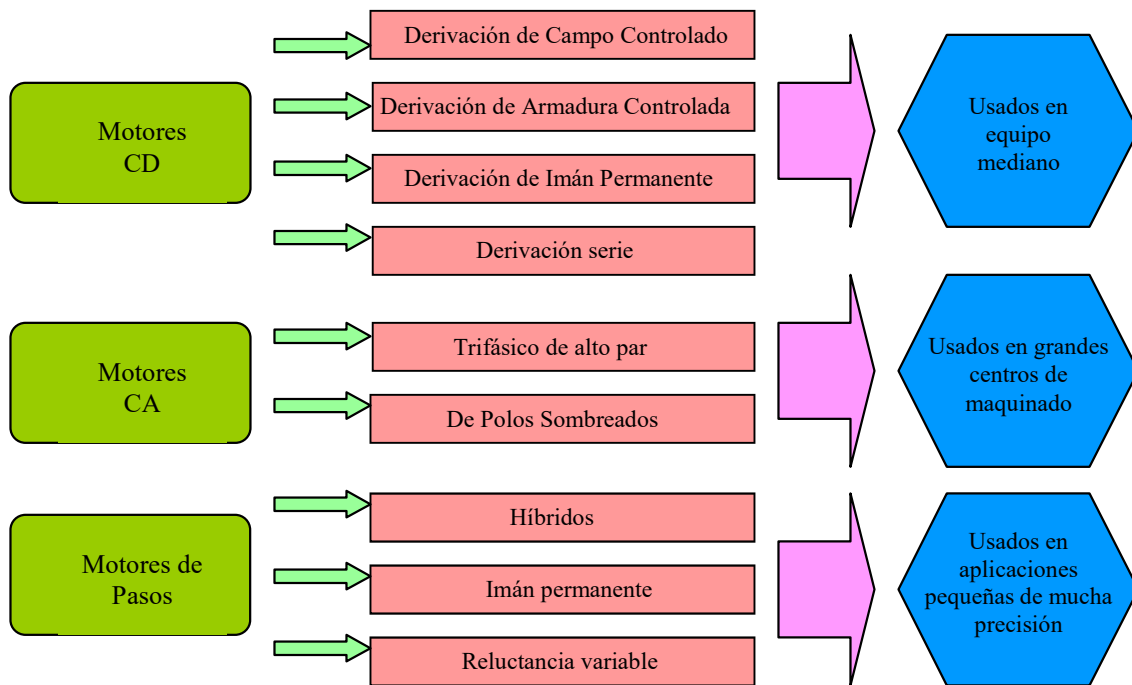


Figura 5.1.1.- Posibles combinaciones para controlar motores.

Los motores de CC y CA necesitan de controles muy complejos para la aplicación que requerimos, ya que nos interesa controlar muchas variables del motor tales como: par de mantenimiento, par de retención, par dinámico, velocidad de giro, precisión en el posicionamiento, etc. para conseguir todo esto con motores de CC y CA se requiere de tarjetas controladoras muy especiales, sin embargo contamos con una tecnología relativamente nueva en cuanto a motores, estos son los motores de pasos los cuales nos

permiten tener una excelente exactitud además permiten manipular todas las características de funcionamiento que anteriormente fueron expuestas.

Como se acaba de mencionar en el párrafo anterior, cuando lo deseado es posicionamiento con un elevado grado de exactitud y/o una muy buena regulación de la velocidad, se puede contar con una gran solución: utilizar un motor paso a paso.

Sus principales aplicaciones se pueden encontrar en robótica, tecnología aeroespacial, control de discos duros, flexibles, unidades de CD-ROM o de DVD e impresoras, en sistemas informáticos, manipulación y posicionamiento de herramientas y piezas en general.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

El motor paso a paso está constituido esencialmente por dos partes:

Una fija llamada "estator", construida a base de cavidades en las que van depositadas las bobinas que excitadas convenientemente formarán los polos norte-sur de forma que se cree un campo magnético giratorio.

Una móvil, llamada "rotor" construida mediante un imán permanente, con el mismo número de pares de polos, que el contenido en una sección de la bobina del estator; este conjunto va montado sobre un eje soportado por dos cojinetes que le permiten girar libremente.

Si por el medio que sea, conseguimos excitar el estator creando los polos N-S, y hacemos variar dicha excitación de modo que el campo magnético formado efectúe un movimiento giratorio, la respuesta del rotor será seguir el movimiento de dicho campo, produciéndose de este modo el giro del motor.

Puede decirse por tanto que un motor paso a paso figura (5.1.2) es un elemento que transforma impulsos eléctricos en movimientos de giro controlados, ya que podremos hacer girar al motor en el sentido que deseemos y el número de vueltas y grados que necesitemos.



Figura 5.1.2.- Motores de pasos.

5.2.- Principio de funcionamiento

Los motores eléctricos [kosow 1998] en general, basan su funcionamiento en las fuerzas ejercidas por un campo electromagnético creadas al hacer circular una corriente eléctrica a través de una o varias bobinas. Si dicha bobina, generalmente circular denominada estator, se mantiene en una posición mecánica fija y en su interior, bajo la influencia del campo electromagnético, se coloca otra bobina, llamada rotor, recorrida por una corriente y capaz de girar sobre su eje, esta última tenderá a buscar la posición de equilibrio magnético, es decir, orientará sus polos NORTE-SUR hacia los polos SUR-NORTE del estator, respectivamente. Cuando el rotor alcanza esta posición de equilibrio, el estator cambia la orientación de sus polos, aquel tratará de buscar la nueva posición de equilibrio; manteniendo dicha situación de manera continua, se conseguirá un movimiento giratorio y continuo del rotor y a la vez la transformación de una energía eléctrica en otra mecánica en forma de movimiento circular.

Aún basado en el mismo fenómeno, el principio de funcionamiento de los motores de corriente continua, para las máquinas de control numérico pequeñas los motores paso a paso son más sencillos de operar que cualquier otro tipo de motor eléctrico.

Las secuencias para el funcionamiento del motor Bipolar son las siguientes:

Tabla 5.2.1.- Secuencias de pasos para el funcionamiento del motor bipolar

Paso	A	B	C	D
1	+Vc c	Gnd	+Vc c	Gnd
2	+Vc c	Gnd	Gnd	+Vcc
3	Gnd	+Vc c	Gnd	+Vcc
4	Gnd	+Vc c	+Vc c	Gnd

Cada inversión en la polaridad provoca el movimiento del eje [Monografías 2001], avanzando este un paso, la dirección de giro se corresponde con la dirección de la secuencia de pasos, por ejemplo para avanzar el sentido horario la secuencia sería: 1-2-3-4, 1-2-3-4...y para sentido antihorario sería; 4-3-2-1, 4-3-2-1...

Las secuencias para el funcionamiento de un motor unipolar se dividen en tres grupos principales los cuales son:

- Paso simple
- Paso doble
- Medio paso

Paso simple:

Esta secuencia de pasos es la mas simple de todas y consiste en activar cada bobina una a una y por separado, con esta secuencia de encendido de bobinas no se obtiene mucha fuerza ya que solo es una bobina cada vez la que arrastra y sujeta el rotor del eje del motor

Tabla 5.2.2.- Secuencias de pasos para el funcionamiento del motor unipolar con paso simple

Paso					
o					

1					
2					
3					
4					

Paso doble:

Con el paso doble activamos las bobinas de dos en dos con lo que hacemos un campo magnético mas potente que atraerá con mas fuerza y retendrá el rotor del motor en el sitio.

Los pasos también serán algo mas bruscos debidos a que la acción del campo magnético es mas poderosa que en la secuencia anterior.

Tabla 5.2.3.- Secuencias de pasos para el funcionamiento del motor unipolar con paso doble

Paso					
1					
2					
3					
4					

Medio Paso:

Combinando los dos tipos de secuencias anteriores podemos hacer moverse al motor en pasos más pequeños y precisos y así pues tenemos el doble de pasos de movimiento para el recorrido total de 360° del motor.

Tabla 5.2.4.- Secuencias de pasos para el funcionamiento del motor unipolar con medio paso

Paso	A	B	C	D	
1	1	0	0	0	
2	1	0	0	0	
3	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	
8	1	0	0	0	

5.3.- Tipos de motores de pasos

Hay dos tipos básicos de motores Paso a Paso, los BIPOLARES que se componen de dos bobinas y los UNIPOLARES que tienen cuatro bobinas. Externamente se diferencian entre sí por el número de cables. Los bipolares solo tienen cuatro conexiones dos para cada bobina y los unipolares que normalmente presentan seis cables, dos para cada bobina y otro para alimentación de cada par de éstas, aunque en algunos casos podemos encontrar motores unipolares con cinco cables, básicamente es lo mismo, solo que el cable de alimentación es común para los dos pares de bobinas, así mismo los hay de ocho cables aunque como se puede ver en la figura 5.3.1 es prácticamente lo mismo.

Las distintas formas de conexión permiten clasificar los motores paso a paso en dos grandes grupos:

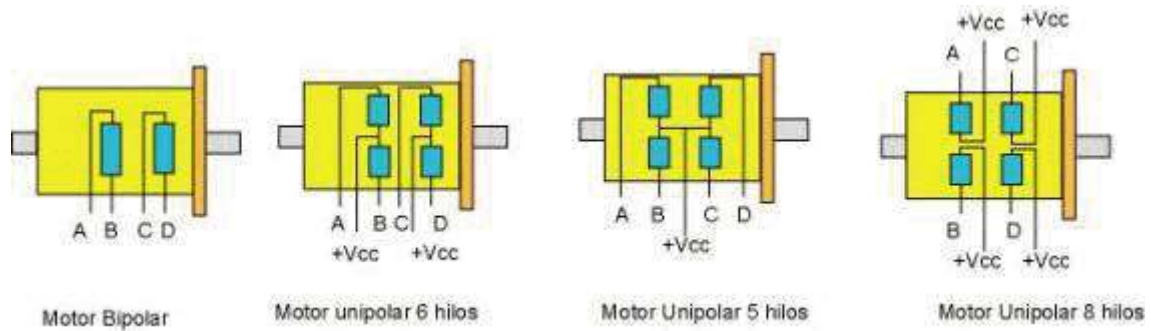


Figura 5.3.1.- Conexionado interno de los motores de pasos

Motores Unipolares

En este tipo de motores, todas las bobinas del estator están conectadas en serie formando cuatro grupos. Estas a su vez, se conectan dos a dos, también en serie, y se montan sobre dos estatores diferentes. Del motor paso a paso salen dos grupos de tres cables, uno de los cuales es común a dos bobinados. Los seis terminales que parten del motor, deben ser conectados al circuito de control, el cual, se comporta como cuatro conmutadores electrónicos que, al ser activados o desactivados, producen la alimentación de los cuatro grupos de bobinas con que está formado el estator. Si generamos una secuencia adecuada de funcionamiento de estos interruptores, se pueden producir saltos de un paso en el número y sentido que se desee.

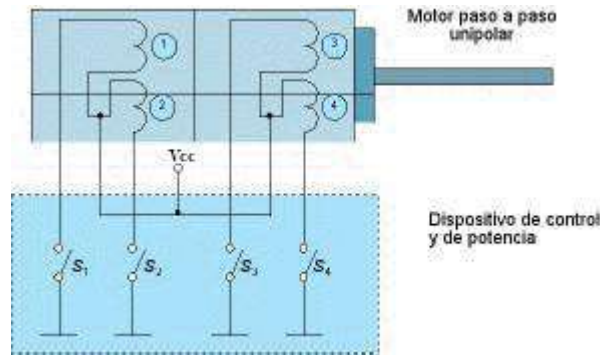


Tabla 5.3.2.-Motor unipolar y su dispositivo de control

Motores Bipolares

En este tipo de motores las bobinas del estator se conectan en serie formando solamente dos grupos, que se montan sobre dos estatores, tal y como se muestra en la Figura 5.3.3.

Según se observa en el esquema de este motor, salen cuatro hilos que se conectan al circuito de control, que realiza la función de cuatro interruptores electrónicos dobles, que nos permiten variar la polaridad de la alimentación de las bobinas. Con la activación y desactivación adecuada de dichos interruptores dobles, podemos obtener las secuencias adecuadas para que el motor pueda girar en un sentido o en otro.

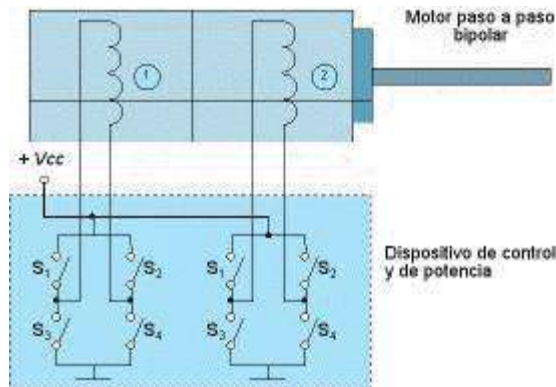


Figura 5.3.3.-Motor bipolar y su dispositivo de control

5.4.-Parámetros de los motores de pasos

Desde el punto de vista mecánico y eléctrico [x-robotics 2006], es conveniente conocer el significado de algunas de las principales características y parámetros que se definen sobre un motor paso a paso:

Par dinámico de trabajo (*Working Torque*): Depende de sus características dinámicas y es el momento máximo que el motor es capaz de desarrollar sin perder paso, es decir, sin dejar de responder a algún impulso de excitación del estator y dependiendo evidentemente de la carga.

Generalmente se ofrecen, por parte del fabricante, curvas denominadas de arranque sin error (pull-in) y que relaciona el par en función del número de pasos.

Hay que tener en cuenta que cuando la velocidad de giro del motor aumenta, se produce un aumento de la f.c.e.m. en él y por tanto, una disminución de la corriente absorbida por los embobinados del estator como consecuencia de todo ello disminuye el par del motor.

Par de mantenimiento (*Holding Torque*): Es el par requerido para desviar (en régimen de excitación) un paso el rotor cuando la posición anterior es estable; es mayor que el par dinámico y actúa como freno para mantener el rotor en una posición estable dada.

Par de retención (*Detention Torque*): Es una par de freno que siendo propio de los motores de imán permanente, es debida a la acción del rotor cuando los devanados del estator están desactivados.

Angulo de paso (*Step angle*): Se define como el avance angular que se produce en el motor por cada impulso de excitación. Se mide en grados, siendo los pasos estándar más importantes los siguientes:

Tabla 5.4.1.- Angulo por paso y número de pasos por revolución en motores de pasos

Grados por impulso de excitación	Nº de pasos por vuelta
0.72°	500
1.8°	200
3.75°	96
7.5°	48
15°	24

Número de pasos por vuelta: Es la cantidad de pasos que ha de efectuar el rotor para realizar una revolución completa, la formula para calcular en número de pasos por vuelta es:

$$NP = \frac{360}{\alpha} \quad (5.4.1)$$

Donde NP es el número de pasos y α el ángulo de paso.

Frecuencia de paso máximo (*Maximum pull-in/out*): Se define como el máximo número de pasos por segundo que puede recibir el motor funcionando adecuadamente.

Momento de inercia del rotor: Es su momento de inercia asociado que se expresa en gramos por centímetro cuadrado.

Los pares de mantenimiento, de retención y dinámico: Definidos anteriormente son expresados en mili newton por metro.

5.5.- Categorías de los motores de pasos.

A pesar de que varios tipos de motores de pasos han sido desarrollados, todos caen dentro de tres categorías básicas que son.

- Reluctancia variable (VR)
- Magneto permanente (MP)
- Híbridos

5.5.1.- Motor de reluctancia variable (V.R.):

Los motores de este tipo poseen un rotor de hierro dulce que en condiciones de excitación del estator y bajo la acción de su campo magnético, ofrecen menor resistencia a ser atravesados por su flujo en la posición de equilibrio. Su mecanización es similar a los de imán permanente y su principal inconveniente radica en que en condiciones de reposo (sin excitación) el rotor queda en libertad de girar y, por lo tanto, su posicionamiento de régimen de carga dependerá de su inercia y no será posible predecir el punto exacto de reposo. El motor de reluctancia variable o V.R. (figura 5.5.1.1) consiste en un rotor y un estator cada uno con un número diferente de dientes. Ya que el rotor no dispone de un magneto permanente el mismo gira libremente, o sea que no tiene torque de detención.

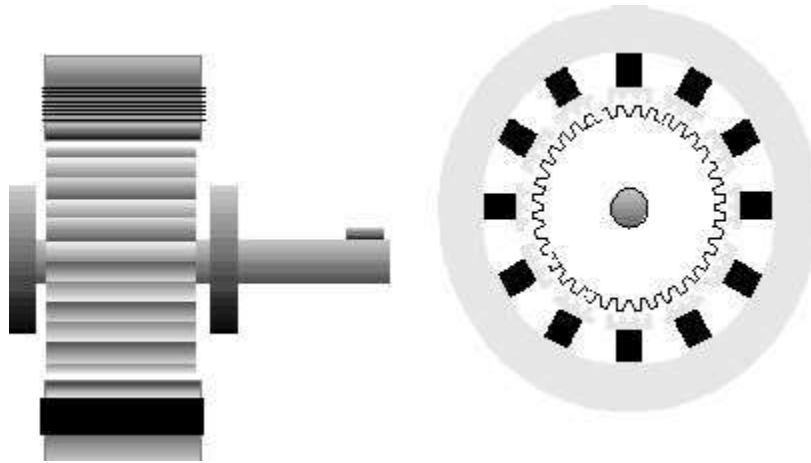


Figura 5.5.1.1.-Vista de sección de un motor por pasos de reluctancia variable

5.5.2.- Motor de magneto Permanente:

Este motor consta de un rotor que es un imán permanente en el que se mecanizan un número de dientes limitado por su estructura física. Ofrece como principal ventaja que su posicionamiento no varía aún sin excitación y en régimen de carga. El motor de magneto permanente (PM) o tipo enlatado (figura 5.5.2.1) es quizá el motor por pasos mas ampliamente usado para aplicaciones no industriales. En su forma mas simple, el motor consiste en un rotor magneto permanentemente de magnetizado radial y en un estator similar al motor V.R. Debido a las técnicas de manufactura usadas en la construcción del estator, los mismos se conocen a veces como motores de “polo de uñas “o “claw pole” en inglés.

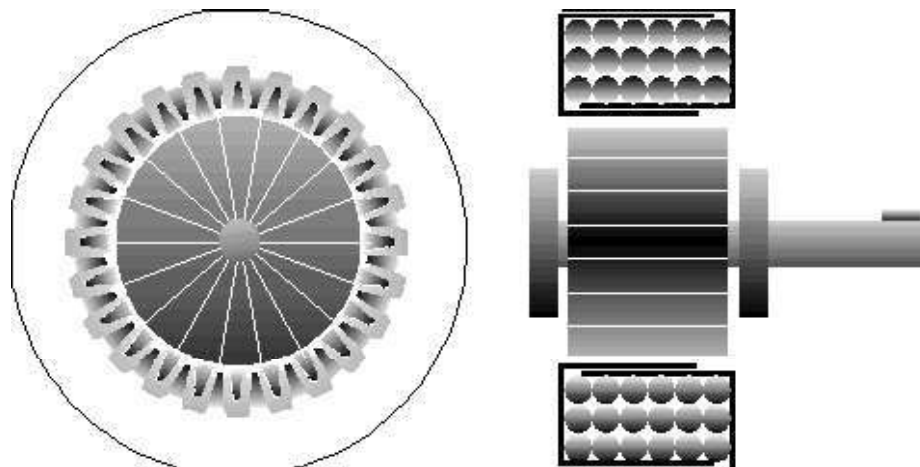


Figura 5.5.2.1.-Vista en sección de un magneto permanente

5.5.3.- Motor Híbrido:

Son una combinación de los dos tipos anteriores; el rotor suele estar constituido por anillos de acero dulce dentado en un número ligeramente distinto al del estator y dichos anillos montados sobre un imán permanente dispuesto axialmente. El tipo Híbrido es probablemente el más usado de todos los motores de pasos. Originalmente desarrollado como un motor de magneto permanente (MP) sincrónico de baja velocidad su construcción es una combinación de los diseños V.R. y MP. El motor híbrido consta también de un rotor de tres partes (apilado simple). El rotor de apilado simple contiene dos piezas de polos separados por un magneto permanente magnetizado, con los dientes opuestos desplazados en una mitad de un salto de diente (figura 5.5.3.1) para permitir una alta resolución de pasos.

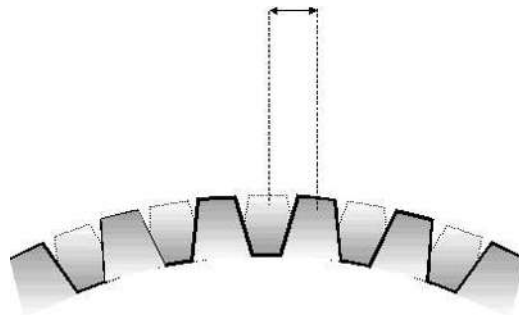


Figura 5.5.3.1. Distancia de desplazamiento por paso en un motor híbrido

El incremento de demanda de los sistemas de motores de pasos con reducido ruido acústico, con una mejora en el desempeño al mismo tiempo y con reducción de costos fue satisfecho en el pasado con los dos tipos principales de motores de pasos Híbridos. El tipo 2(4) fases que ha sido generalmente implementado en aplicaciones simples y el de 5 fases que ha probado ser ideal para las tareas más exigentes.

Las ventajas ofrecidas por los motores de 5 fases son:

- Mayor resolución
- Menor ruido acústico
- Menor resonancia operacional
- Menor torque de frenado.

5.6.- Tarjeta de movimiento de tres ejes

Para el sistema de control de los motores de pasos del router de control numérico de tres ejes propuesto, se utilizará un drive para cada eje, es decir el sistema completo funcionara con tres drive's.

La construcción de los drive's puede ser muy variada de acuerdo a las exigencias y a la disposición económica que se tenga en el momento de fabricarlas, en la actualidad se cuenta con un numero muy grande de componentes para armarlas. A continuación se describirán algunos circuitos que pudieran ser tomados en cuenta para la fabricación del prototipo, se analizaran y se tomará aquel que mayores ventajas técnicas así como económicas nos brinde, quedará también expuesto a la dificultad de encontrar los componentes electrónicos en esta región.

5.6.1.-El circuito integrado L297

El circuito integrado L297 (figura 5.6.1.1) contiene internamente toda la circuitería necesaria para controlar motores de pasos unipolares o bipolares con realimentación de corriente [STMicroelectronics 3 2006] como el circuito integrado SG3524 entre otros, si se requiere controlar un motor de pasos bipolar el circuito L297 puede emplearse conjuntamente con el circuito integrado L298 el cual esta diseñado [STMicroelectronics 4 2006] especialmente para trabajar en conjunto con el L297 aunque se puede prescindir de él. El integrado L298 es un circuito tipo puente doble, así los dos circuitos conforman un controlador de motores de pasos bipolar como el que aparece en la figura 5.6.1.2, en el caso de querer controlar un motor de pasos unipolar el circuito L297 se acopla a un arreglo de transistores tipo Darlington, un circuito que nos podría brindar grandes ventajas para este fin es el ULN2075B el cual [STMicroelectronics 5 2006] cuenta en su interior con un arreglo de transistores tipo Darlington en la figura 5.6.1.3 se presenta el diagrama de control típico para motores unipolares de pasos utilizando los circuitos integrados L297 y ULN2075B.

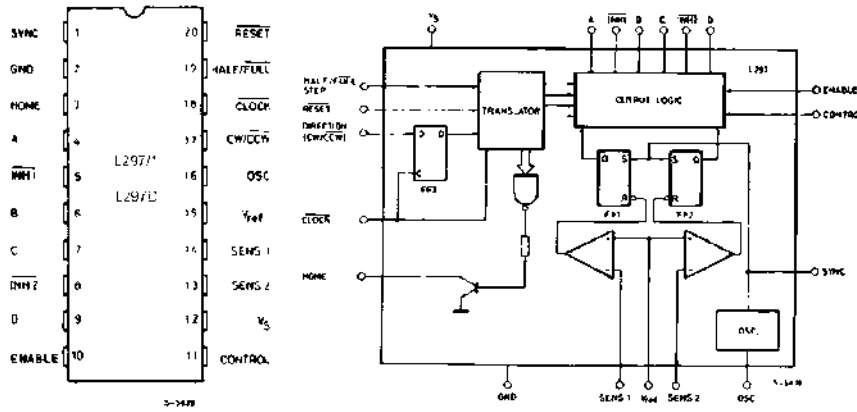


Figura 5.6.1.1.- Circuito Integrado L297 y su diagrama de bloques

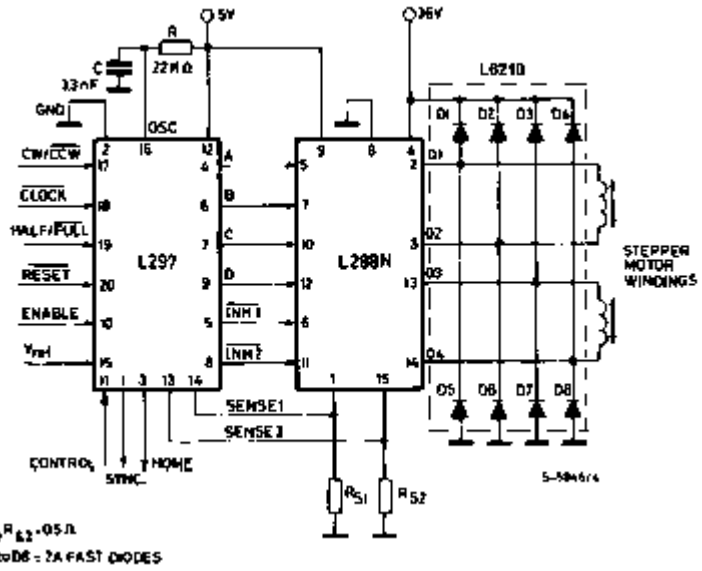


Figura 5.6.1.2.- Control de un motor de pasos utilizando los C.I. L297 y L298N

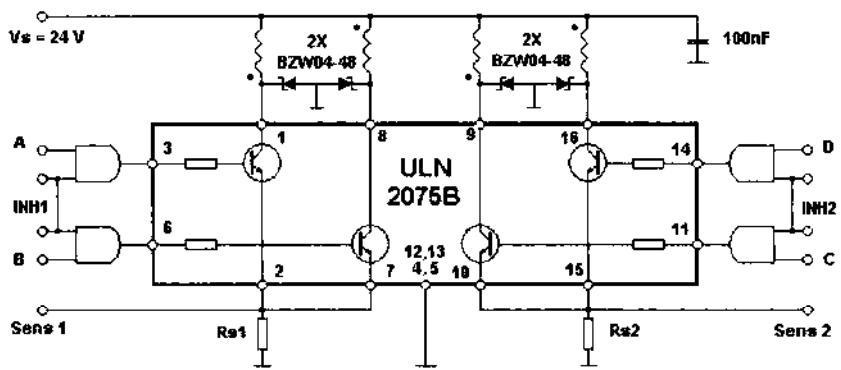


Figura 5.6.1.3.- Control para motores unipolares utilizando los circuitos integrados L297 y ULN2075B.

Normalmente el L297 recibe las señales de control ya sea de un microcontrolador o directamente de la computadora con la ayuda de un programa CAM a través del puerto serie o paralelo, el integrado provee al motor de las señales necesarias para que este trabaje adecuadamente, en la figura 5.6.1.4 se observan estas señales además del tren de pulsos de entrada (Clock). Adicionalmente este integrado cuenta con un circuito PWM (modulador de ancho de pulso), con el cual se controla la corriente que circula por los devanados del motor permitiendo un alto par en el motor a altas velocidades. Esto brindará una gran ventaja respecto a enviar los pulsos directamente de un microcontrolador ya que dicho microcontrolador no nos permitiría mantener un alto par a velocidades altas.

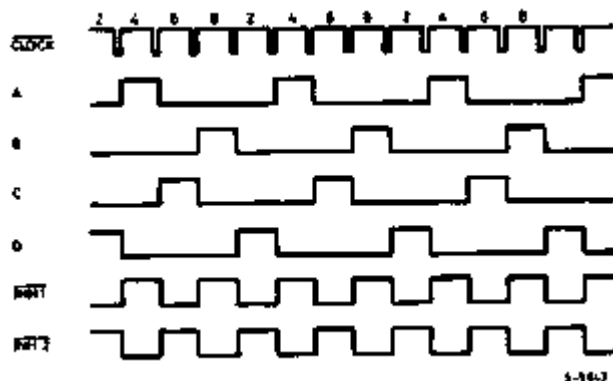


Figura 5.6.1.4.- Tren de pulsos de entrada y salidas en las fases A B C y D

La configuración de los pines del circuito integrado L297 es:

Tabla 5.6.1.1.- Función de los pines del C.I. LM 297

Pin	Función	Pin	Función
1	Sincronización con otro L297	11	Define la acción PWM
2	Conexión a tierra	12	Voltaje de alimentación = 5V
3	Posición inicial ABCD = 0101	13	Censor de corriente de las fases C y D
4	Salida fase A	14	Censor de corriente de las fases A y B
5	Deshabilita el control de A y B	15	Voltaje de ref. de la corriente de carga
6	Salida fase B	16	Elementos RC que definirán el PWM
7	Salida fase C	17	Sentido de giro, horario ó antihorario

8	Deshabilita el control de C y D	18	Por cada pulso el motor avanza un paso
9	Salida fase D	19	Pasos completos o medios pasos
10	Habilita salidas ABCD	20	Aplica reset en A, B, C y D

En el apéndice A se encuentra información mas detallada sobre el CI L297.

5.6.2.-El circuito integrado TEA3718

El circuito integrado TEA3718 (figura 5.6.2.1) fue diseñado para controlar motores de pasos bipolares exclusivamente; este integrado [STMicroelectronics 2 2006] puede venir en un empaquetado de 15, 16 ó 20 pines, al igual que el circuito L297 es un circuito de control de realimentación de corriente, donde el rango de control de corriente puede ser ajustado desde 1.5 hasta 5 Amperes, Como otros integrados de control de motores de pasos se puede definir el modo de operación, para que este sea de medios pasos o pasos completos, además este integrado cuenta con un selector que permite definir de entre tres niveles la corriente de alimentación de los devanados, incluso la corriente puede ser interrumpida por completo con la correcta combinación de los pines de control. El TEA3718 solo puede controlar un devanado de los dos que se necesitan para controlar un motor de pasos bipolar, de modo que para armar un control de motores de pasos se necesitan dos circuitos integrados TEA3718 así como algunos otros componentes, en la figura 5.6.2.2 se ilustra un diagrama de control para motores de pasos bipolares con dos circuitos integrados TEA3718.

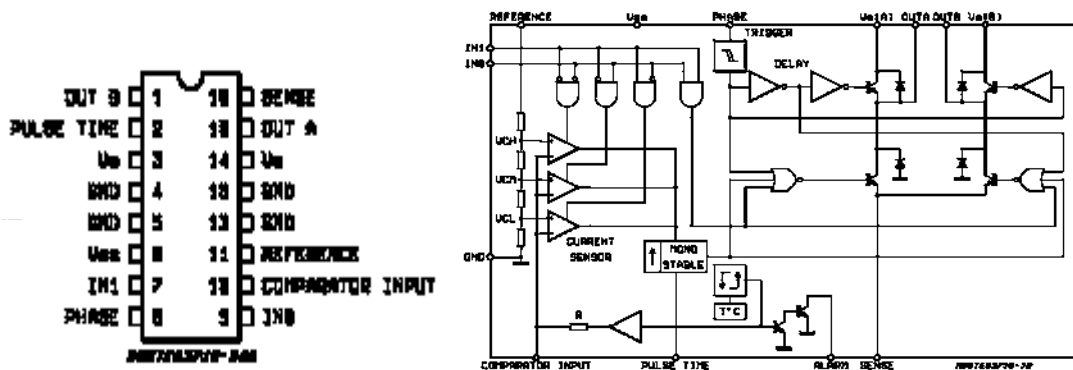


Figura 5.6.2.1.- Circuito Integrado TEA3718 y su diagrama de bloques

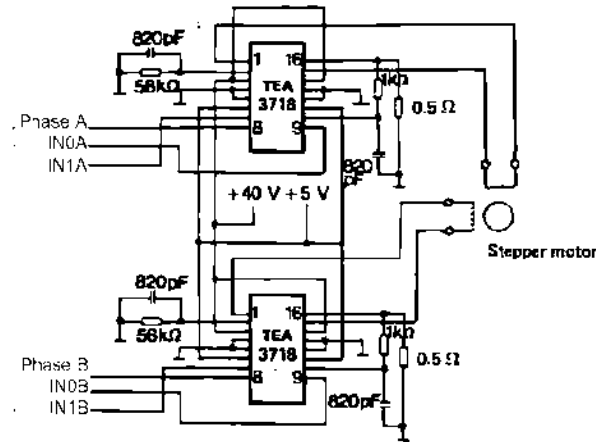


Figura 5.6.2.2.- Circuito de control para un motor de pasos utilizando dos TEA3718

En el apéndice B se encuentra información mas detallada sobre el CI TEA3718.

5.6.3.-El circuito integrado SG3524

En la figura 5.6.3.1 tenemos el circuito integrado SG3524 [STMicroelectronics 1 2006] que es un circuito de control por PWM. La corriente que pasa por las bobinas del motor se mide en una R shunt, si controlamos un motor unipolar que opera en modo de pasos completos por máximo, la corriente que circula por R shunt será la de dos bobinas y si por cada bobina circulan 2 amperes, la corriente de R shunt sera de 4 amperes y su caída de voltaje será de 0.4 volts. Este voltaje es amplificado 10 veces por el circuito LM324 de modo que el pin 1 que es la entrada negativa del circuito SG3524, habrá cuatro volts que se comparan con los de la entrada positiva del pin 2 del SG3524 que es suministrada por un potenciómetro, de la comparación de estos dos voltajes dependerá la señal de error que se produce en los pines 12 y 13 del SG3524 esta señal es una señal PWM, que sirve para controlar los transistores tipo Darlington NPN que producen una corriente constante en las bobinas del motor de pasos, lo anterior se puede apreciar mucho mejor en la figura 5.6.3.2.

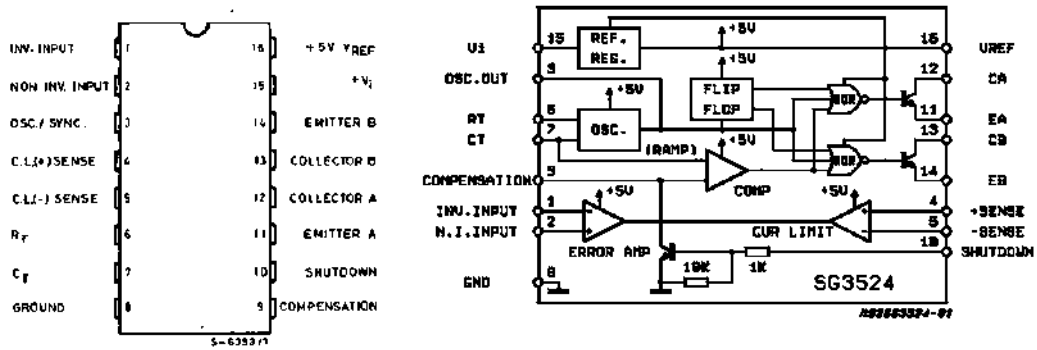


Figura 5.6.3.1.- Circuito Integrado SG3524 y su diagrama de bloques

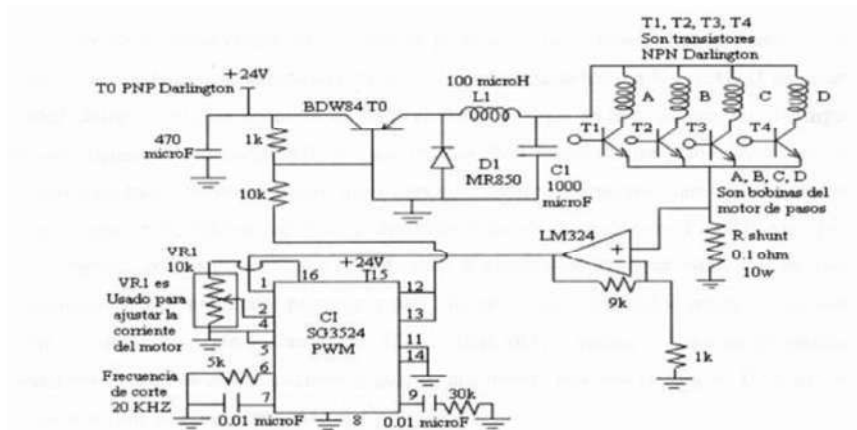


Figura 5.6.3.2.- Control para motores de pasos unipolar basado en el CI SG3524
En el apéndice C se encuentra información mas detallada sobre el CI SG3524.

5.6.4.- El Circuito integrado SAA1027.

Ahora toca el turno de analizar el circuito integrado SAA1027 el cual es un circuito especial para el control de motores de pasos unipolar de 5 o 6 hilos, este componente es fácil de encontrar en el mercado y su precio es bastante accesible.

Este circuito es muy fácil de manipular, así mismo requiere de muy pocos componentes adicionales para su interconexión con el motor, esto se puede apreciar mejor en la figura 5.6.4.1.

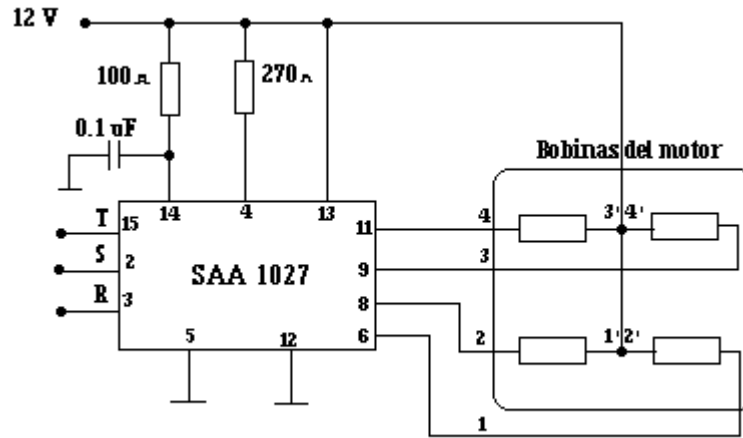


Figura 5.6.4.1- Interconexión del C.I. SAA 1027 y el motor de pasos

Su funcionamiento es bastante sencillo y en seguida se da la descripción la forma de configurar sus pines de entrada.

Pin T: A este pin se le introducen pulsos generados externamente, como consecuencia de estos pulsos el motor comenzará a girar, hay que tener en cuenta que la frecuencia de los pulsos nos determinará la velocidad del motor, y que el número de pulsos de entradas es igual al número de pasos o posiciones que avanzará el motor.

Pin R: La misión de este pin es controlar el sentido del giro del motor de pasos así tenemos que:

- Para $R = 1$ (Lógico), el motor gira en sentido antihorario.
- Para $R = 0$ (Lógico), el motor gira en sentido horario.

Pin S: Este pin permite habilitar el integrado, esto quiere decir que si ponemos un 1 lógico en S el circuito integrado responderá a la entrada, mientras que si mantenemos un 0 lógico en S el integrado no responderá a ninguna señal de control.

Este sería el circuito integrado ideal para manejar motores donde estos operen con pequeñas corrientes y bajos pares. Sin embargo este no es nuestro caso ya que nosotros necesitamos que el motor trabaje a altas velocidades y que el par no se vea afectado por esta condición de velocidad.

5.7.- Fuente de poder para motores de pasos

La fuente de poder o fuente de alimentación es un factor bastante importante, en este caso se requiere alimentar el circuito de control y los motores de pasos con niveles de voltaje distintos, el circuito cuenta con un regulador de voltaje así que podemos alimentarlo con 12 volts y los motores de pasos con 4.5 V, las características de los motores de pasos son las mismas ya que la corriente y el numero de pasos por revolución de todos los motores es el mismo.

La fuente deberá alimentar a los motores de pasos por lo menos con el voltaje nominal de este ya que como se menciono anteriormente, el drive de control puede modular el ancho de pulso y con esto manipular la corriente que fluye por los devanados de los motores evitando que circule mayor corriente de la nominal por estos, todo esto en base al circuito integrado LM297.

Diseñar una fuente de alimentación adecuada a esta aplicación y con los requerimientos necesarios para alimentar tanto el circuito de control como los motores de pasos, podría ser tema de investigación y construcción por demás interesante pero no es el objetivo de esta tesis, por lo tanto solamente nos limitaremos a decir que la fuente de poder podría ser de 12 volts para el circuito de control y otra de 5 volts para los motores.

Sabiendo que los motores consumen como máximo 4.6 Amperes y teniendo en cuenta que los tres ejes pueden operar al mismo tiempo tenemos un consumo máximo de 27.6 Amperes, sin embargo esta condición solo ocurrirá si se cumplen dos factores, que el consumo de corriente de los motores sea ajustado a su máximo valor con el voltaje de referencia del drive, y que la condición de operación de todos los ejes sea requerida en el mismo instante, sabiendo esto se decide alimentar las etapas de control y de potencia con tres fuente de la marca *Happ Controls Power Pro* las cuales pueden suministrar individualmente:

- +12 V → 2 A
- - 5 V → 1 A
- + 5 V → 15 A

Con estas características individuales las fuentes de alimentación con las que se cuenta (figura 5.7.1) son más que suficientes ya que se utilizará una por cada eje de movimiento de la MHCNC haciendo así a la máquina mucho muy confiable, además de no limitar a si en algún momento se requiere trabajar con los motores en la modalidad de medios, dobles o pasos normales.



Figura 5.7.1.- Fuente de poder utilizada

Capítulo 6

Construcción del prototipo

6.1.- Marco general

Una vez diseñadas todas y cada una de las piezas que componen el prototipo, se ha pasado a la fase de montaje y se ha construido lo siguiente.

- Drive's para el control de los motores
- Mesa de trabajo
- Configurado la interfaz para el usuario
- Soportes longitudinales
- Piñones para el sistema de movimiento
- Puente
- Cable para la comunicación de los drive's de control con el software.

Todo sobre la construcción del modelo será explicado mas detalladamente en las siguientes secciones de este capitulo.

6.2.- Propuesta del prototipo a construir

El prototipo que se construirá dependerá de ciertos requerimientos que debe tener el modelo para que nos sea lo más útil posible, los requerimientos más importantes a grandes rasgos que debe de cubrir son los siguientes:

- Dimensiones.
- Velocidad de trabajo.
- Gran movilidad de los ejes.
- Mucha exactitud.
- Fácil manejo.
- Protección del equipo
- Económico.

Las dimensiones que tenga nos deberá permitir trabajar con piezas grandes por lo tanto tomaremos como modelo a seguir el tipo de mesa fija o de bancada, ya que este modelo nos permitirá trabajar tanto con piezas pequeñas como con piezas grandes que pueden ir desde pequeños marcos para fotografías hasta mesas o puertas.

La velocidad que se busca obtener para que el modelo opere será la mayor, la velocidad en los ejes es proporcionada por los motores, dichos motores cuentan con características bastante importantes tanto de par como de velocidad lo que nos permitirá tener una excelente respuesta en cuanto a velocidad de desplazamiento se refiere.

La movilidad en los ejes debe de ser la mayor posible, buscaremos que el modelo se mueva a lo largo y a lo ancho de toda la superficie de trabajo pudiendo llegar al último rincón del área de trabajo, con esto podremos obtener trabajos de excelente calidad sin necesidad de mover la pieza a elaborar o a manufacturarla en partes.

La exactitud en los movimientos de la máquina es una parte mucho muy importante en el desarrollo de este prototipo, el giro de los motores que mueven los ejes de nuestro modelo son de los que dependerá que la máquina sea exacta en sus movimientos o no, para esto utilizaremos motores que nos brinde una gran resolución a la hora de girar así como una buena tarjeta de control que nos permita trabajar y aprovechar al máximo todas las características de los motores.

El modelo a construir deberá poder ser operado por cualquier persona con un mínimo de capacitación por lo tanto la máquina tiene que ser fácil de operar, esto lo lograremos gracias a las herramientas computacionales con las que contamos las cuales serán implementadas en este prototipo buscando la que sea más fácil de operar y que nos permita también realizar piezas complicadas.

Los motores que se utilizaran, la computadora y demás equipo electrónico deberán ser protegidos ante alguna eventual falla tanto en el sistema de suministro eléctrico como de nuestro propio sistema las fallas más comunes que pudieran presentarse son sobrecargas eléctricas o desconexiones del sistema eléctrico, por esto es importante proteger el equipo.

El prototipo debe ser económico pero al mismo tiempo cumplir con todos los requerimientos que fueron mencionados anteriormente, por lo tanto se buscara conseguir el mayor ahorro económico sin sacrificar ninguna característica de operabilidad del modelo.

6.3.- Construcción del sistema de movimiento

El mecanismo de movimiento de tres ejes de nuestro proyecto esta basado en el sistema tipo mesa fija el cual se explicó en la sección 5.9 es por eso que la construcción de cada eje se realizara de forma modular, una vez terminados todos los ejes de movimiento estos serán ensamblados y puestos a prueba para verificar su correcto funcionamiento.

6.3.1.- Construcción de los soportes longitudinales

La construcción de los ejes longitudinales se ha realizado basándonos en la figura 6.3.1.1, se han fijado los ejes a la mesa de trabajo que tiene las siguientes dimensiones: 3.00 m de largo, 0.94 m de alto, 1.37 m de ancho. A la mesa se la dotado de unos mangos para facilitar su traslado, dichos mangos tienen las siguientes medidas: 5cm de alto, 3cm de ancho, 15cm de largo.

Los ejes tienen las siguientes dimensiones: 0.075 m de ancho x 0.01 m de alto x 2.45 m de largo, a dichos ejes se les han colocado un par de cremalleras con las siguientes características, 1cm de ancho, 2m de largo, 0.75cm de altura de diente, además tiene 8 dientes por pulgada de cremallera.

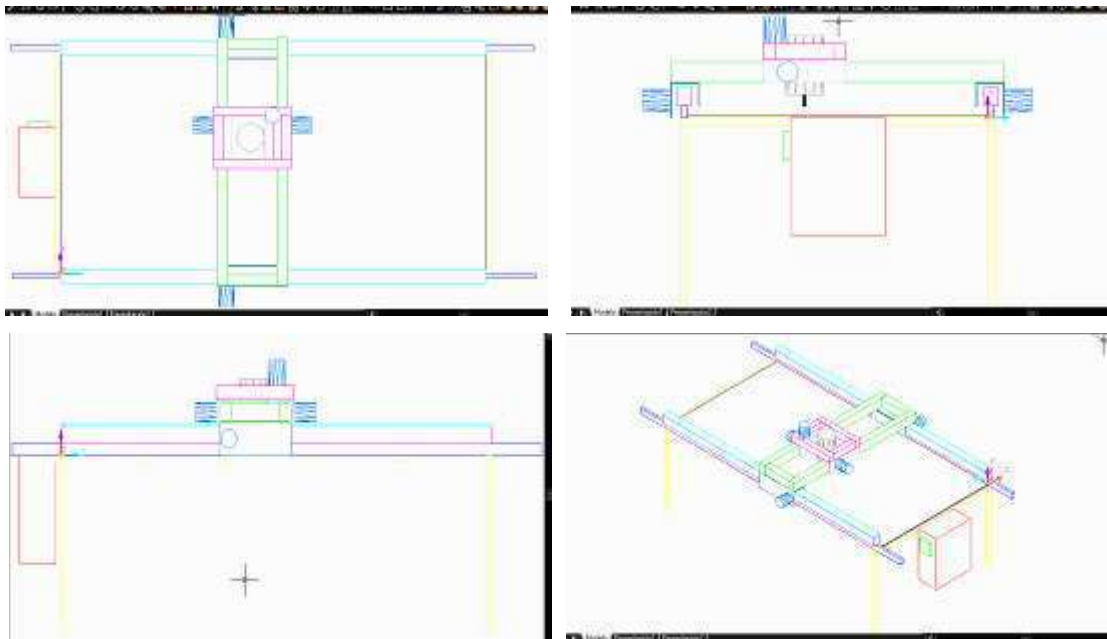


Figura 6.3.1.1.- Vista superior, frontal, lateral e isométrica de la mesa de trabajo.

6.3.2.- Construcción del puente

Para el eje X tenemos dos travesaños con dos motores, los cuales son controlados por una sola tarjeta de control.

Para el eje Y contamos con dos travesaños con un motor cada uno, los cuales son controlados con una misma tarjeta de control, esto debido a que los dos motores deben trabajar en sincronismo, pues los dos motores son los encargados del desplazamiento en el eje.

Para el eje Z, contamos con un motor de pasos el cual accionará un sistema de movimiento tipo tornillo tuerca que levantará y bajará la herramienta de corte, dicho motor será controlado por una tarjeta de control.

Lo anterior se puede observar y comprender mejor con la figura 6.3.1.1 y 6.3.2.1.

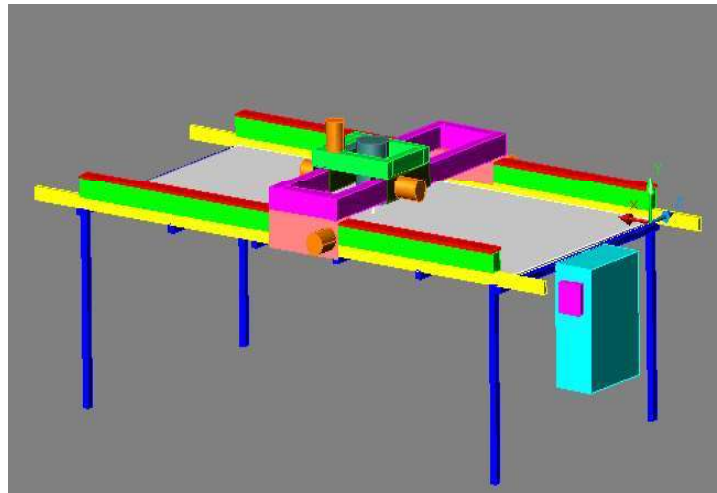


Figura 6.3.2.1.- Diseño de la mesa de trabajo, soportes longitudinales y otros accesorios

6.3.3.- El cabezal o herramienta de corte

Ahora nos referiremos a la herramienta de corte, esta puede ser, un taladro, una cortadora, o cualquier herramienta que permita manipular el material con el que se trabajará, y que para el modelo propuesto en esta tesis será la madera.

Esta herramienta se conoce comúnmente como herramienta de corte *Spindled*, y es una herramienta como se mencionó anteriormente que tendrá libertad de movimiento en tres grados X, Y, Z.

En este caso utilizaremos un router, el cual nos va a permitir cortar, agujerar y retirar la madera que no utilizaremos en nuestro diseño. La figura 6.3.3.1 muestra esta herramienta.



Figura 6.3.3.1.- herramienta de corte.

6.4.- El motor de pasos

El prototipo propuesto utilizará un motor de 200 pasos por revolución o lo que es lo mismo de 1.8° por paso, lo que permitirá tener una gran resolución en la elaboración de piezas, esta resolución se puede incrementar ya que el motor puede trabajar con la función de medios pasos lo que nos permite tener hasta 400 pulsos por revolución en este motor. El motor es híbrido, esto nos brinda grandes ventajas como una alta resolución de pasos y una reducción en el ruido acústico, mas detalles sobre las características sobre este tipo de motores se pueden consultar en el subcapitulo 5.5.3.

El motor empleado consume 4.6 A, se conecta a 2.25 volts, es del tipo unipolar de seis hilos (figura 6.4.1) además de que tiene un par de retención de 150 onzas por pulgada.

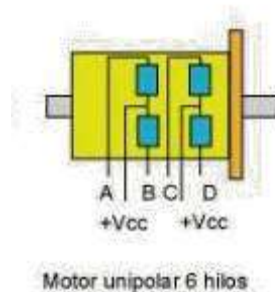


Figura 6.4.1.- Motor de pasos unipolar de seis hilos

A los rotores de nuestros motores se le han colocado piñones de 24 dientes por revolución, esto nos permitirá tener una gran resolución en cada paso que den los motores.

6.5.- Construcción de los drive's

La construcción de los drive's será basada en el diseño de control propuesto por el fabricante del circuito integrado L297, sin embargo, como no se dispone del circuito integrado ULN2075B, se propone el diseño de un arreglo de transistores tipo Darlington TIP 142 en conjunto con el circuito integrado 4081N, en la figura 6.5.1 se presenta el diagrama electrónico completo de un drive de los utilizados en este proyecto y en la figura 6.5.2 se muestra el drive ya construido así como el circuito impreso, este drive tiene nueve bits de configuración y control, de estos bits tres corresponden a señales de control tales como habilitar o deshabilitar el motor, determinar el sentido de giro y el tercero correspondiente al tren de pulsos que harán avanzar el motor, dependiendo de este tren también la velocidad con que el motor girará, los seis bits restantes definen otros aspectos de la operación del motor y se les asigna de forma definitiva un estado lógico, en estos bits se localiza el PIN correspondiente al reset, el que permite sincronizar varios L297, el BIT del modo de operación del motor entre otros, por ejemplo si se quiere que tener la máxima resolución posible cuando el motor se encuentre operando solo se asigna un uno lógico al PIN que corresponda.

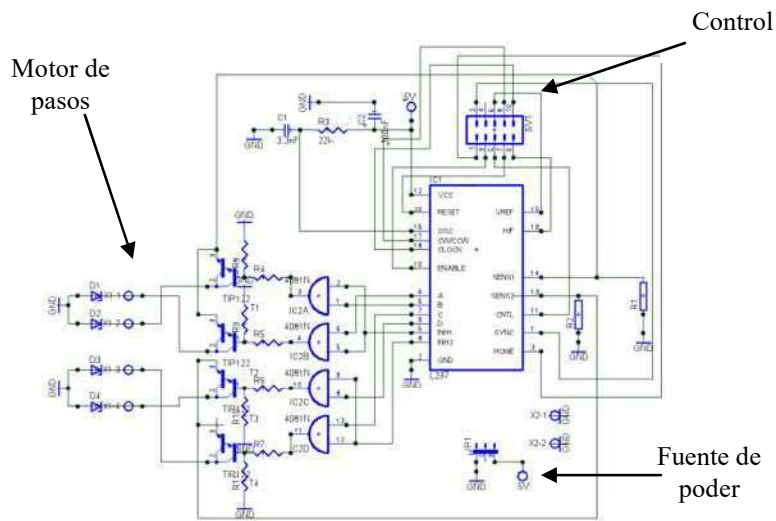


Figura 6.5.1.-Diagrama esquemático del drive.

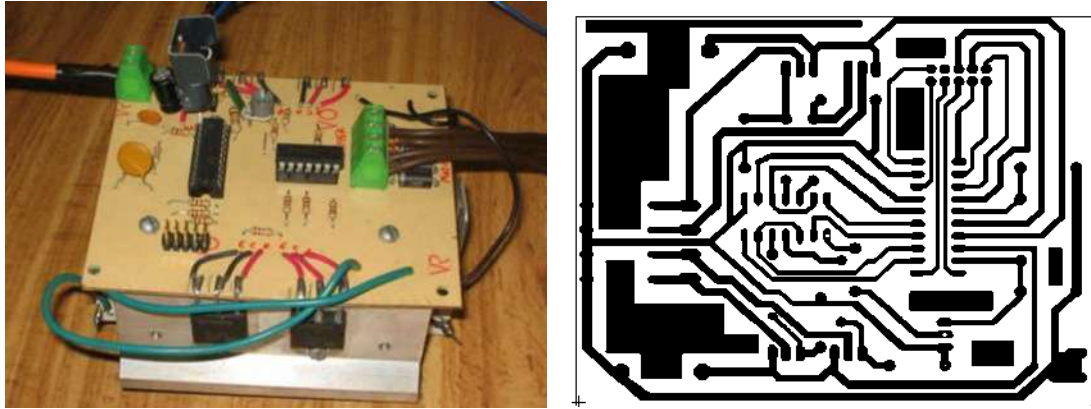


Figura 6.5.2.-Drive de control construido y circuito impreso.

6.6.- Configuración de la interfase gráfica

Hay tres pasos a seguir antes de comenzar a trabajar con el KCam, el primero es definir los parámetros de los ejes, el segundo es definir como se lleva a cabo la comunicación por el puerto y el tercer paso se refiere a los parámetros del tiempo.

Primer paso:

- Seleccionar la opción de ajustar puerto del menú ajustar.
- Definir el tipo de unidades de medición que se usaran en el proyecto, milímetros o pulgadas.
- Seleccionar el formato numérico que aparecerá en el editor de código G.
- Introducir el número de pasos para avanzar una pulgada o un milímetro en cada eje.
- Definir la longitud de cada eje en pulgadas o milímetros.
- Teclar la distancia de contragolpe la cual se define como el error mecánico producido al invertir el sentido de giro del motor esta función es opcional.
- Definir el rango de alimentación para el movimiento de los ejes según sea la tarea que se realiza, desplazamiento rápido, movimiento de corte, movimiento de trote o por paso.
- Definir la velocidad de corte normal en el eje Z.
- Introducir la velocidad de corte de profundidad o desvirtuado en el eje Z.
- Seleccionar si se desea o no tomar en cuenta el error de contragolpe.

- Seleccionar si se desea que se aplique una rampa al rango de alimentación y que el desplazamiento sea lento cuando el eje comience a avanzar, se incremente conforme evoluciona el movimiento y después se decrementa hasta finalizar nuevamente en un movimiento lento.
- Introducir velocidad de arranque y paro en caso de habilitar la opción de la rampa.
- Seleccionar el valor del rango de alimentación de la rampa.
- Introducir el valor máximo del rango de alimentación de cada eje.

Para poder apreciar mejor como es que se hace la serie de configuraciones del primer paso contamos con la figura 6.6.1.

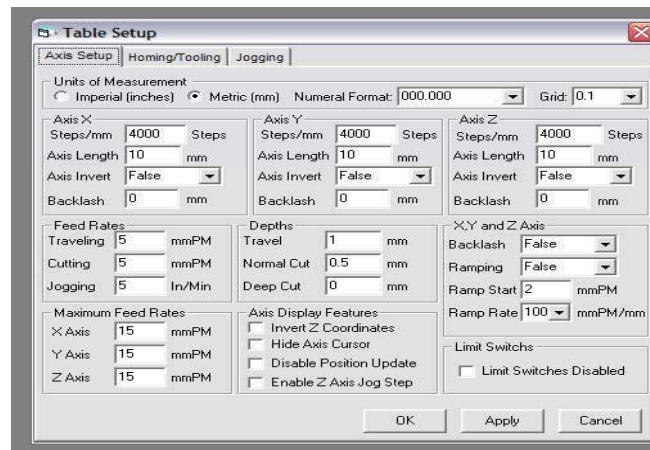


Figura 6.6.1.- Ventana del programa KCam para configuración de la superficie de trabajo.

Segundo paso:

- Seleccionar la opción de ajustar puerto del menú ajustar.
- En el separador de E/S del puerto seleccionar el tipo de puerto que se desea usar, puerto paralelo o puerto serie.
- Marcar la casilla InpOut32 ó DIPort dependiendo del sistema operativo con el que se este trabajando.
- En el separador ajustar, LPT marcar la casilla de ajustar pines.
- Seleccionar la dirección apropiada que generalmente es &H378 para el puerto LPT1.
- Elegir los pines de salida asociados a cada controlador de acuerdo al eje que se desea manipular.

- Invertir el estado lógico de cada uno de los pines de salida en caso de ser necesario.
- Elegir los pines de entrada asociados con los interruptores que indican el límite del eje.
- Invertir el estado lógico de cada uno de los pines de entrada en caso de ser necesario.

Para poder apreciar mejor como es que se hace la serie de configuraciones del segundo paso contamos con la figura 6.6.2.

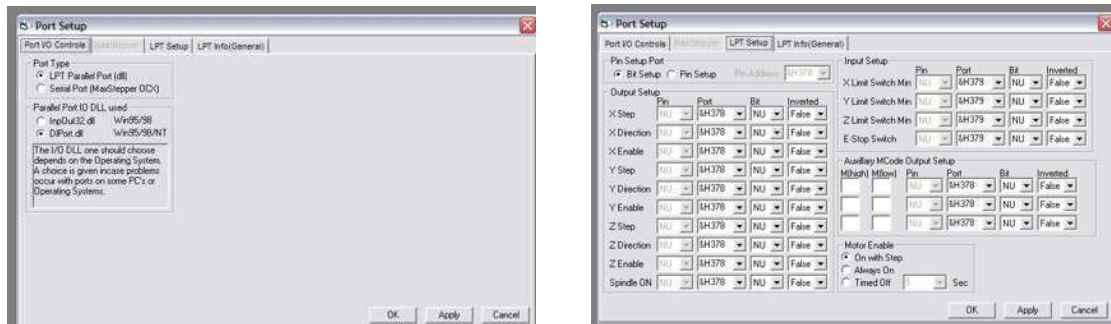


Figura 6.6.2.- Ventanas del programa KCam para configuración del puerto a utilizar.

Tercer paso:

- Seleccionar la opción de ajustar tiempo del menú ajustar.
- Presionar el botón de inicio para calcular el tiempo, dicho tiempo se determina de la calibración de los datos específicos de la PC que esta en uso. Esta calibración ajusta la velocidad de los ejes para que los movimientos sean precisos.
- Esperar a que dicho valor sea calculado.

Para poder apreciar mejor como es que se hace la serie de configuraciones del tercer paso contamos con la figura 6.6.3.

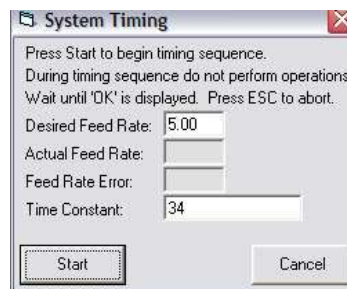


Figura 6.6.3.- Ventana del programa KCam para configuración del tiempo.

KCam cuenta con más opciones de ajuste, las cuales no fueron cubiertas en los tres pasos anteriormente mencionados, si se desea tener un conocimiento mas amplio sobre la configuración de las diversas funciones se recomienda visitar la opción de ayuda del programa KCam, ya que al igual que muchos otros programas comerciales cuenta con esta herramienta. Los tres pasos antes mencionados son solo una guía rápida de configuración básica de nuestro sistema CNC que en gran parte dependerá de la máquina herramienta conectada al puerto de control.

6.7.-El puerto paralelo

El puerto paralelo (figura 6.7.1) está formado por 17 líneas de señales y 8 líneas de tierra. Las líneas de señales están formadas por tres grupos:

- 4 Líneas de control
- 5 Líneas de estado
- 8 Líneas de datos

Los registros del puerto paralelo

Cada registro del puerto paralelo es accedido mediante una dirección. El puerto paralelo tiene tres registros:

- Registro de datos
- Registro de estado
- Registro de control

Un dato en alto es un 1, un dato en bajo es un 0

La entrada y salida son desde el punto de vista del PC

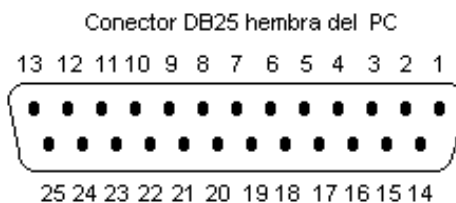


Figura 6.7.1.- Conector puerto paralelo DB25 de la PC.

Un punto importante que se debe tocar en esta sección es que conectar dispositivos al puerto paralelo implica el riesgo de daños permanentes a la tarjeta madre de la PC, por eso

es preciso tener siempre presente que aún los profesionales cometen errores, por lo tanto no está de más recomendar al lector tener extremo cuidado al trabajar en el puerto paralelo.

Como ya vimos en secciones anteriores para el diseño de piezas usaremos el Kcam y este programa se puede comunicar de dos formas distintas con el hardware de control, una de ellas es a través del puerto paralelo, lo que implica la construcción de un cable interfase que comunique la computadora con el circuito de control encargado de codificar la información que se envíe a los motores, la otra forma de comunicación entre el Kcam y el hardware de control es el puerto serie de la PC, el uso del puerto serie para la comunicación no es de nuestro interés aunque en Internet se puede encontrar información acerca de un hardware llamado MaxStepper, el cual fue diseñado por los creadores del Kcam para la comunicación a través de este puerto serie.

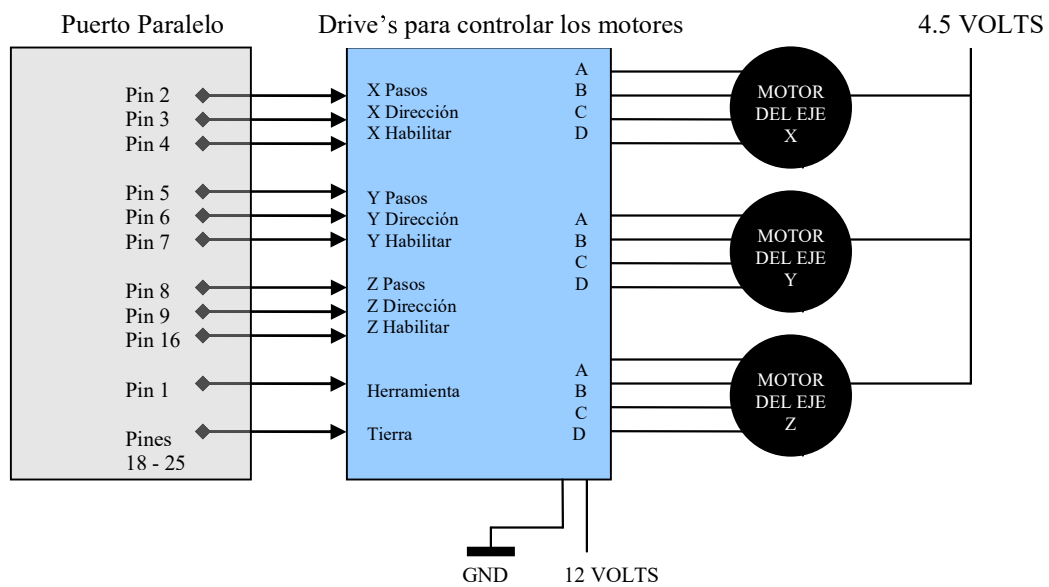


Figura 6.7.2.- Configuración y conexión del puerto paralelo, drive y motores de pasos.

Capítulo 7

Pruebas al prototipo

7.1.- Marco general

En general cualquier prototipo debe someterse a diversas pruebas, dichas pruebas permiten conocer los alcances y limitaciones del modelo construido. Si el resultado final de la pruebas a las que es sometido un modelo son satisfactorias permitirán tener excelentes resultados a la hora de la elaboración de algún objeto, por lo contrario si las pruebas a las que se somete el prototipo son desfavorables es momento entonces de ver la causa por la cual no se obtuvo el resultado esperado y corregir los posibles errores, o incluso rediseñar el modelo y desechar la idea original.

Es por eso que el modelo deberá ser sometido a pruebas bastante duras de operación, lo llevaremos a sus límites de trabajo en donde estemos seguros que nunca o casi nunca operara.

En esta sección se observa como es que fueron sometidos a diversas pruebas los diferentes componentes del prototipo, así como los resultados que se obtuvieron.

7.2.- Pruebas a los drive's

Pueden existir diferentes pruebas para un mismo dispositivo, en este caso la prueba a la que mas interesa someter nuestro circuito controlador del motor de pasos es:

- Corriente vs. Velocidad

Esta prueba permite saber cual es la máxima velocidad a la que los drive's podrán hacer girar los motores sin que estos comiencen a perder pasos de avance ni par dinámico. Como los drive's pueden trabar en modo de pasos completos y medios pasos también se analizaron estas dos situaciones, en las siguientes subsecciones se presentan las diversas pruebas a los drive's.

Para la realización de las pruebas a los drive's fue necesario programar un PIC, el PIC que fue utilizado para este propósito fue el PIC 16F877A y el programa fue hecho en el MPLAB IDE v7.21 esto con el propósito de enviar el pin de habilitación, sentido de giro, habilitación de medios pasos o pasos completos y el tren de pulsos, lo necesario para saber

si las tarjetas de control funcionaban correctamente. El programa terminado se encuentra en el apéndice D.

7.2.1.-Prueba de Corriente vs. Velocidad

Una de las características principales que se analizan en el drive de control es el par y la velocidad.

Se realizaron diversas pruebas ya que como se ha mencionada anteriormente, el drive tiene la ventaja de trabajar en la modalidad de medios pasos y pasos completos y los resultados se muestran en las figuras 7.2.1.1 y 7.2.1.2

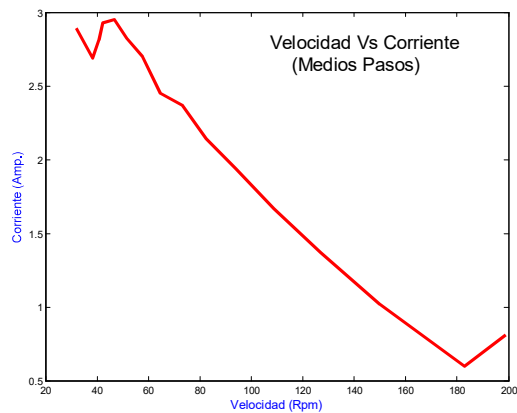


Figura 7.2.1.1.-Gráfica de Corriente vs. Velocidad con el drive trabajando en medios pasos

En la gráfica anterior se puede observar que el consumo de energía disminuye conforme se aumenta la velocidad del motor. Y que la corriente máxima es de 2.9 Amperes.

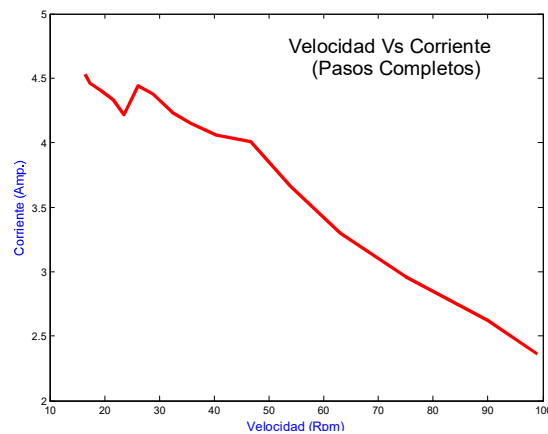


Figura 7.2.1.2.-Gráfica de Corriente vs. Velocidad con el drive trabajando en pasos completos

En la gráfica 7.2.1.2 al igual que en la gráfica 7.2.1.1 donde el motor de pasos esta funcionando en la modalidad de medios pasos observamos que la corriente disminuye a medida que la velocidad de giro aumenta, aunque en la modalidad de pasos completos con un mayor consumo de corriente, ya que su consumo nominal es de 4.5 A. por cada motor.

Se puede apreciar fácilmente que es mas conveniente utilizar el drive operando en la función de medios pasos ya que consumiremos una menor cantidad de Amperes.

7.3.- Pruebas de comunicación de los drive's con el KCam

A continuación se presentan las pruebas finales de funcionamiento, que básicamente consisten en observar y analizar la comunicación y el buen funcionamiento tanto de los drive's como del software.

Los pasos fueron los siguientes:

- Diseñar la pieza en el AutoCAD 2004 en español.
- Guardar el dibujo en el formato DXF.
- Abrir el KCAM e importar el dibujo.
- Poner en marcha los drive's.
- Obtener el resultado.

Para ejemplificar lo anterior se muestran los siguientes ejemplos:

- Engrane de puntas cuadradas.
- Símbolo de reciclaje.

Se ejecuta el AutoCAD 2004 y se diseña la pieza que se quiere manufacturar, para el primer ejemplo fue diseñado el engrane de la figura 7.3.1 y fue guardado como archivo tipo DXF.

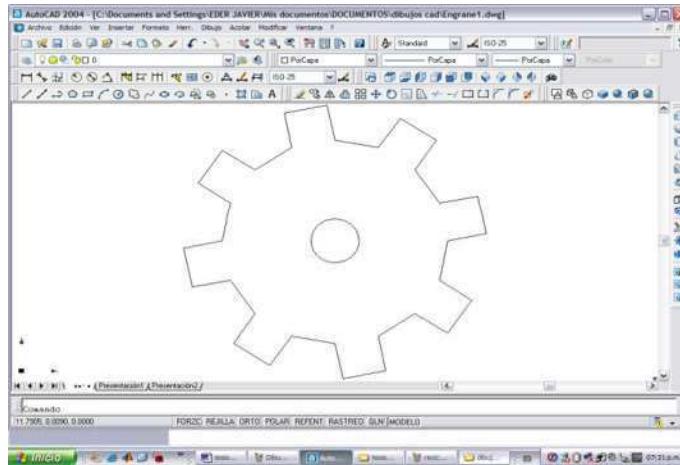


Figura 7.3.1.- Dibujo a manufacturar diseñado en AutoCAD 2004

A continuación se procede a utilizar e importar el dibujo que anteriormente se diseño en el AutoCAD 2004 (figura 7.3.2) desde el KCam, además podemos observar el código G que genera este programa en la subventana situada en la parte inferior derecha de la ventana principal del programa.

Después de haber realizado los procesos anteriormente mencionados solo queda poner en marcha el software, claro que previamente se ha configurado el KCam como se menciono en la subsección 6.5.

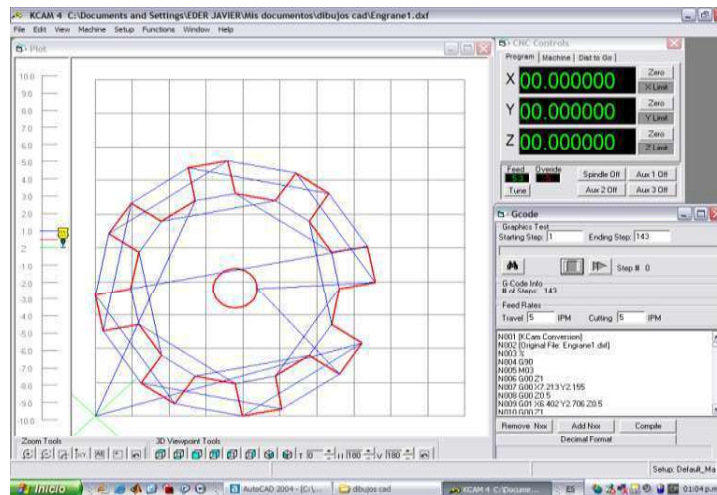


Figura 7.3.2.-Dibujo importado desde AutoCAD por el software KCam listo para ser manufacturado.

En la figura 7.3.3 se aprecia la forma en que se realizaron las pruebas en el laboratorio con los tres drive's conectados a los motores de pasos y en comunicación con el software de la PC, los resultados arrojaron resultados positivos.

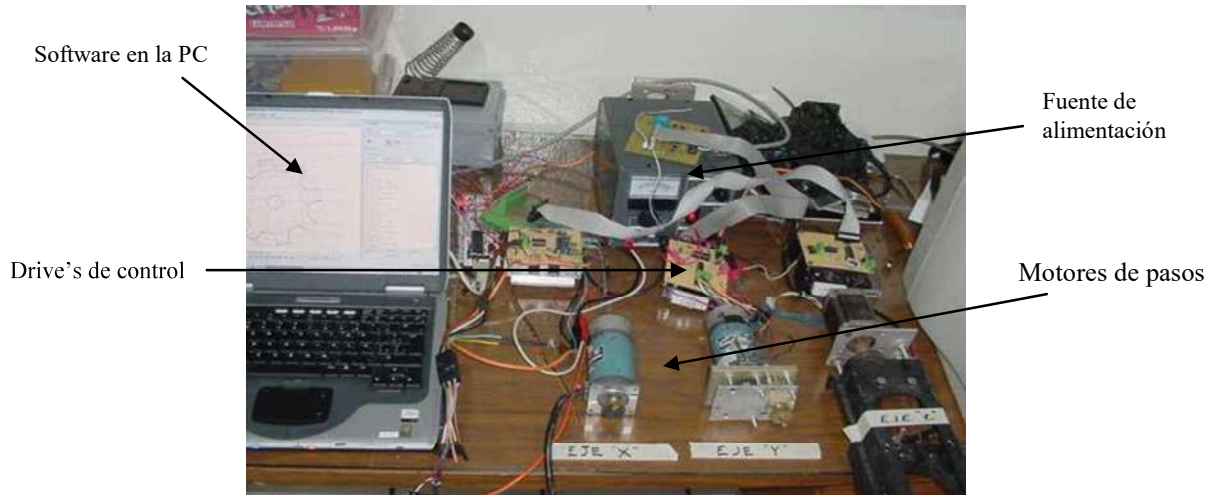


Figura 7.3.3.-Fotografía del sistema en las pruebas realizadas.

Enseguida se muestra nuevamente el procedimiento para corroborar el funcionamiento de los drive's y la comunicación de estos con el KCam

Para este otro ejemplo se diseño el dibujo de la figura 7.3.4 y se lo guardo como archivo tipo DXF.

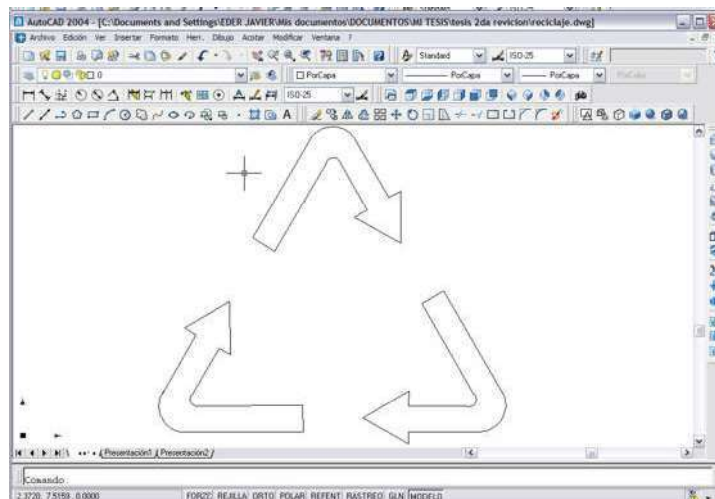


Figura 7.3.4.- Dibujo a manufacturar diseñado en AutoCAD 2004

Se importa el dibujo hecho en AutoCAD al programa KCam (figura 7.3.5) y se pone en marcha el programa.

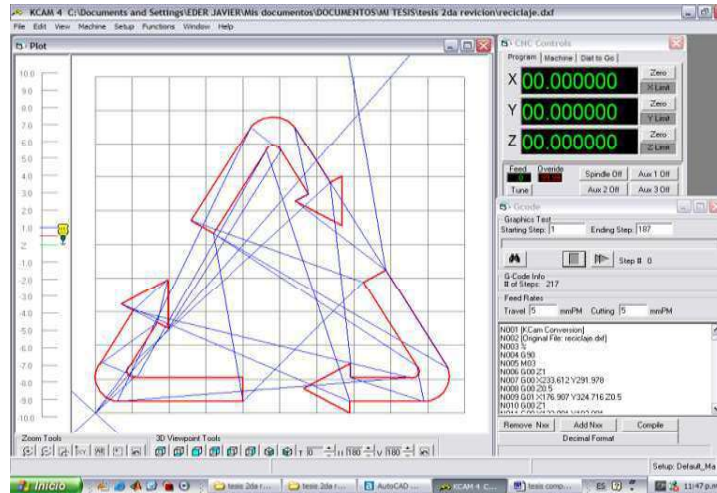


Figura 7.3.5.- Dibujo importado desde AutoCAD por el software KCam listo para ser manufacturado.

Por ultimo se observan los resultados y nuevamente los resultados nos arrojan resultados positivos.

Con estos dos ejemplos bastante simples se puede apreciar que el los drive's de control la configuración del software y la comunicación entre ambos es excelente.

7.4.-Conclusiones

La investigación que se hizo para este proyecto ha demostrado que el diseño y la fabricación asistidos por computadora es un requisito indispensable para la industria actual y aunque en un inicio la inversión e implementación de este tipo de máquinas sea elevada, la producción aumentará bastante, disminuirán los costos de producción y los tiempos de entrega de los productos que se manufacturen.

Aunque en un inicio la tarjeta tuvo algunas dificultades para operar, estas se debieron a que se estaban utilizando unos TIP para poca capacidad, para evitar esto se decidió cambiarlos por unos más grandes TIP 142 y adicionarles a estos un buen disipador de calor para no tener más problemas y así fue las tarjetas ya no tienen ningún problema de funcionamiento.

El programa que se realizo para el PIC16F877A sirvió para comprobar que el drive y los motores de pasos funcionaban correctamente ya que de esa forma se pudo ir probando por separado tanto los drives, los motores y el software, de otra manera en caso de alguna

falla de cualquiera de los elementos se habría tardado mas tiempo en saber en cual de los componentes ocurría.

Se observo que el CAD-CAM como instrumentos de diseño y manufactura son excepcionales ya que tienen una infinidad de ventajas al acoplar el diseño y la construcción como si fueran uno solo, lo que permite no tener errores por factores externos como malas lecturas, mediciones, interpretaciones etc. todo esto evita la perdida de tiempo y dinero para las empresas además de garantizar que todo lo que se manufacture estará hecho con la misma calidad.

Como nos pudimos dar cuenta, no es necesario tener una gran empresa para considerar la idea de automatizar los procesos de producción, al contrario si una empresa pequeña o mediana piensa crecer y poder competir con las demás es momento entonces de abrirse a la opción de automatizar sus procesos de producción desde el diseño hasta la construcción.

El bajorrelieve es una técnica milenaria muy utilizada tanto para decorar artículos de uso cotidiano como para elaborar moldes con los que mas tarde se fabricarán un gran número de cosas y objetos, incorporadas esta técnica las ventajas que nos brindan las computadoras y a la cada vez mas amplia compatibilidad de archivos tenemos una herramienta grandiosa para diseñar y crear objetos que antes ni siquiera se imaginaban.

Este trabajo permitió hacer un análisis de la madera y observar sus propiedades físicas, la forma en que se estabiliza, los tipos de secado y las consecuencias de un mal secado, todo esto es muy importante ya que ésta será la materia principal con que la máquina CNC trabajará, observamos también que para la estabilización y secado de la madera la automatización es muy utilizada y que permite tener un control total en la humedad, temperatura y ventilación del sistema que son las tres principales variables de este proceso, evitando o disminuyendo las deformaciones y agilizando el tiempo en el que se puede disponer del material.

Si bien en la actualidad se pueden encontrar complejos mecanismos de movimiento para máquinas CNC, el diseñado para este trabajo es el mas conveniente para la aplicación que requerimos ya que permitirá elaborar piezas que van desde unos cuantos centímetros hasta objetos de 1.1 x 2.5 metros, los mecanismos de movimiento que se decidan utilizar en alguna aplicación dependerán de ésta y no será necesario tener un mecanismo muy complejo si la actividad a realizar no lo requiere.

Los motores de pasos brindan la ventaja de ser muy fáciles de controlar y al mismo tiempo tienen una gran exactitud en su funcionamiento, alcanzando una resolución por vuelta sin igual es por eso que son los más utilizados en los sistemas donde se requiere una gran precisión como máquinas CNC, lectores de disco duro, escáner, impresoras, etc.

Los circuitos integrados cada vez más pequeños permitieron reducir el espacio y el número de componentes a la hora de fabricar una placa de circuitos eléctricos, además de que se pueden encontrar un gran número de circuitos para casi cualquier aplicación como controlar motores de pasos. Ahora solo depende de la aplicación y del tipo de motor que se quiere controlar para elegir el que más convenga.

Con el manejo de los puertos de la computadora se puede interactuar con hardware externo que haya sido diseñado para estos fines por alguna empresa o incluso como se vio en este caso crear el propio hardware e interactuar con la PC, cabe resaltar que dicha interacción debe hacerse con cuidado ya que si se llega a cometer un error se le pueden causar daños graves a la tarjeta madre de la computadora, es por eso que siempre es bueno que el puerto sea aislado mediante optoacopladores o algún otro dispositivo electrónico que sea conveniente.

El desarrollo de este proyecto permite demostrar que la construcción y diseño de equipo electrónico y mecánico de este tipo con fines de comercialización sería posible solo bajo condiciones especiales ya que implica involucrar a un equipo de diseño y construcción multidisciplinario además de requerir el apoyo económico de alguna empresa.

Las aplicaciones que han de darse a este proyecto dependerá directamente de la herramienta que se usará, ya que una vez terminado permitirá trabajar con diversos tipos de materiales, lo que hará de esta máquina de CNC una herramienta muy versátil y completa, los lugares donde ha de aplicarse esta máquina son aquellos en los que se desea repetir un proceso de manufacturado con cierta precisión numérica. Gracias al mecanismo propuesto será posible elaborar piezas más grandes y complejas.

Una de las partes más importantes de este trabajo fue la implementación de la tarjeta de control para los motores de pasos, el Drive L297 que es muy versátil pues puede operar con diferentes motores de pasos y ser ajustada mediante el voltaje de referencia según la corriente que requiera el motor a utilizar.

La máquina CNC podrá usarse tanto para aplicaciones didácticas como industriales debido a que el mecanismo usado es bastante robusto.

Podrá ser utilizada en talleres de carpintería donde se fabriquen guitarras, puertas, marcos, etc. o si se prefiere podrá trabajar con otro tipo de materiales.

7.5.-Trabajos Futuros

Como trabajo futuro queda el terminar la construcción de los ejes Y y Z de la máquina CNC.

En este proyecto se conectaron a la misma tarjeta de control dos motores en paralelo para el eje X, dos más en otra tarjeta conectados en paralelo para el eje Y, así que se puede pensar en la implementación de un solo circuito de control con la etapa de potencia adaptada para dos motores en forma separada, otra solución posible es la sincronización de dos circuitos de control cada uno con su etapa de potencia para un solo motor.

Este proyecto hace uso del concepto de realimentación en las tarjetas de control, pero esta realimentación se hace en corriente, con el objeto de mantener constante el par en los motores a diferentes velocidades, pero realmente el sistema no cuenta con un lazo de realimentación de posición que indique que los motores giraron un determinado número de pasos, y es que podría ser el caso en que alguno de los motores no estuviera habilitado o le ocurriera algún otro tipo de falla y la MHCNC nunca se daría cuenta de lo que ocurre, la solución a este problema podría ser tema de otro trabajo por demás interesante.

Otra mejora que resultaría muy buena para la MHCNC es en la parte del software que podría consistir en un solo programa que sea el diseño y manufactura, es decir, crear una librería de algún paquete más conocido como Corel DRAW o AutoCAD, para evitar que como es el caso de este proyecto se tenga que regresar de un programa de manufactura a uno de diseño si se desea modificar la pieza a elaborar.

Referencias

[Boon 1991]

G. K. Boon "Automatización Flexible en la Industria". Editorial LIMUSA. 1991

[Electrónica automatismos 2006]

Electrónica automatismos. Conceptos básicos de motores por pasos. 09 de abril de 2006

http://www.sapiensman.com/motores_por_pasos/

[González 2000]

P. B. González López "Técnicas de secado de madera". Ediciones libros técnicos Carballeira SRL. 1998

[Jackson Day 1998]

A. Jackson & David Day "Manual completo de la madera". Ediciones del prado. 1998

[kosow 1998]

Irving L. Kosow "Máquinas eléctricas y transformadores" segunda edición. Ediciones Prentice Hall. 1998

[Martino 1990]

R. L. Martino "Sistemas Integrados de Fabricación". Editorial LIMUSA. 1990

[MecanESO 2006]

MecanEso. Mecanismos de desplazamiento. 20 de mayo de 2006

<http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mecanismos.htm>

[Monografías 2001]

Monografías. Motores pasó a paso, 09 abril de 2006

<http://www.monografias.com/trabajos17/motor-paso-a-paso/motor-paso-a-paso.shtml>

[Monografías 2003]

Monografías. Introducción al control numérico computarizado 19 abril de 2006

<http://www.monografias.com/trabajos14/manufaccomput/manufaccomput.shtml>

[Siciliano 1999]

E. Siciliano “Curso de carpintería y ebanistería” Tomo 1. Limunsa Noriega Editores 1999.

[STMicroelectronics 1 2006]

STMicroelectronics. products. 20 de mayo de 2006

<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/1431/sg3524.pdf>

[STMicroelectronics 2 2006]

STMicroelectronics. products. 25 de mayo de 2006

<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/1525/tea3718.pdf>

[STMicroelectronics 3 2006]

STMicroelectronics. products. 14 de mayo de 2006

<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/1334/l297.pdf>

[STMicroelectronics 4 2006]

STMicroelectronics. products. 15 de mayo de 2006

<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/1773/l298.pdf>

[STMicroelectronics 5 2006]

STMicroelectronics. products. 27 de mayo de 2006

<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/1535/uln2075b.pdf>

[Universidad Tecnológica de Panamá 2006]

Universidad Tecnológica de Panamá. El control numérico computarizado en el desarrollo industrial. 12 de marzo de 2006

<http://www.fim.utp.ac.pa/Revista/vol2/cncd.html>

[x-robotics 2006]

x-robotics. Mecánica. 15 de marzo de 2006

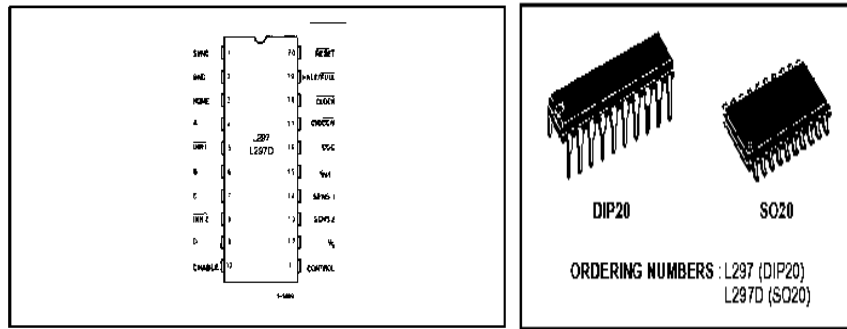
<http://www.x-robotics.com/motorizacion.htm>

Apéndice A

L297

[STMicroelectronics 3 2006]

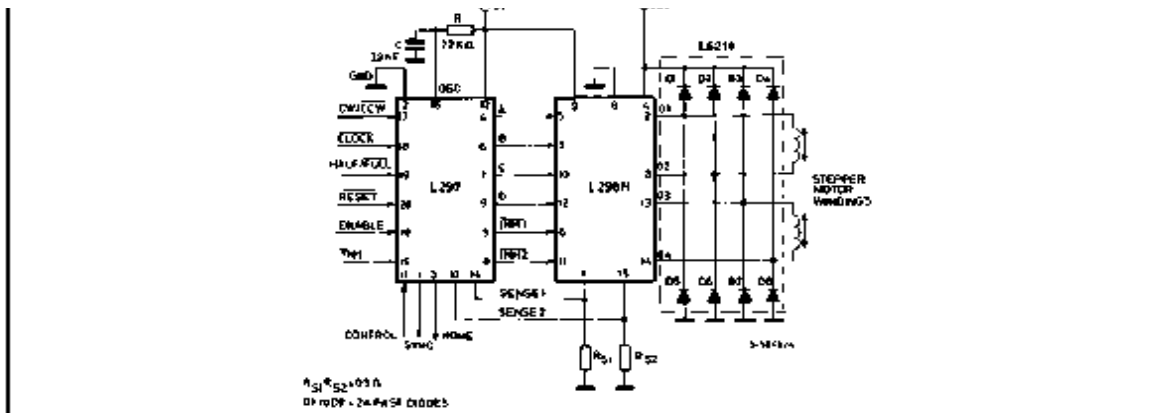
Encapsulado y descripción de pines del C.I. L297



Valores máximos absolutos

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_B	Supply voltage	10	V
V_I	Input signals	7	V
P_{tot}	Total power dissipation ($T_{amb} = 70^\circ\text{C}$)	1	W
T_{stg}, T_J	Storage and junction temperature	-40 to + 150	$^\circ\text{C}$

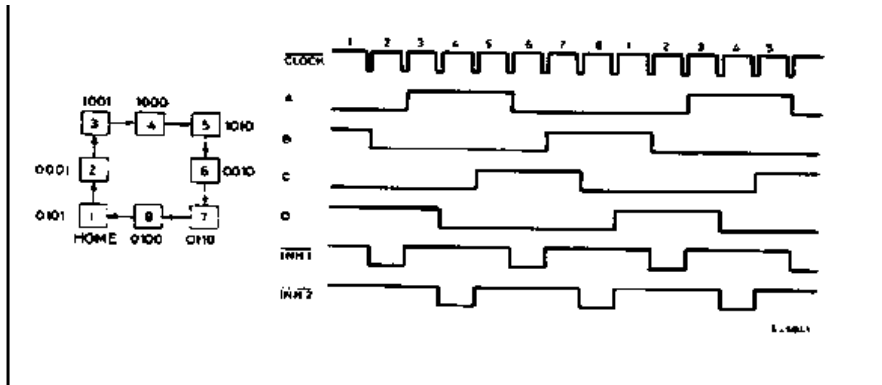
Circuito de control para el motor de pasos bipolar de dos fases



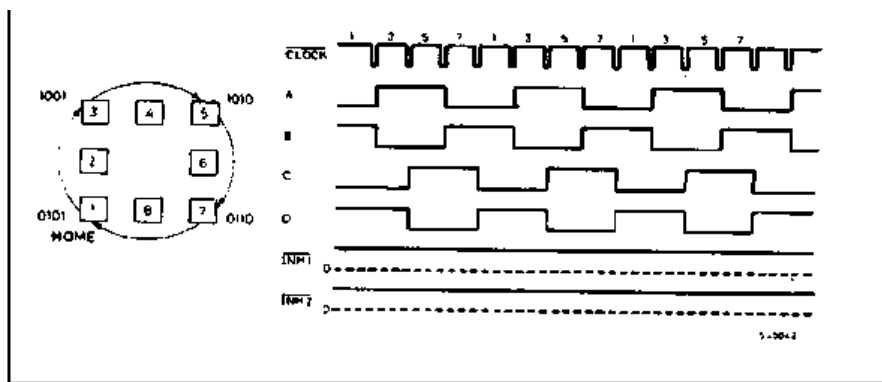
Datos térmicos

Symbol	Parameter	DIP20	SO20	Unit
$R_{th-j-amb}$	Thermal resistance junction-ambient	max 80	100	$^\circ\text{C/W}$

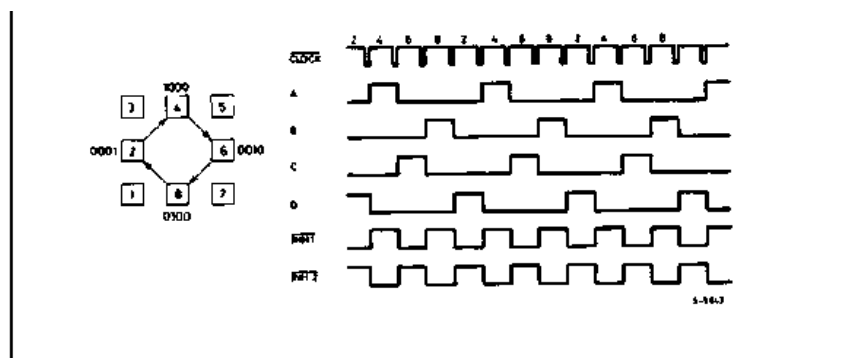
Secuencia de pulsos para el modo de medios pasos



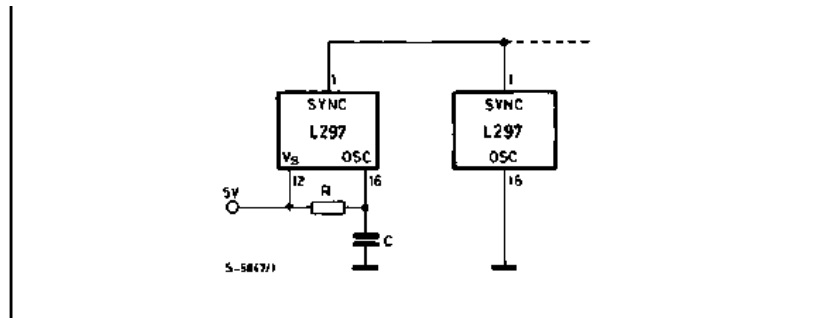
Secuencia de pulsos para el modo de pasos completos



Secuencia de pulsos para el modo de pasos dobles



Sincronización de dos C.I. L297 trabajando en paralelo



Características Eléctricas

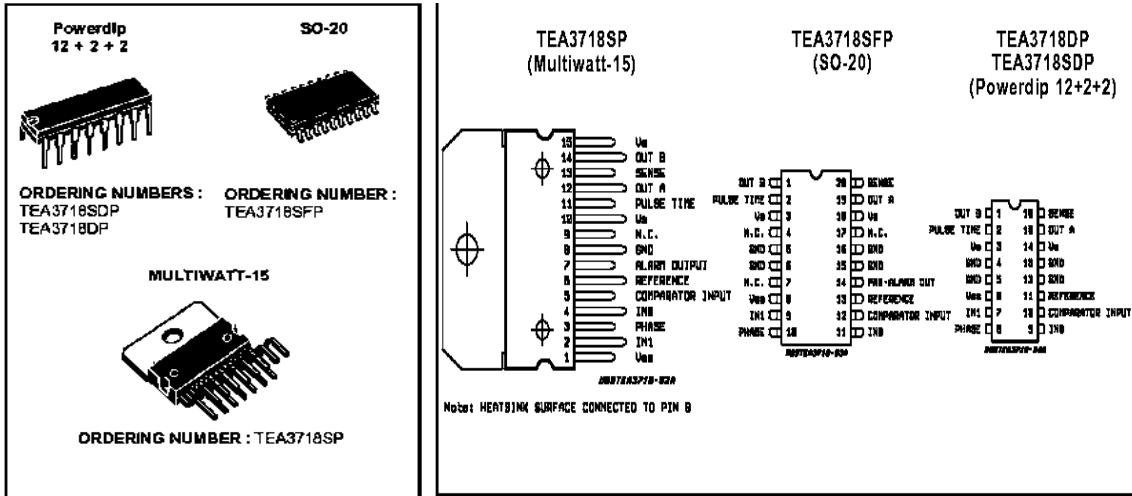
Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ	Max.	Unit
V_s	Supply voltage (pin 12)		4.75		7	V
I_s	Quiescent supply current (pin 12)	Outputs floating		50	80	mA
V_i	Input voltage (pin 11, 17, 18, 19, 20)	Low			0.6	V
		High	2		V_E	V
I_i	Input current (pin 11, 17, 18, 19, 20)	$V_i = L$		100		μA
		$V_i = H$			10	μA
V_{en}	Enable input voltage (pin 10)	Low			1.3	V
		High	2		V_E	V
I_{en}	Enable input current (pin 10)	$V_{en} = L$			100	μA
		$V_{en} = H$			10	μA
V_o	Phase output voltage (pins 4, 6, 7, 9)	$I_o = 10mA$ V_{OL}			0.4	V
		$I_o = 5mA$ V_{OH}	3.9			V
V_{inh}	Inhibit output voltage (pins 5, 8)	$I_o = 10mA$ V_{inhL}			0.4	V
		$I_o = 5mA$ V_{inhH}	3.9			V
V_{SYNC}	Sync Output Voltage	$I_o = 5mA$ $V_{SYNC H}$	3.3			V
		$I_o = 5mA$ $V_{SYNC V}$			0.8	
I_{leak}	Leakage current (pin 3)	$V_{CE} = 7V$			1	μA
V_{set}	Saturation voltage (pin 3)	$I = 5mA$			0.4	V
V_{off}	Comparators offset voltage (pins 13, 14, 15)	$V_{ref} = 1V$			5	mV
I_o	Comparator bias current (pins 13, 14, 15)		-100		10	μA
V_{ref}	Input reference voltage (pin 15)		0		3	V
t_{CLK}	Clock time		0.5			μs
t_s	Set up time		1			μs
t_H	Hold time		4			μs
t_R	Reset time		1			μs
t_{RCLK}	Reset to clock delay		1			μs

Apéndice B

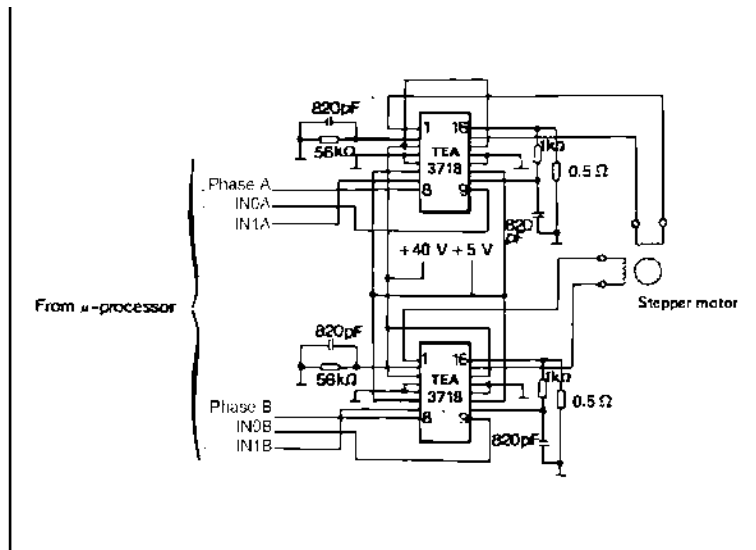
TEA3718

[STMicroelectronics 2 2006]

Encapsulado y descripción de pines del C.I. TEA3718



Aplicación típica del C.I. TEA3718

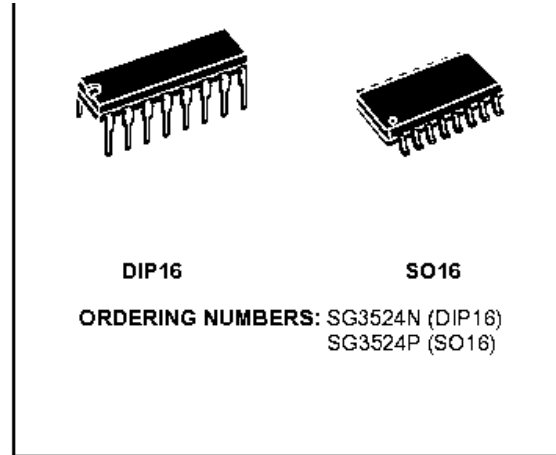


Apendice C

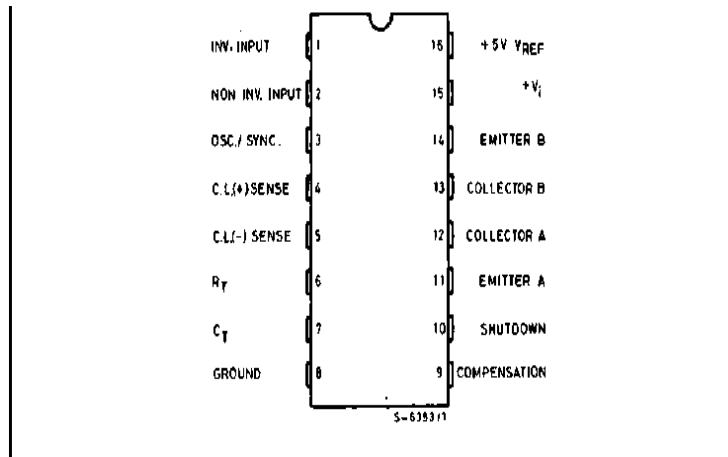
SG3524

[STMicroelectronics 1 2006]

Encapsulado del C.I. SG3524



Descripción de los pines del C.I. SG3524



Apéndice D

```
/* #####
; Programado por Eder Javier Aguilar Mejía.
; Facultad De Ingeniería Eléctrica.
; Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
; Morelia Michoacán, México.
; Última modificación: 14 de junio de 2006
; Compilador: MPLAB IDE v7.21
;
; Archivo:      MotorDePasos.c
;
; Este Programa:
;
; -Enciende cada uno los tres motores conectados
; al puerto D
; -Se le puede indicar la dirección de giro del motor
; sentido horario u antihorario
; -Se escoge el número de motor (es) que trabajarán
; -Muestra en la PC las opciones.
; -Muestra también la instrucción que se esta ejecutando.
; #####
*/

# include <pic.h>
# include "puerserie.c"

void retardo(int k);
void main(void)
{
    const unsigned char menu1[]      ="\n\r=====MENU1===== ";
    const unsigned char escoje[]     ="\n\r Escoje la velocidad del motor";
    const unsigned char despacio[]   ="\n\r D)Despacio";
    const unsigned char medio[]      ="\n\r M)Medio";
    const unsigned char rapido[]     ="\n\r R)Rapido";
    const unsigned char Mrapido[]     ="\n\r E)Muy Rapido \n\r";
    const unsigned char menu[]       ="\n\r=====MENU2 =====";
    const unsigned char barra[]      ="\n\r Presiona una tecla según lo deseado";
    const unsigned char uno[]        ="\n\r 1)motor uno";
    const unsigned char dos[]        ="\n\r 2)motor dos";
    const unsigned char tres[]       ="\n\r 3)motor tres";
    const unsigned char reversa1[]   ="\n\r 4)motor uno en reversa";
```

```

const unsigned char reversa2[]    ="\n\r 5)motor dos en reversa";
const unsigned char reversa3[]    ="\n\r 6)motor tres en reversa \n\r";

unsigned int bandera;
unsigned int tiempo;
unsigned char dato1;
TRISD=0;
TRISA=0;
TRISC6=0;
TRISC7=1;
IniPuertoSerie();
inicia_transf();
inicia_recep();

// menu desplegable en la pantalla de la PC para
// preguntar al usuario la frecuencia del tren de pulsos

cadena(menu1);
cadena(escoge);
cadena(despacio);
cadena(medio);
cadena(rapido);
cadena(Mrapido);

// ciclo para establecer la frecuencia del tren de pulsos
// según lo ingresado por el usuario
while(1)
{
    dato1=recibe();
    if(dato1==68)
    {
        tiempo=400;
        cadena(despacio);
        break;
    }
    if(dato1==77)
    {
        tiempo=200;
        cadena(medio);
        break;
    }
    if(dato1==82)
    {

```

```

                tiempo=50;
                cadena(rapido);
                break;
            }
        if(dato1==69)
        {
            tiempo=48;
            cadena(Mrapido);
            break;
        }
    }
// menu desplegable en la pantalla de la PC
// para conocer las intenciones del usuario
    cadena(menu);
    cadena(barra);
    cadena(uno);
    cadena(dos);
    cadena(tres);
    cadena(reversa1);
    cadena(reversa2);
    cadena(reversa3);
while(1)
{
    dato1=recibe();
//while(1)
//{
    if(dato1==49)
    {
        cadena(uno);
        RD3=0; RD4=0; RD5=0; RD6=0; RD7=0; RA0=0;
        bandera=1;
        while(1)
        {
            RD0=0;
            RD1=1;
            RD2=1;
            retardo(tiempo);
            RD0=1;
            if(RCIF)
            {
                dato1=recibe();
                break;
            }
        }
    }
}

```

```

        }
    }
}
if(dato1==50)
{
    cadena(dos);
    bandera=2;
    while(bandera==2)
    {
        RD0=0; RD1=0; RD2=0; RD6=0; RD7=0; RA0=0;

        RD3=1;
        RD4=1;
        RD5=1;
        retardo(tiempo);
        RD3=0;

        if(RCIF)
        {
            dato1=recibe();
            break;
        }
    }
}

if(dato1==51)
{
    cadena(tres);
    bandera=3;
    while(bandera==3)
    {
        RD3=0; RD4=0; RD5=0; RD0=0; RD1=0; RD2=0;

        RD6=1;
        RD7=1;
        RA0=1;
        retardo(tiempo);
        RD6=0;

        if(RCIF)
        {
            dato1=recibe();

```

```

                break;
            }
        }
    }

    if(dato1==52)
    {
        cadena(reversa1);
        bandera=4;
        while(bandera==4)
        {
            RD3=0; RD4=0; RD5=0; RD6=0; RD7=0; RA0=0;

            RD0=1;
            RD1=0;
            RD2=1;
            retardo(tiempo);
            RD0=0;

            if(RCIF)
            {
                dato1=recibe();
                break;
            }
        }
    }

    if(dato1==53)
    {
        cadena(reversa2);
        bandera=5;
        while(bandera==5)
        {
            RD0=0; RD1=0; RD2=0; RD6=0; RD7=0; RA0=0;

            RD3=1;
            RD4=0;
            RD5=1;
            retardo(tiempo);
            RD3=0;

            if(RCIF)

```

```

        {
            dato1=recibe();
            break;
        }
    }
}
if(dato1==54)
{
    cadena(reversa3);
    bandera=6;
    while(bandera==6)
    {
        RD3=0; RD4=0; RD5=0; RD0=0; RD1=0; RD2=0;
        RD6=1;
        RD7=0;
        RA0=1;
        retardo(tiempo);
        RD6=0;

        if(RCIF)
        {
            dato1=recibe();
            break;
        }
    }
}
}
}
//:..... Método Retardo :.....
void retardo(int k)
{
    int i,j;
    for(i=0;i<k;i++)
    {
        for(j=0;j<k;j++);
    }
}
}

```