

ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO

SEDE LATACUNGA



CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA

Tesis Previa la obtención del Título de:

“INGENIERO ELECTROMECHANICO”

TEMA:

*Diseño Y Construcción De Un Prototipo De
Una Máquina Taladradora De Control
Numérico Computarizado.*

POR:

**FAUSTO V. ACUÑA C.
WILSON E. SANCHEZ O.**

Latacunga – Ecuador

2005

+

DEDICATORIA

**A mi esposa Norma Acuña,
A mis hijos Carol, Evelyn y
Jhair**

FAUSTO

**A mi esposa Elizabeth Salazar
A mi Juan Esteban**

WILSON

RESUMEN

Este proyecto trata del diseño y construcción de un prototipo de taladradora de control numérico computarizado, de bajo costo; en la que un microcontrolador controla la posición y velocidad de los motores paso a paso que accionan los ejes de la máquina, así como también el motor del cabezal taladrador, a partir de un diseño gráfico, mecanizando de esta manera piezas taladradas en serie, así como también fresado de contornos. Mejorando la calidad de mecanizado, disminuyendo los costos de producción y acortando los tiempos de diseño y producción.

Para la realización del mecanizado en este prototipo de máquina CNC, se han de realizar las siguientes tareas:

La herramienta informática que permite realizar el *diseño gráfico (cad)*, seleccionar opciones de mecanizado, simular una entidad o diseño, elegir una herramienta, tipo de acabado y como característica fundamental la generación de un archivo de *codificación (cam)*, así como la posición de la herramienta en las diferentes tareas a mecanizar es el Mastercam.

Debido a que la información obtenida de la codificación es muy abundante, se realizó un pequeño programa en un lenguaje de programación de alto nivel (*Visual Fox*), con la única finalidad de agrupar únicamente la información referente a la ubicación de la herramienta y la de generar una coordenada constante en el caso de que se produzca un cambio de operación (drill – contour o viceversa). Esta nos servirá de matriz fundamental para el algoritmo desarrollado en una herramienta de instrumentación virtual.

De la información depurada en el archivo ejecutable (*Visual Foxj*), éste requiere ser corregida debido a los desplazamientos reales en cada una de las tres coordenadas, seleccionar el sentido de giro adecuado de los motores paso a paso, empaquetar la información en 6 Kbytes por cada coordenada (x, y, z) y finalmente enviar la información por el puerto serial utilizando el protocolo de comunicación RS232 hasta el microcontrolador.

Previa la programación del microcontrolador, éste será el encargado de enviar los pulsos adecuados a cada uno de los motores paso a paso, variar la frecuencia para el control de velocidad de éstos, controlar la velocidad del motor del cabezal taladrador, suministrar la información necesaria para la visualización en el LCD, producir las interrupciones necesarias en el caso de ser pulsados los inicios o finales de carrera de cada una de las mesas de coordenadas y seleccionar individualmente el movimiento de los motores con la finalidad de encerar el mecanizado.

El set de herramientas que posee este prototipo es de 5 brocas de vástago cilíndrico, 3 fresas de vástago; que serán sujetas en el mandril porta brocas del cabezal taladrador.

La manera que se sujetará el material a mecanizar es sobre la mesa de coordenada "x" y para su adherencia se usará cinta doble faz.

INDICE

CAPITULO III

Pág

SISTEMAS DE CONTROL

3.1 MICROCONTROLADORES

3.1.1 APLICACIONES DE LOS MICROCONTROLADORES

3.1.2 ARQUITECTURA BÁSICA

3.1.2.1 EL PROCESADOR o CPU

3.1.2.2 MEMORIA

3.1.2.3 PUERTAS DE ENTRADA Y SALIDA

3.1.2.4 RELOJ PRINCIPAL

3.1.2.5 RECURSOS ESPECIALES

3.1.3 HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES

3.1.4 SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR PARA LA APLICACIÓN

3.1.4.1 COSTOS

3.1.4.2 APLICACIÓN

3.1.4.3 DATOS PARA LA SELECCIÓN

3.1.5 PIC 16F87x

3.1.5.1 RECURSOS FUNDAMENTALES

3.1.5.2 DISPOSITIVOS PERIFÉRICOS

3.1.5.3 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA DE PROGRAMA

3.1.5.4 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA DATOS RAM

3.1.5.5 DIAGRAMA DE CONECCIONADO

3.1.6 COMUNICACIÓN DE LOS PIC

3.1.6.1 SPI (SERIAL PERIPHERAL INTERFACE)

3.1.6.2 I2C (INTER – INTEGRATED CIRCUIT)

3.1.6.3 USART

3.2 MOTORES PASO A PASO (PaP)

3.2.1. DEFINICIÓN

3.2.2 TIPOS DE MOTORES PASO A PASO, FUNCIONAMIENTO Y CARACTERISTICAS

3.2.2.1 TIPOS DE MOTORES, FUNCIONAMIENTO

3.2.2.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.

3.2.2.3 CARACTERÍSTICAS DESFAVORABLES DE LOS MOTORES PASO A PASO.

3.2.3 TIPOS DE MOTORES DE IMAN PERMANENTE

3.2.3.1 BIPOLAR

3.2.3.2 UNIPOLAR

3.2.4 CONTROL DE POSICION Y VELOCIDAD DE MOTORES

3.2.4.1 CONTROL DE POSICION DE MOTORES PaP

3.2.4.2 CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES PaP

3.3 SOFTWARE DE INTERFASE

3.3.1 MASTERCAM

3.3.1.1 ESTRUCTURA GENERAL DE MASTERCAM

3.3.1.2 MENÚ PRINCIPAL.

3.3.1.3 VENTANA DE DISEÑO.

3.3.1.4 SECCIÓN DE SIMULACIÓN DE MANUFACTURA.

3.3.1.5 SECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MANUFACTURA.

3.3.1.6. CREACIÓN DE ENTIDADES.

3.3.1.7 TOOLPATHS – RUTA DE LA HERRAMIENTA.

3.3.2 LAB VIEW

3.3.2.1 INTRODUCCION

3.3.2.2 USO DE LA MEMORIA

3.3.2.3 INSTRUMENTOS VIRTUALES

3.3.2.4 PALETAS DE TRABAJO

3.3.2.5 MENÚS DE TRABAJO

3.3.3 MPLAB

3.3.3.1 INTRODUCCION

3.3.3.2 HERRAMIENTAS DEL MPLAB

3.3.3.3 DIRECTIVAS DE USO FRECUENTE

3.4 SISTEMA DE COORDENADAS Y MOVIMIENTOS PARA LA TALADRADORA CNC

3.4.1 DATOS CAD /CAM

3.4.2 ENLACE CON LAB VIEW

CAPITULO IV

MONTAJE DEL SISTEMA MECATRONICO

4.1 LISTA DE FUNCIONES DEL DISEÑO

4.2 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

4.3 DISEÑO DEL SISTEMA MECANICO

4.3.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA DE LA MÁQUINA

4.3.2 MESAS DE COORDENADAS

4.3.3 FLECHAS O EJES GUIAS

4.3.4 TORNILLO DE TRANSMISION DE MOVIMIENTO

4.3.5 TUERCAS Y BOCINES

4.3.6 CHUMACERAS

4.3.7 BASES SOPORTES PARA LOS MOTORES PaP

4.3.8 BASE SOPORTE PARA EL MOTOR CABEZAL TALADRADOR

4.4 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRONICO

4.4.1 MAQUINA TALADRADORA

4.4.1.1 MOTORES PASO A PASO

4.4.1.2 MOTOR DC DEL CABEZAL TALADRADOR

4.4.1.3 INICIOS Y FINALES DE CARRERA

4.4.1.4 LCD

4.4.2 TARJETA CONTROLADORA

4.4.2.1 CIRCUITO DE CONTROL

4.4.2.2. CIRCUITO DE POTENCIA

4.5 DISEÑO DEL CIRCUITO DE INTERFASE

CAPITULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 SISTEMA MECANICO

5.1.1 MESAS DE COORDENADAS.

5.1.2 CALIBRACION DE LAS HERRAMIENTAS

5.2 SISTEMA ELECTRONICO

5.2.1 SISTEMA DE CONTROL

5.2.1.1 INTERFASE DE COMUNICACIÓN

5.2.1.2 MICROCONTROLADOR

5.2.1.3 PERIFERICOS DE ENTRADA Y SALIDA DEL PIC16F877

5.2.1.4 PROGRAMACION EN MPLAB

5.2.2 SISTEMA DE POTENCIA

5.2.2.1 IDENTIFICACION DE BOBINAS EN MOTORES PASO A PASO

5.2.2.2 VERIFICACION DE SECUENCIAS DE FUNCIONAMIENTO DE MOTORES PaP

5.2.2.3 CONTROL DE VELOCIDAD DE LOS MOTORES PaP

5.2.2.4 CONTROL DE VELOCIDAD DEL MOTOR CABEZAL TALADRADOR

5.2.3 CERO ABSOLUTO

5.3 MECANIZADO

5.3.1 DISEÑO DEL PROYECTO EN MASTERCAM

5.3.2 APLICACIÓN DE EL ALGORITMO REALIZADO EN LAB VIEW

5.3.3 CALIBRACION DEL CERO ABSOLUTO EL LA MÁQUINA

5.3.4 MECANIZADO DE LOS AGUJEROS

5.3.5 CAMBIO DE HERRAMIENTA

5.3.6 MECANIZADO DEL CONTORNO (LETRAS E M)

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANEXOS

ANEXO 1 “SOFTWARE EMPLEADO”

ANEXO 1.1 MASTERCAM

ANEXO 1.2 LABVIEW

ANEXO 1.3 MPLAB

ANEXO 2 “DIAGRAMAS DE FLUJO DEL MICROCONTROLADOR”

ANEXO 2.1 PROGRAMA PRINCIPAL DEL PIC 16F877A

ANEXO 2.2 SUBROUTINA LEE EEPROM

ANEXO 2.3 SUBROUTINA INC

ANEXO 2.4 INTERRUPCIONES DE TECLADO RB7

ANEXO 2.5 INTERRUPCIONES DE TECLADO RB6

ANEXO 2.6 INTERRUPCIONES DE TECLADO RB5

ANEXO 2.7 INTERRUPCIONES DE TECLADO RB4

ANEXO 3 “PLANOS MECANICOS Y ELECTRONICOS”

ANEXO 3.1 PLANOS MECÁNICOS

ANEXO 3.2 DIGRAMAS ELECTRONICOS

ANEXO 4 “MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PROTOTIPO DE TALADRADORA CNC”

BIBLIOGRAFIA

LISTADO DE FIGURAS

CAPITULO 1

CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO

Figura 1.1.- Taladradora CNC ("control numérico computarizado").	1
Figura 1.2.- Programa de maquinado	2
Figura 1.3.- Supervisión y control	5
Figura 1.4.- Ciclo de producto típico	7
Figura 1.5.- El Proceso CAD	8
Figura 1.6.- El Proceso CAM	8
Figura 1.7.- Componentes del CAD/CAM	11
Figura 1.8.- Análisis por elementos finitos	12
Figura 1.9.- Ingeniería Civil	12
Figura 1.10.- Aplicación del SIG en Internet	13
Figura 1.11.- Diseño Eléctrico	13
Figura 1.12.- Movimientos Principales en el Taladrado	14

CAPITULO 2

MAQUINAS TALADRADORAS CNC

Figura 2.1 Mecanizado Punto a Punto	17
Figura 2.2 Máquinas: a) NC, b) CNC, c) DNC	18
Figura 2.3 Taladradora CNC	19
Figura 2.4 Herramientas de corte	19
Figura 2.5 Herramientas de sujeción de piezas	20
Figura 2.6 Herramientas de sujeción de cortadores	20
Figura 2.7 Operaciones de taladrado, escariado, avellanado, abocardado, Mandrillado	21
Figura 2.8 Normas de Seguridad	22

CAPITULO 3

SISTEMAS DE CONTROL

Figura 3.1 El microcontrolador	24
Figura 3.2 La arquitectura Harvard dispone de dos memorias	26
Figura 3.3 Diagrama de bloques del microcontrolador	26
Figura 3.4 PIC16F873/6	34
Figura 3.5 PIC16F874/7	34
Figura 3.6 Organización de la memoria de programa tipo FLASH en los PIC16F87x	36
Figura 3.7 Comunicación SPI entre un PIC maestro y otros dos esclavos.	41
Figura 3.8 El maestro se conecta a todos los esclavos en el bus I2C con sólo dos líneas.	42
Figura 3.9 Conexión Tipo USART	43
Figura 3.10 Motor Paso a Paso	44
Figura 3.11 Rotor y Estator de un Motor PaP de Imán Permanente	45
Figura 3.12 Motor Paso a Paso de Reluctancia variable	46
Figura 3.13 Motor Paso a Paso Híbrido	47
Figura 3.14 Bipolar	50
Figura 3.15 Unipolar	50
Figura 3.16 Puente en H	50
Figura 3.17 Puente H “L293 Integrado”	51
Figura 3.18 Conexionado de Motor PaP Unipolar	51
Figura 3.19 Secuencia Normal de Funcionamiento para Unipolares	53
Figura 3.20 Secuencia Tipo Wave Drive de Funcionamiento para Unipolares	53
Figura 3.21 Secuencia Tipo Medio Paso de Funcionamiento para Unipolares	54
Figura 3.22 Características Torque vs. Velocidad de um Motor Paso a Paso	56
Figura 3.23 Diagrama de bloques del control CAD/CAM de la Taladradora CNC	58
Figura 3.24 Diagrama de flujo de Sub VI de Lab View	60

CAPITULO 4

DISEÑO DE LA MÁQUINA

Figura 4.1 Mesa Convencional, movimiento de material en X, Y.	64
Figura 4.2 Desplazamiento de la mesa en dirección X o Y.	65
Figura 4.3 Mesa Convencional, movimiento de material en Y, y la herramienta en X y Z.	66
Figura 4.4 Diagrama de Fuerzas y momentos en la estructura vertical y soporte para las guías de la mesa.	67
Figura 4.5 Mesa de coordenada “x”, tubo estructural cuadrado	69
Figura 4.6 Diagrama de Fuerzas y momentos para los ejes guías de la estructura vertical.	70
Figura 4.7 Estructura vertical, mesa de coordenada “Z”	71
Figura 4.8 Flechas o ejes guías	72
Figura 4.9 Mesa de coordenada “y”	72
Figura 4.10 Husillo patrón	75
Figura 4.11 Tuerca con Rosca Trapecial	75
Figura 4.12 Bocines de Bronce	76
Figura 4.13 Chumacera	77
Figura 4.14 Base soporte para los motores PaP	78
Figura 4.15 Base soporte para el motor cabezal taladrador	79
Figura 4.16 Conexionado del PIC con motores paso a paso	81
Figura 4.17 (a) Conexionado del PIC al motor DC (b) Motor dc para el cabezal taladrador.	85
Figura 4.18 (a) Conexionado desde los inicios y finales de carrera hacia el PIC (b) Micro interruptor	86
Figura 4.19 Conexionado desde el PIC al LCD	87
Figura 4.20 Tarjeta Controladora (a) Etapa de Potencia, (b) Etapa de control.	88
Figura 4.21 Diagrama de Bloques de las E/O del Microcontrolador	89
Figura 4.22 Circuito Controlador PIC 16F877	90
Figura 4.18 (a) Circuito de Potencia de un Motor Paso a Paso de cuatro fases, (b) Motor paso a paso Unipolar, 8 terminales	97
Figura 4.19 Circuito Básico del Max 232	98

CAPITULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

Figura 5.1. Circuito de Prueba para Control de Motor de Pasos “Lab View”	101
Figura 5.2. Circuito de Prueba para Control de Motor de Pasos “Puente H”	101
Figura 5.3 Identificación de bobinas para motores de 5 y 6 cables	105
Figura 5.4 Diseño Gráfico <i>Job Setup</i>	108
Figura 5.5 Dimensionamiento del diseño gráfico, selección de operaciones <i>Toolpath</i>	109
Figura 5.6 Simulación del Mecanizado <i>Verify</i>	109
Figura 5.7 Archivo NCI, obtenido del Mastercam, <i>Post</i>	110
Figura 5.8 Archivo *.txt depurado	111
Figura 5.9 Matriz obtenida del archivo *.txt depurado	112
Figura 5.10 Coordenadas Corregidas	112
Figura 5.11 Coordenadas X, Y, Z, separadas en arreglos independientes	113
Figura 5.12 Arreglo de datos	113
Figura 5.13 Discriminación de coordenadas y obtención del valor absoluto	114
Figura 5.14 Datos en paquetes de dos Bytes	114
Figura 5.15 Selección de sentido de giro de los motores PaP	115
Figura 5.16 Envío de información al puerto serial	115
Figura 5.17 Calibración del Cero Absoluto en la Máquina Taladradora	116
Figura 5.18 Operación de taladrado	117
Figura 5.19 Cambio de Herramienta (broca – fresa de vástago)	117
Figura 5.20 Operación de Fresado Vertical	118

LISTADO DE TABLAS

CAPITULO 1

CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO

Tabla 1.1.- Herramientas CAD para el proceso de diseño	9
Tabla 1.2.- Herramientas CAM para el proceso de fabricación	9
Tabla 1.3 Extracto de la Norma DIN 66025	15

CAPITULO 4

DISEÑO DE LA MÁQUINA

Tabla 4.1 Características de los motores PaP	81
Tabla 4.2 Características del Motor del Cabezal	84
Tabla 4.3 Entradas y salidas del pic16f877	93

CAPITULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

Tabla 5.1 Velocidad y Velocidad de los Motores PaP	
--	--

CAPITULO 1

CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO

1.1. Introducción

El CNC tuvo su origen a principios de los años cincuenta. En esta época las computadoras estaban en sus inicios y eran tan grandes que el espacio ocupado por la computadora era mayor que el de la máquina.

Hoy día las computadoras son cada vez más pequeñas y económicas, con lo que el uso del CNC se ha extendido a todo tipo de maquinaria: taladradoras, tornos, fresadoras, rectificadoras, electroerosionadoras, máquinas de coser, etc.



Figura1.1 Taladradora CNC ("control numérico computarizado").

En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Gracias a esto, puede hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales.

Las máquinas CNC son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los tres ejes para ejecutar trayectorias tridimensionales como las que se requieren para el maquinado de complejos moldes y troqueles como se muestra en la imagen.

En una máquina CNC una computadora controla el movimiento de la mesa, el carro y el husillo. Una vez programada la máquina, ésta ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador esté manejándola. Esto permite aprovechar mejor el tiempo del personal para que sea más productivo.

El término "control numérico" se debe a que las órdenes dadas a la máquina son indicadas mediante códigos numéricos. Por ejemplo, para indicarle a la máquina que mueva la herramienta describiendo un cuadrado de 10 mm. por lado se le darían los siguientes códigos:

```
G90 G71  
G00 X0.0 Y0.0  
G01 X10.0  
G01 Y10.0  
G01 X0.0  
G01 Y0.0
```

Un conjunto de órdenes que siguen una secuencia lógica constituyen un programa de maquinado, figura 1.2. Dándole las órdenes o instrucciones adecuadas a la máquina, ésta es capaz de maquinar una simple ranura, una cavidad irregular, la cara de una persona en altorrelieve o bajorrelieve, un grabado artístico, un molde de inyección de una cuchara o una botella... lo que se quiera.

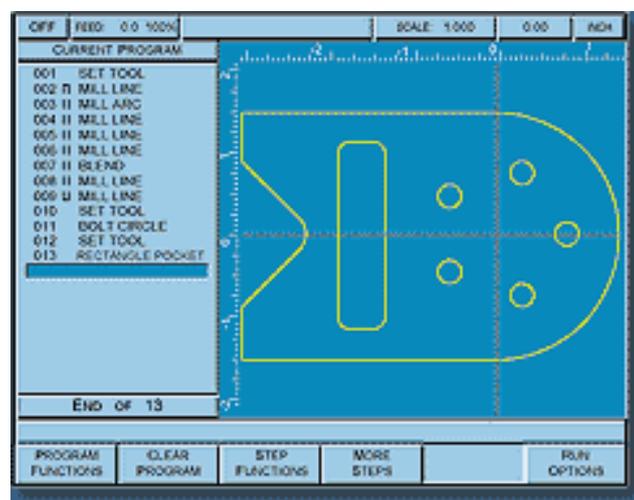


Figura 1.2 Programa de maquinado

Al principio hacer un programa de maquinado era muy difícil y tedioso, pues había que planear e indicarle manualmente a la máquina cada uno de los movimientos que tenía que hacer. Era un proceso que podía durar horas, días, semanas. Aún así era un ahorro de tiempo comparado con los métodos convencionales.

Actualmente muchas de las máquinas modernas trabajan con lo que se conoce como "lenguaje conversacional" en el que el programador escoge la operación que desea y la máquina le pregunta los datos que se requieren. Cada instrucción de este lenguaje conversacional puede representar decenas de códigos numéricos. Por ejemplo, el maquinado de una cavidad completa se puede hacer con una sola instrucción que especifica el largo, alto, profundidad, posición, radios de las esquinas, etc. Algunos controles incluso cuentan con graficación en pantalla y funciones de ayuda geométrica. Todo esto hace la programación mucho más rápida y sencilla.

También se emplean sistemas CAD/CAM que generan el programa de maquinado de forma automática. En el sistema CAD (diseño asistido por computadora) la pieza que se desea maquinar se diseña en la computadora con herramientas de dibujo y modelado sólido. Posteriormente el sistema CAM (manufactura asistida por computadora) toma la información del diseño y genera la ruta de corte que tiene que seguir la herramienta para fabricar la pieza deseada; a partir de esta ruta de corte se crea automáticamente el programa de maquinado, el cual puede ser introducido a la máquina mediante un disco o enviado electrónicamente.

Hoy día los equipos CNC con la ayuda de los lenguajes conversacionales y los sistemas CAD/CAM, permiten a las empresas producir con mucha mayor rapidez y calidad sin necesidad de tener personal altamente especializado.

1.2. Definiciones

El diseño y la fabricación asistidos por ordenador (CAD/CAM) es una disciplina que estudia el uso de sistemas informáticos como herramienta de soporte en todos los procesos de diseño y fabricación de cualquier tipo de producto. Se ha convertido en un requisito indispensable para la industria actual que enfrenta la necesidad de mejorar la calidad, disminuir costes y acortar tiempos de diseño y producción.

El uso cooperativo de herramientas de diseño y fabricación ha dado lugar a la aparición de una nueva tecnología denominada ‘Fabricación Integrada por Ordenador’ e incluso se habla de la ‘Gestión Integrada por Ordenador’ como el último escalón de automatización hacia el que todas las empresas deben orientar sus esfuerzos.

CAD es el acrónimo de ‘Computer Aided Design’ o diseño asistido por computador. Se trata de la tecnología implicada en el uso de ordenadores para realizar tareas de creación, modificación, análisis y optimización de un diseño. 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 de modelado y análisis de tolerancias, cálculo de propiedades físicas (masa, volumen, momentos, etc.), modelado y 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.) ya que la geometría es esencial para las actividades subsecuentes en el ciclo de producto descrito en la figura 1.4.

El término CAD se puede definir como el uso de sistemas informáticos en la creación, modificación, análisis u optimización de un producto, así como 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:

1.2.1. **Interfaz directa:** son aplicaciones en las que el ordenador 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:

1.2.1.1. **Supervisión:** implica un flujo de datos del proceso de producción al computador con el propósito de observar el proceso y los recursos asociados y recoger datos.

1.2.1.2. **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.

1.2.2. **Interfaz indirecta:** se trata de aplicaciones en las que el ordenador se utiliza como herramienta de ayuda para la fabricación, pero en las que no existe una conexión directa con el proceso de producción. La figura 1.3 muestra de forma grafica la diferencia entre estos dos tipos de aplicaciones.

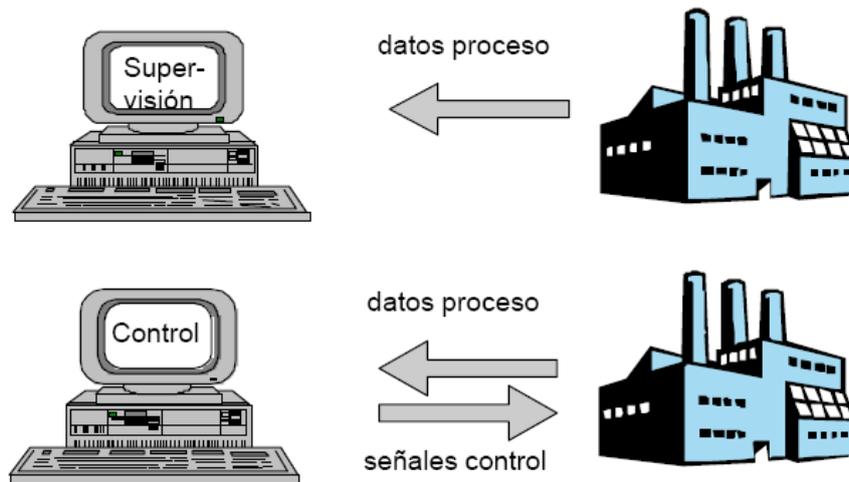


Figura 1.3 Supervisión y control

La planificación de procesos es la tarea clave para conseguir la automatización deseada, sirviendo de unión entre los procesos CAD y CAM. El plan de procesos determina de forma detallada la secuencia de pasos de producción requeridos para fabricar y ensamblar, desde el inicio a la finalización del proceso de producción. Las piezas se organizan en familias y cada nueva pieza se clasifica dentro de una familia, según las características o los elementos que la componen. Además, los sistemas informáticos pueden usarse para determinar el aprovisionamiento de materias primas y piezas necesarias para cumplir el programa de trabajo de la manera más eficiente, minimizando los costes financieros y de almacenaje. Esta actividad se denomina Planificación de Recursos Materiales (Material Requirement Planning o MRP). También es posible ejercer tareas de monitorización y control de la actividad de las maquinas del taller que se integran bajo el nombre de Planificación de Recursos de Manufacturación (Manufacturing Requirement Planning o MRPII).

La Ingeniería Asistida por Ordenador (Computer Aided Engineering o CAE) es la tecnología que se ocupa del uso de sistemas informáticos para analizar la geometría generada por las aplicaciones de CAD, permitiendo al diseñador simular y estudiar el comportamiento del producto para refinar y optimizar dicho diseño. Existen herramientas para un amplio rango de análisis. Los programas de cinemática, por ejemplo, pueden usarse para determinar trayectorias de movimiento y velocidades de ensamblado de mecanismos. Los programas de análisis dinámico de grandes desplazamientos se usan para determinar cargas y desplazamientos en productos complejos como los automóviles. Las aplicaciones de temporización lógica y verificación simulan el comportamiento de circuitos electrónicos complejos.

El método de análisis por ordenador más ampliamente usado en ingeniería es el método de elementos finitos o FEM (de Finite Element Method). Se utiliza para determinar tensiones, deformaciones, transmisión de calor, distribución de campos magnéticos, flujo de fluidos y cualquier otro problema de campos continuos que serían prácticamente imposibles de resolver utilizando otros métodos. En este método, la estructura se representa por un modelo de análisis constituido de elementos interconectados que dividen el problema en elementos manejables por el ordenador, requiere más un modelo abstracto de descomposición espacial que la propia geometría del diseño, dicho modelo se obtiene eliminando los detalles innecesarios de dicha geometría o reduciendo el número de dimensiones. Una vez creado dicho modelo, se genera la malla de elementos finitos para poder aplicar el método. Al software que se encarga de generar el modelo abstracto y la malla de elementos finitos se le denomina pre-procesador. Después de realizar el análisis de cada elemento, el ordenador ensambla los resultados y los visualiza. Las regiones con gran tensión se destacan, por ejemplo, mostrándose en color rojo. Las herramientas que realizan este tipo de visualización se denominan post-procesadores.

La ventaja del análisis y optimización de diseños es que permite a los ingenieros determinar como se va a comportar el diseño y eliminar errores sin la necesidad gastar tiempo y dinero construyendo y evaluando prototipos reales. Ya que el coste de reingeniería crece exponencialmente en las últimas etapas del desarrollo de un producto y en la producción, la optimización temprana que permiten las herramientas CAE supone un gran ahorro de tiempo y una notable disminución de costes.

Así pues, CAD; CAM y CAE son tecnologías que tratan de automatizar ciertas tareas del ciclo de producto y hacerlas más eficientes. Dado que se han desarrollado de forma separada, aun no se han conseguido todos los beneficios potenciales de integrar las actividades de diseño y fabricación del ciclo de producto. Para solucionar este problema ha aparecido una nueva tecnología: la fabricación integrada por ordenador o CIM (de Computer Integrated Manufacturing). Esta tecnología tiene el objetivo de aunar las *islas de automatización* conjuntándolas para que cooperen en un sistema único y eficiente. El CIM trata de usar una única base de datos que integre toda la información de la empresa y a partir de la cual se pueda realizar una gestión integral de todas las actividades de la misma, repercutiendo sobre todas las actividades de administración y gestión que se realicen en la empresa, además de las tareas de ingeniería propias del CAD y el CAM. Se dice que el CIM es más una filosofía de negocio que un sistema informático.

1.3. CAD/CAM en el Proceso de Diseño y Fabricación.

En la práctica, el CAD/CAM se utiliza de distintas formas, para producción de dibujos y diseño de documentos, animación por computador, análisis de ingeniería, control de procesos, control de calidad, etc. Por tanto, para clarificar el ámbito de las técnicas CAD/CAM, las etapas que abarca y las herramientas actuales y futuras, se hace necesario estudiar las distintas actividades y etapas que deben realizarse en el diseño y fabricación de un producto. Para referirnos a ellas emplearemos el término **ciclo de producto**, que aparece reflejado en la figura 1.4.

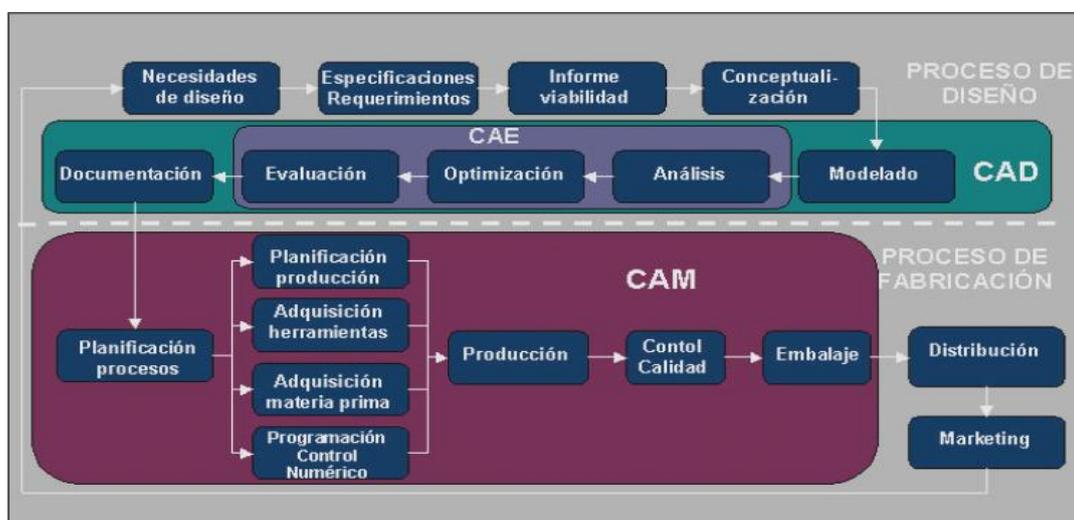


Figura 1.4 Ciclo de producto típico

Para convertir un concepto o idea en un producto, se pasa por dos procesos principales, el de diseño y el de fabricación. A su vez, el proceso de diseño se puede dividir en una etapa de síntesis, en la que se crea el producto y una etapa de análisis en la que se verifica, optimiza y evalúa el producto creado. Una vez finalizadas estas etapas se aborda la etapa de fabricación en la que, en primer lugar se planifican los procesos a realizar y los recursos necesarios, pasando después a la fabricación del producto. Como ultimo paso se realiza un control de calidad del producto resultante antes de pasar a la fase de distribución y marketing.

Debido a la demanda del mercado de productos cada vez más baratos, de mayor calidad y cuyo ciclo de vida se reduce cada vez mas, se hace necesaria la intervención de los ordenadores para poder satisfacer estas exigencias. Mediante el uso de técnicas de CAD/CAM se consigue abaratar costes, aumentar la calidad y reducir el tiempo de diseño y producción. Estos tres factores son vitales para la industria actual.

Dentro del ciclo de producto descrito se ha incluido un conjunto de tareas agrupadas en proceso CAD y otras en proceso CAM, que, a su vez, son subconjuntos del proceso de diseño y proceso de fabricación respectivamente. Las figuras 1.5 y 1.6 muestran ambos procesos con más detalle. Las herramientas requeridas para cada proceso aparecen en las tablas 1.1 y 1.2.

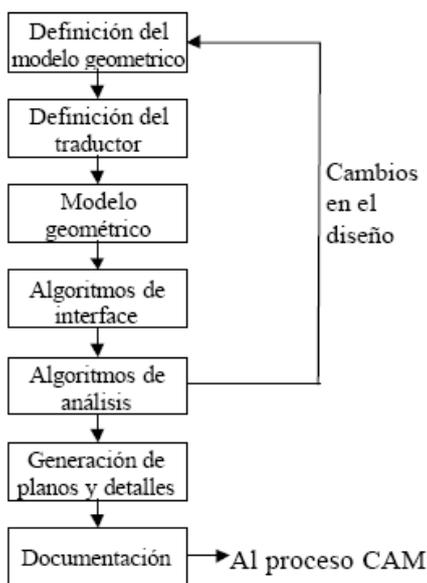


Figura 1.5 El Proceso CAD

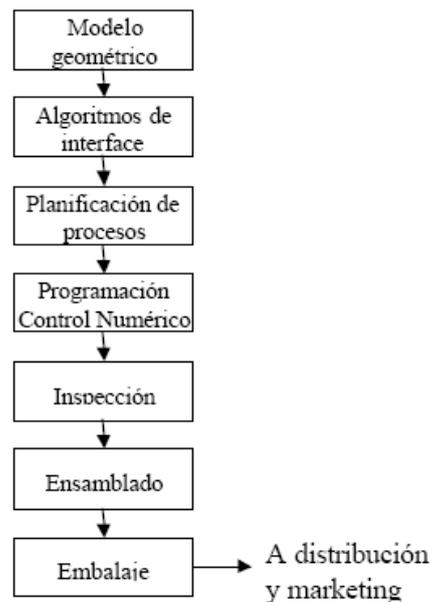


Figura 1.6 El Proceso CAM

Tabla 1.1 Herramientas CAD para el proceso de diseño

FASE DE DISEÑO	HERRAMIENTAS CAD REQUERIDAS
Conceptualización del diseño	Herramientas de modelado geométrico
Modelado del diseño y simulación	Las anteriores más herramientas de animación, ensamblaje y aplicaciones de modelado específicas
Análisis del diseño	Aplicaciones de análisis generales (FEM), aplicaciones a medida
Optimización del diseño	Aplicaciones a medida, optimización estructural
Evaluación del diseño	Herramientas de acotación, tolerancias, listas de materiales
Informes y documentación	Herramientas de dibujo de planos y detalles, imágenes color

Tabla 1.2 Herramientas CAM para el proceso de fabricación

FASE DE FABRICACIÓN	HERRAMIENTAS CAM REQUERIDAS
Planificación de procesos	Herramientas CAPP, análisis de costes, especificaciones de materiales y herramientas
Mecanizado de piezas	Programación de control numérico
Inspección	Aplicaciones de inspección
Ensamblaje	Simulación y programación de robots

1.4. Componentes del CAD/CAM

Los fundamentos de los sistemas de diseño y fabricación asistidos por ordenador son muy amplios, abarcando múltiples y diversas disciplinas, entre las que cabe destacar las siguientes:

1.4.1. **Modelado geométrico:** Se ocupa del estudio de métodos de representación de entidades geométricas. Existen tres tipos de modelos: alámbricos, de superficies y sólidos, y su uso depende del objeto a modelar y la finalidad para la que se construya el modelo. Se utilizan modelos alámbricos para modelar perfiles, trayectorias, redes, u objetos que no requieran la disponibilidad de propiedades físicas (áreas, volúmenes, masa). Los modelos de superficie se utilizan para modelar objetos como carrocerías, fuselajes, zapatos, personajes, donde la parte fundamental del objeto que se esta modelando es el exterior del mismo. Los modelos sólidos son los que más información contienen y se usan para modelar piezas mecánicas, envases, moldes, y en general, objetos en los que es necesario disponer de información relativa a propiedades físicas como masas, volúmenes, centro de gravedad, momentos de inercia, etc.

1.4.2. **Técnicas de visualización:** Son esenciales para la generación de imágenes del modelo. Los algoritmos usados dependerán del tipo de modelo, abarcando desde simples técnicas de dibujo 2D para el esquema de un circuito eléctrico, hasta la visualización realista usando trazado de rayos o radiosidad para el estudio de la iluminación de un edificio. Es habitual utilizar técnicas específicas para la generación de documentación dependiente de la aplicación, como por ejemplo, curvas de nivel, secciones o representación de funciones sobre sólidos o superficies.

1.4.3. **Técnicas de interacción gráfica:** Son el soporte de la entrada de información geométrica del sistema de diseño. Entre ellas, las técnicas de posicionamiento y selección tienen una especial relevancia. Las técnicas de posicionamiento se utilizan para la introducción de coordenadas 2D o 3D. Las técnicas de selección permiten la identificación interactiva de un componente del modelo, siendo por tanto esenciales para la edición del mismo.

1.4.4. **Interfaz de usuario:** Uno de los aspectos más importantes de una aplicación CAD/CAM es su interfaz. Del diseño de la misma depende en gran medida la eficiencia de la herramienta.

1.4.5. **Base de datos:** Es el soporte para almacenar toda la información del modelo, desde los datos de diseño, los resultados de los análisis que se realicen y la información de fabricación. El diseño de las bases de datos para sistemas CAD/CAM plantea una serie de problemas específicos por la naturaleza de la información que deben soportar.

1.4.6. **Métodos numéricos:** Son la base de los métodos de cálculo empleados para realizar las aplicaciones de análisis y simulación típicas de los sistemas de CAD/CAM.

1.4.7. **Conceptos de fabricación:** Referentes a máquinas, herramientas y materiales, necesarios para entender y manejar ciertas aplicaciones de fabricación y en especial la programación de control numérico.

1.4.8. **Conceptos de comunicaciones:** Necesarios para interconectar todos los sistemas, dispositivos y máquinas de un sistema CAD/CAM.



Figura 1.7 Componentes del CAD/CAM

Otra forma alternativa de estudiar los componentes del CAD/CAM se basa en como se implementan. Según este criterio el CAD estaría formado por el hardware más el software de diseño y el CAM estaría formado por el hardware más el software de fabricación y además los mecanismos de comunicación necesarios para establecer la comunicación con las maquinas y robots.

1.5. Aplicaciones de la Tecnología CAD/CAM

El uso de estas herramientas permite reducir costes, acortar tiempos y aumentar la calidad de los productos fabricados, siendo éstos los tres factores críticos que determinan el éxito comercial de un producto. Un ejemplo sencillo y evidente de estas circunstancias es la industria de la automoción, donde cada día aparecen nuevos modelos de coches con diseños cada vez más sofisticados y se reduce la duración de un modelo en el mercado, frente a la situación de hace unas pocas décadas en las que el numero de modelos en el mercado era mucho más reducido y su periodo de comercialización mucho más largo.

Ante este panorama, las herramientas CAD/CAM han tenido un auge espectacular, extendiéndose su uso a la práctica totalidad de las áreas industriales.

1.5.1. **Mecánica:** Es el campo donde más uso se he hecho tradicionalmente, fomentado sobre todo por la industria automovilística y aeroespacial que han llevado la iniciativa de la tecnología CAD/CAM. Las aplicaciones más habituales del CAD/CAM mecánico incluyen (figura 1.8): Librerías de piezas mecánicas normalizadas, modelado

y simulación de moldes, análisis por elementos finitos, fabricación rápida de prototipos, generación y simulación de programas de control numérico, generación y simulación de programación de robots, planificación de procesos.

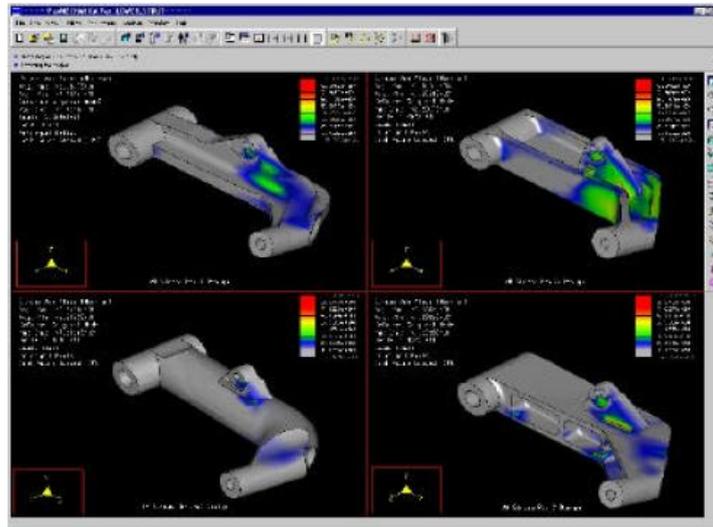


Figura 1.8 Análisis por elementos finitos

1.5.2. **Arquitectura e Ingeniería Civil:** En este campo la tecnología CAD/CAM se ha venido utilizando desde sus inicios, en principio con aplicaciones 2D de delineación y actualmente con sofisticadas herramientas 3D. Las aplicaciones más habituales del CAD/CAM relacionado con la arquitectura y la ingeniería civil son (figura 1.9): Librerías de elementos de construcción normalizados, diseño arquitectónico, diseño de interiores, diseño de obra civil, cálculo de estructuras, mediciones y presupuestos, planificación de procesos.

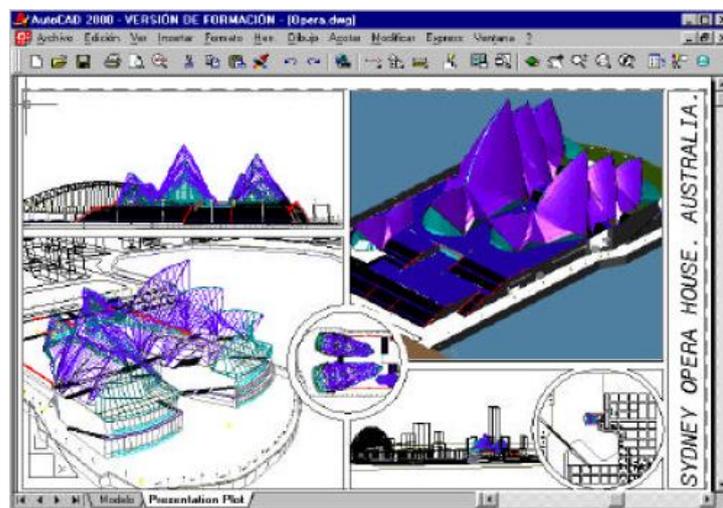


Figura 1.9 Ingeniería Civil

1.5.3. **Sistemas de información geográfica y cartografía:** En este campo se están produciendo avances muy significativos propiciados, entre otros factores, por las posibilidades de conexión que aporta la red Internet. La tendencia apunta hacia un paso de los sistemas 2D hacia sistemas 3D, como ha ocurrido antes en otras áreas. Las aplicaciones más habituales del CAD/CAM relacionado con la cartografía y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son (figura 1.10): Mantenimiento y producción de mapas y datos geográficos, análisis topográfico, estudios medioambientales, catastro, planificación urbana.

1.5.4. **Ingeniería Eléctrica y electrónica:** Las aplicaciones más habituales del CAD/CAM relacionado con la Ingeniería Eléctrica y electrónica son (figura 1.11): Librerías de componentes normalizados, diseño de circuitos integrados, diseño de placas de circuito impreso, diseño de instalaciones eléctricas, análisis, verificación y simulación de los diseños, programación de control numérico para el mecanizado o montaje de placas.

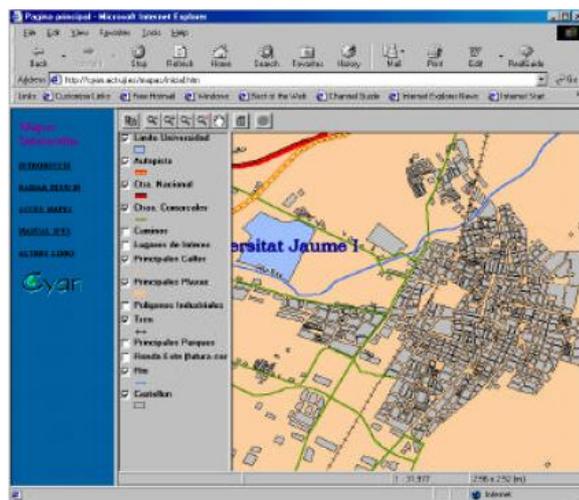


Figura 1.10 Aplicación del SIG en Internet

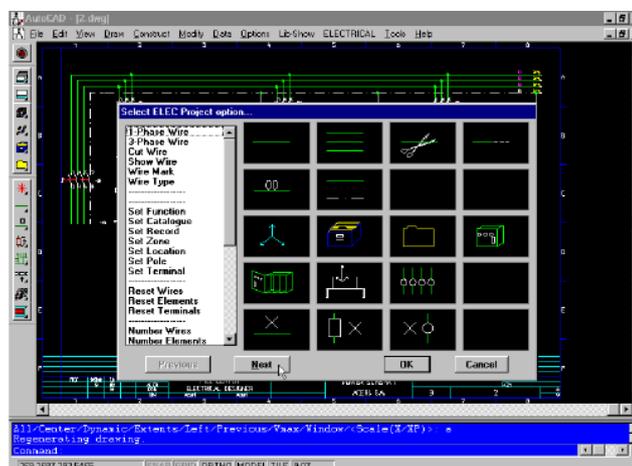


Figura 1.11 Diseño Eléctrico

1.6. Tecnología de corte y parámetros típicos de maquinado

En el proceso de taladrado se usa como herramienta de corte una broca espiral formada por dos cortes: con el objeto de que estos cortes o filos puedan arrancar viruta se necesitan de movimientos:

- Movimiento principal o de corte, en (m/min).
- Movimiento de avance
- Movimiento de ajuste o penetración, en (mm).
- Movimiento de posición: este movimiento depende tanto de la herramienta como de la pieza.

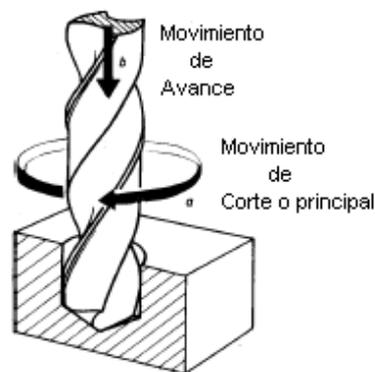


Figura 1.12 Movimientos Principales en el Taladrado

El movimiento de corte es producido por la rotación de la herramienta (broca). El parámetro que lo define es la velocidad de corte (V_c) que se mide en m/min. La velocidad de giro del husillo que mueve la broca se calcula según:

$$n = \frac{V_c}{\phi * \pi} \quad (1)$$

Donde: ϕ es el diámetro de la broca en mm.

El movimiento de avance es rectilíneo y se efectúa contra la pieza y puede conseguirse haciendo avanzar la broca hacia la pieza o viceversa. El avance (s) se mide en mm/rev y multiplicándolo por el número de revoluciones (n) se determina la velocidad de avance (S') en mm/min.

$$S' = s * n \quad (2)$$

El movimiento de penetración o ajuste (a) determina el espesor de la viruta. Así, utilizando una broca de dos filos, el espesor de viruta es igual a la mitad del avance.

Combinando los movimientos de corte y avance se provoca la formación continua de virutas, producidas por los filos de corte que siguen una trayectoria helicoidal.

1.7. Códigos de Programación CNC

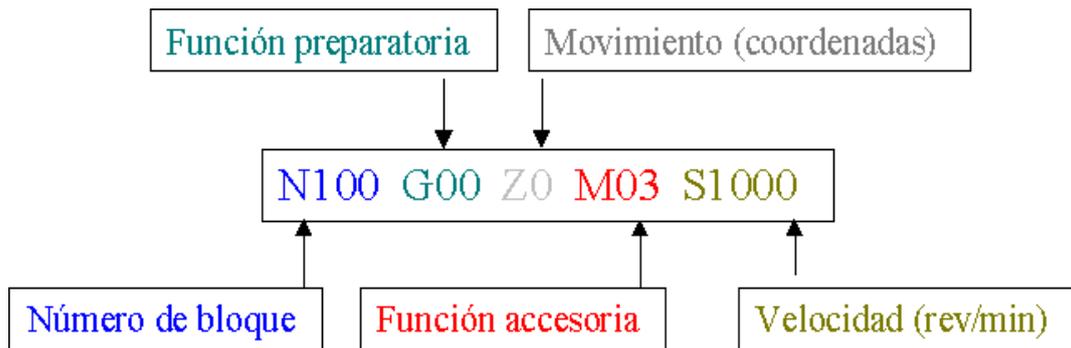
Para generar un programa CNC es necesario identificar el código de letras utilizado para este fin. En la tabla 1.3 podemos ver las letras que caracterizan las funciones programables, se trata de un extracto de la norma DIN que sigue siendo válida para la mayoría de los controladores de máquinas-herramientas de control numérico.

Tabla 1.3 Extracto de la Norma DIN 66025

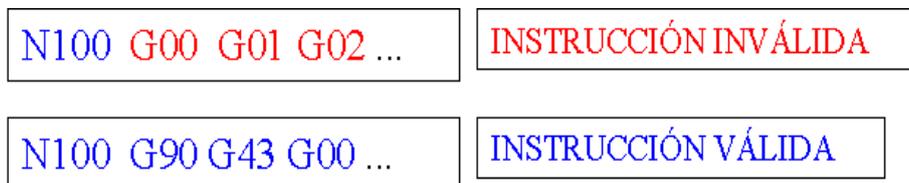
LETRAS QUE CARACTERIZAN LAS FUNCIONES PROGRAMABLES CON QUE VAN EQUIPADAS LAS MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO DE PRODUCCIÓN Extracto de la Norma DIN 66025			
Letra Característica	Función	Letra Característica	Función
A	Movimiento giratorio alrededor del eje X	O	No utilizar esta letra
B	Movimiento giratorio alrededor del eje Y	P	Tercer movimiento paralelo al eje X o parámetro para corrección de la herramienta
C	Movimiento giratorio alrededor del eje Z	Q	Tercer movimiento paralelo al eje Y o parámetro para corrección de la herramienta
D	Movimiento giratorio alrededor de otro eje más / o un tercer avance	R	Tercer movimiento paralelo al eje Z o parámetro para corrección de la herramienta
E	Movimiento giratorio alrededor de otro eje más / o un segundo avance	S	Velocidad en número de revoluciones por minuto del husillo
F	Avance	T	Herramientas
G	Funciones preparatorias	U	Segundo movimiento paralelo al eje X
H	(Libre)	V	Segundo movimiento paralelo al eje Y
I	Parámetros de interpolación o paso de rosca paralelo al eje X	W	Segundo movimiento paralelo al eje Z
J	Parámetros de interpolación o paso de rosca paralelo al eje Y	X	Movimiento en dirección del eje X
K	Parámetros de interpolación	Y	Movimiento en dirección del eje

	o paso de rosca paralelo al eje Z		X
L	(Libre)	Z	Movimiento en dirección del eje X
M	Funciones Accesorias		
N	Número de bloque del programa		

Utilizando estas letras una instrucción de CN podría ser de la siguiente forma:



En una misma instrucción pueden existir varias funciones preparatorias y/o auxiliares siempre y cuando no sean instrucciones contrarias.



En el primer caso la instrucción es inválida debido a que tiene 3 comandos con instrucciones contrarias, el G00 es un movimiento rápido, G01 es una interpolación lineal con velocidad programada y el G02 es una interpolación circular. En el segundo caso la instrucción es válida debido que las instrucciones son complementarias, en este caso definir el tipo de coordenadas (G90-absolutas), tipo de compensación (G43-longitudinal) y un movimiento rápido (G00).

CAPITULO 2

MAQUINAS TALADRADORAS CNC

2.1 Clasificación de las maquinas según el tipo de mecanizado

Según los movimientos que se pueden controlar sobre una máquina herramienta, los CNC se clasifican en los siguientes sistemas:

Punto a punto (PTP); Paraxial; De trayectoria continua o contorneado.

2.1.1 Punto a Punto (Point To Point).- Este sistema controla el posicionamiento de la herramienta en los sucesivos puntos donde debe efectuarse una o varias posiciones de mecanizado. La trayectoria seguida de un punto a otro no tiene importancia, además la herramienta no siempre está en contacto con la pieza a lo largo de la trayectoria. El posicionado se realiza normalmente a la velocidad máxima que soporta la máquina. Se utiliza en taladradoras, punteadoras, punzonadoras, etc. (Figura 2.1)

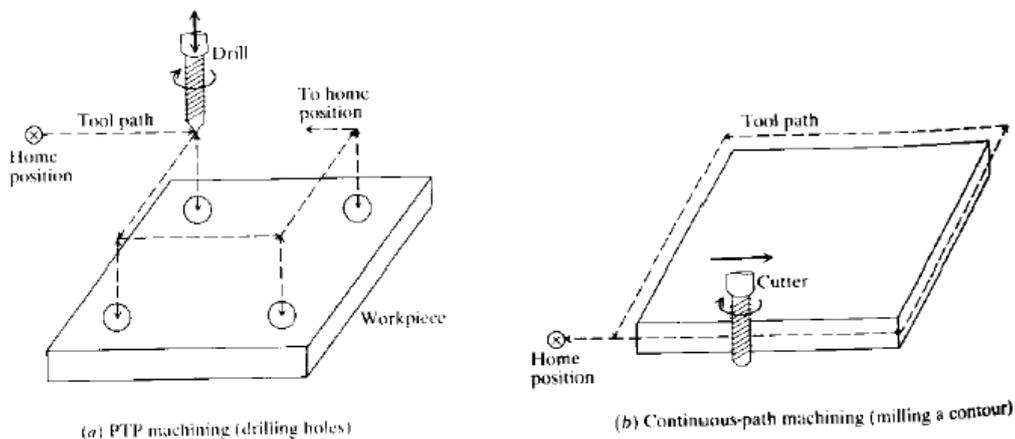


Figura 2.1 Mecanizado Punto a Punto

2.1.2 Paraxial.- Con este sistema es posible controlar, además de la posición del órgano móvil, la trayectoria seguida por el mismo. La velocidad de avance es programable y puede efectuarse un mecanizado durante el desplazamiento. Se utiliza en ciertas fresadoras simples, algunas mandrinadoras – fresadoras, taladradoras que pueden realizar pequeños fresados, etc.

2.1.3 Trayectoria Continua o Contorneado.- Se trata de una forma de posicionado que permite generar curvas, no solo se controla la posición final sino el movimiento en cada instante. De esta forma podemos conseguir recorridos tales como: rectas con cualquier pendiente, arcos y cualquier curva definible matemáticamente. Pueden usarse también como PTP.

2.2 Clasificación de las máquinas según el tipo de control

Según la forma que se pueden controlar una máquina herramienta, se clasifican en:

NC, CNC, DNC

2.2.1 NC.- DPU lector de cinta perforada. Cada vez que se mecaniza una pieza se debe leer la cinta.(Figura 2.2)

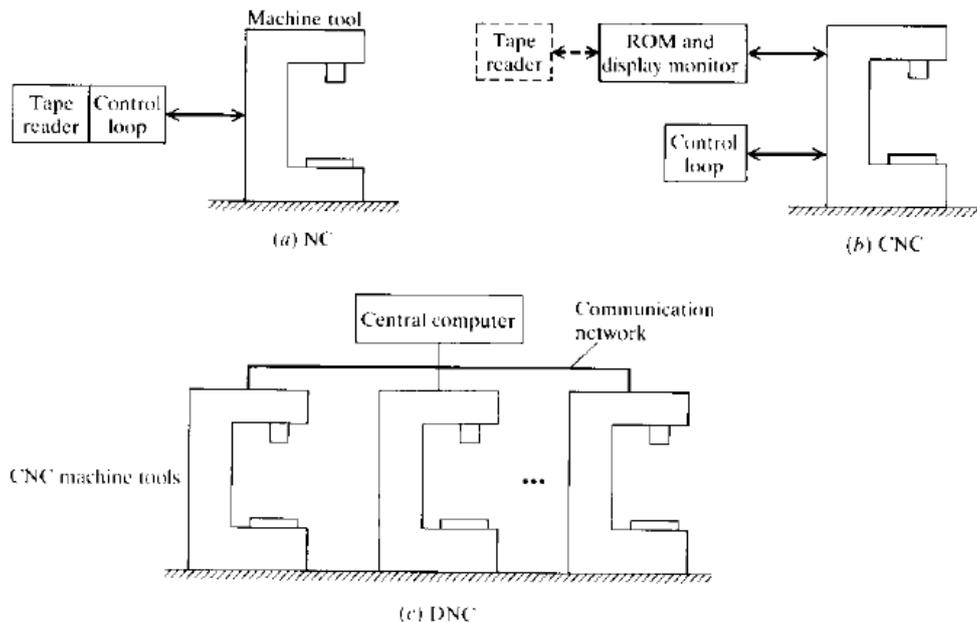


Figura 2.2 Máquinas: a) NC, b) CNC, c) DNC

2.2.2 CNC.- DPU es una ROM con un display, el programa NC se lee una vez. Capacidad de diagnóstico para mantenimiento y reparación de la máquina. Cada máquina con su programa. Sin realimentación. Incapaz generación informes (ratios producción, trabajo en curso, rechazos, etc.).



Figura 2.3 Taladradora CNC

2.2.3 DNC.- Host + máquinas CNC + red Host almacena programas NC y los carga en cada una de las máquinas. Realimentación. Generación de informes. Diferentes niveles jerárquicos de ordenadores y redes. Ventaja: centraliza la información de control del sistema.

2.3 Herramientas y accesorios

2.3.1 Herramientas de Corte.- Para el mecanizado en máquinas taladradoras se requiere de herramientas de corte denominadas brocas, y de otras como: escariadores, avellanadores, abocardadores, barrenos, fresas, etc., de formas y dimensiones variadas, como las que se ilustra en la figura 2.4



Figura 2.4 Herramientas de corte

2.3.2 Herramientas de Sujeción de Piezas.- Para sujetar las piezas en el mecanizado se requiere de herramientas tales como: prensas, bridas, suplementos escalonados, escuadras de fijación, mesas, grapas, topes, birlos, paralelas, bloques en V, clavijas, etc., como las que se ilustra a continuación.

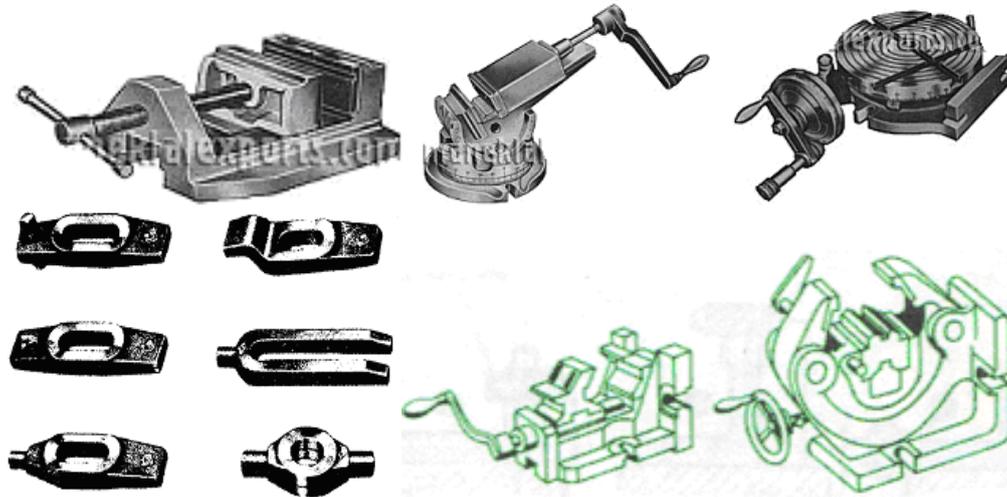


Figura 2.5 Herramientas de sujeción de piezas

2.3.3 Herramientas de Sujeción de Cortadores.- De la misma forma, para sujetar las herramientas de corte se requieren de herramientas como: porta-brocas, cabezales de cambio rápido, porta-pinzas, pinzas, porta-fresas, boquillas, casquillos, etc., como los que se ilustra a continuación.

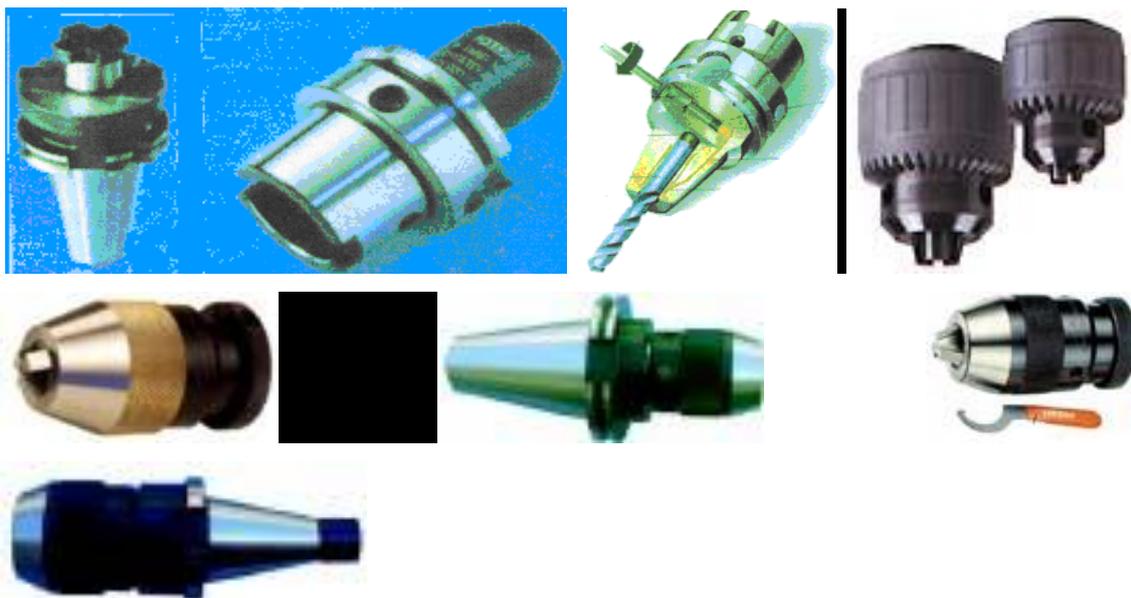


Figura 2.6 Herramientas de sujeción de cortadores

2.4 Velocidades y avances

Los parámetros de corte descritos en el numeral 1.6 son fundamentales para determinar las velocidades y avances en el taladrado, como se detalla a continuación. Establecer el número de revoluciones, para taladrar un agujero de $\varnothing 2$ mm., en aleaciones ligeras de aluminio, con una broca HSS.

La velocidad de corte necesaria para este caso es de 70 m/min., obtenida en tablas de maquinado, por tanto el número de revoluciones que se debe ajustar al cabezal taladrador según la ecuación (1) será:

$$n = \frac{V_c}{\phi * \pi} = \frac{70 \frac{m}{min} * \frac{1000mm}{m}}{2mm * 3,1416} = 11140RPM$$

En cuanto se refiere al avance, las máquinas CNC disponen de motores independientes para el movimiento del avance en cada eje y no dependen del número de revoluciones del cabezal taladrador como son en las máquinas convencionales, por tanto el avance será:

$$s = 0.1mm / rev$$

utilizando la ecuación (2), la velocidad de avance con un motor de 1800 rev/min será:

$$S' = s * n = 0.1 \frac{mm}{rev} * 1800 \frac{rev}{min} = 180 \frac{mm}{min}$$

obteniéndose una velocidad de avance superior a las convencionales.

2.5 Maquinado de piezas en máquinas taladradoras

El mecanizado de piezas en máquinas taladradoras comprende: taladrado, escariado, avellanado, abocardado, perfilado, roscado, fresado, entre otras, algunas de las cuales se indica en la figura:

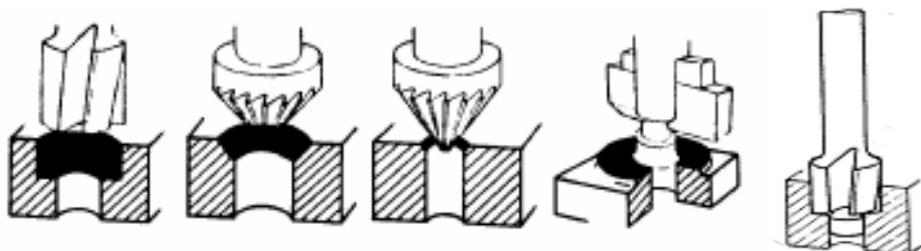


Figura 2.7 Operaciones de taladrado, escariado, avellanado, abocardado, mandrilado

2.6 Normas de seguridad

Las Normas de Seguridad implican el manejo adecuado de máquinas y herramientas en conjunto con la seguridad personal en el mecanizado (Figura 2.8) Por lo anterior se recomienda:



Figura 2.8 Normas de Seguridad

No efectuar ningún tipo de reparación en la máquina mientras ésta permanezca conectada a la red. No hacer uso de ninguna máquina sin haber leído previamente las instrucciones de uso. No usar ninguna máquina para otras tareas que las especificadas para la misma. Antes de pulsar el interruptor de mando en una máquina, asegurarse de que el elemento de corte está libre; es decir, que la maquina comience a trabajar en vacío. No conectar ninguna máquina a la red sin asegurarse previamente de que su interruptor está en posición de paro. No deberá utilizarse ninguna máquina a la que falten órganos de protección o los tenga deteriorados. En todas las máquinas deberá llevarse a cabo un correcto mantenimiento.

CAPITULO 3

SISTEMAS DE CONTROL

3.1 Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador, dispone normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador o CPU (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para contener los datos.
- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM/EEPROM.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, Puertas Serie y Paralelo, Conversores: Analógico/Digital, Digital/Analógico, etc.).
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

Los productos que para su regulación incorporan un microcontrolador disponen de las siguientes ventajas:

- **Aumento de prestaciones:** Un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.
- **Aumento de la fiabilidad:** Al reemplazar el microcontrolador por un elevado número de elementos disminuye el riesgo de averías y se precisan menos ajustes.
- **Reducción del tamaño en el producto acabado:** La integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen, la mano de obra y los stocks.
- **Mayor flexibilidad:** Las características de control están programadas por lo que su modificación sólo necesita cambios en el programa de instrucciones.

El microcontrolador es un circuito integrado que incluye todos los componentes de un computador. Debido a su reducido tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo al que gobierna. En este caso el controlador recibe el nombre de controlador empotrado (embedded controller).

Es posible seleccionar la capacidad de las memorias, el número de líneas de E/S, la cantidad y potencia de los elementos auxiliares, la velocidad de funcionamiento, etc. Por todo ello, un aspecto muy destacado del diseño es la selección del microcontrolador a utilizar. (ver figura 3.1)

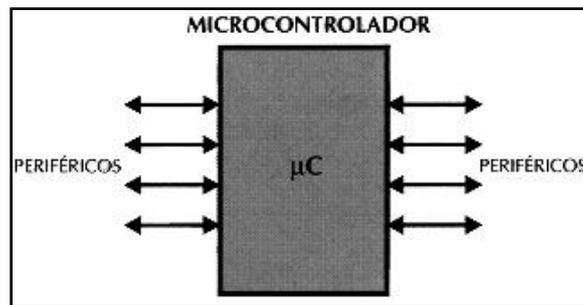


Figura 3.1 El microcontrolador

3.1.1 Aplicaciones de los microcontroladores.

Cada vez más productos incorporan un microcontrolador con el fin de aumentar sustancialmente sus prestaciones, reducir su tamaño y coste, mejorar su fiabilidad y disminuir el consumo.

Algunos fabricantes de microcontroladores superan el millón de unidades de un modelo determinado producidas en una semana. Este dato puede dar una idea de la masiva utilización de estos componentes.

Los microcontroladores están siendo empleados en multitud de sistemas presentes, como pueden ser juguetes, horno microondas, frigoríficos, televisores, computadoras, impresoras, módems, sistema de arranque del automóvil, control de sistemas en una nave espacial, etc. Una aplicación típica podría emplear varios microcontroladores para controlar pequeñas partes del sistema. Estos pequeños controladores podrían comunicarse entre ellos y con un procesador central, probablemente más potente, para compartir la información y coordinar sus acciones, como de hecho, ocurre ya habitualmente en cualquier PC.

El Mercado de los Microcontroladores

Existe una gran diversidad de microcontroladores. La clasificación más importante es de microcontroladores de 4, 8, 16 ó 32 bits. Aunque las prestaciones de los microcontroladores de 16 y 32 bits son superiores a los de 4 y 8 bits, la realidad es que los microcontroladores de 8 bits dominan el mercado y los de 4 bits se resisten a desaparecer.

La razón de esta tendencia es que los microcontroladores de 4 y 8 bits son apropiados para la gran mayoría de las aplicaciones, lo que hace absurdo emplear micros más potentes y consecuentemente más caros.

En cuanto a las técnicas de fabricación, cabe decir que prácticamente la totalidad de los microcontroladores actuales se fabrican con tecnología CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Esta tecnología supera a las técnicas anteriores por su bajo consumo y alta inmunidad al ruido.

Recursos comunes a todos los Microcontroladores.

Al estar los microcontroladores integrados en un chip, su estructura fundamental y sus características básicas son muy parecidas. Todos deben disponer de los bloques esenciales: procesador, memoria de datos y de instrucciones, líneas de E/S, oscilador de reloj y módulos controladores de periféricos. Cada fabricante intenta enfatizar los recursos más idóneos para las aplicaciones a las que se destinan preferentemente.

3.1.2 Arquitectura Básica

Aunque inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la arquitectura clásica de Von Neumann, en el momento presente se impone la arquitectura Harvard. La arquitectura de Von Neumann se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control).

La arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes, una que contiene sólo instrucciones y otra, sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos

sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias. Figura 3.2

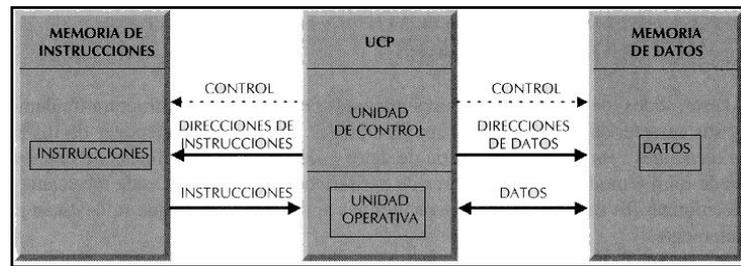


Figura 3.2 La arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes para datos y para instrucciones.

Los microcontroladores PIC responden a la arquitectura Harvard (Figura 3.3)

Figura 3.3 Diagrama de bloques del microcontrolador

3.1.2.1 El Procesador o CPU

Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software. Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código OP de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado.

Existen tres orientaciones en cuanto a la arquitectura y funcionalidad de los procesadores actuales.

CISC: Un gran número de procesadores usados en los microcontroladores están basados en la filosofía CISC (Computadores de Set de Instrucciones Complejo).

Disponen de más de 80 instrucciones máquina en su repertorio, algunas de las cuales son muy sofisticadas y potentes, requiriendo muchos ciclos para su ejecución.

RISC: Tanto la industria de los computadores comerciales como la de los microcontroladores están destacándose hacia la filosofía RISC (Computadores de Set de Instrucciones Reducido). En estos procesadores el repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y las instrucciones son simples y, generalmente, se ejecutan en un ciclo.

SISC: En los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas, el set de instrucciones, además de ser reducido, es "específico", o sea, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista. Esta filosofía se ha bautizado con el nombre de SISC (Computadores de Set de Instrucciones Específico).

3.1.2.2 Memoria

En los microcontroladores, la memoria de instrucciones y datos está integrada en el propio chip. Una parte debe ser no volátil, tipo ROM y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria será tipo RAM, volátil, y se destina a guardar las variables y los datos.

Hay dos peculiaridades que diferencian a los microcontroladores de los computadores personales:

- No existen sistemas de almacenamiento masivo como disco duro o disquetes.
- Como el microcontrolador sólo se destina a una tarea en la memoria **ROM**, sólo hay que almacenar un único programa de trabajo.
- La **RAM** en estos dispositivos es de poca capacidad pues sólo debe contener las variables y los cambios de información que se produzcan en el transcurso del programa.

Los diseñadores con microcontroladores trabajan con capacidades de ROM comprendidas entre 512 bytes y 8 Kbytes y de RAM comprendidas entre 20 y 512 bytes.

Según el tipo de memoria **ROM** que dispongan los microcontroladores, la aplicación y utilización de los mismos es diferente. Existen cinco versiones de memoria no volátil que se pueden encontrar en los microcontroladores del mercado.

- **ROM con máscara**
- **OTP**
- **EPROM**
- **EEPROM**
- **FLASH**

Este último tipo de memoria no volátil, es de bajo consumo, que se puede escribir y borrar. Funciona como una ROM y una RAM pero consume menos y es más pequeña.

A diferencia de la ROM, la memoria FLASH es programable en el circuito. Es más rápida y de mayor densidad que la EEPROM.

La alternativa FLASH está recomendada frente a la EEPROM cuando se precisa gran cantidad de memoria de programa no volátil. Es más veloz y tolera más ciclos de escritura/borrado.

Las memorias EEPROM y FLASH son muy útiles al permitir que los microcontroladores que las incorporan puedan ser reprogramados "en circuito", es decir, sin tener que sacar el circuito integrado de la tarjeta.

3.1.2.3 Puertas de Entrada y Salida

La principal utilidad de los pines que posee la cápsula que contiene un microcontrolador es soportar las líneas de E/S que comunican al computador interno con los periféricos exteriores.

Según los controladores de periféricos que posea cada modelo de microcontrolador, las líneas de E/S se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control.

3.1.2.4 Reloj Principal

Todos los microcontroladores disponen de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema.

El circuito de reloj está incorporado en el microcontrolador y sólo se necesitan unos pocos componentes exteriores para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo. Dichos componentes suelen consistir en un cristal de cuarzo junto a elementos pasivos o bien un resonador cerámico o una red R-C.

3.1.2.5 Recursos Especiales

Cada fabricante oferta numerosas versiones de una arquitectura básica de microcontrolador. En algunas, amplía las capacidades de las memorias, en otras incorpora nuevos recursos, en otras reduce las prestaciones al mínimo para aplicaciones muy simples, etc. La labor del diseñador es encontrar el modelo mínimo que satisfaga todos los requerimientos de su aplicación. De esta forma, minimizará el coste, el hardware y el software.

Los principales recursos específicos que incorporan los microcontroladores son:

- Temporizadores o "Timers" Se emplean para controlar períodos de tiempo (temporizadores) y para llevar la cuenta de acontecimientos que suceden en el exterior (contadores).
- Perro guardián o "Watchdog". Cuando el computador personal se bloquea por un fallo del software u otra causa, se pulsa el botón del reset y se reinicializa el sistema. El Perro guardián consiste en un temporizador que, cuando se desborda y pasa por 0, provoca un reset automáticamente en el sistema.
- Protección ante fallo de alimentación o "Brownout". Se trata de un circuito que resetea al microcontrolador cuando el voltaje de alimentación (VDD) es inferior a un voltaje mínimo ("brownout").
- Estado de reposo o de bajo consumo. Los microcontroladores disponen de una instrucción especial (SLEEP en los PIC) En dicho estado se detiene el reloj principal y se "congelan" sus circuitos asociados, quedando sumido en un

profundo "sueño" el microcontrolador. Al activarse una interrupción ocasionada por el acontecimiento esperado, el microcontrolador se despierta y reanuda su trabajo.

- Conversor A/D. Los microcontroladores que incorporan un Analógico/Digital que puede procesar señales analógicas
- Conversor D/A. Transforma los datos digitales obtenidos del procesamiento del computador en su correspondiente señal analógica que envían al exterior por uno de los pines del circuito integrado.
- Comparador analógico. Algunos modelos de microcontroladores disponen internamente de un Amplificador Operacional que actúa como comparador entre una señal fija de referencia y otra variable que se aplica por uno de los pines de la cápsula.
- Modulador de anchura de impulsos o PWM. Son circuitos que proporcionan en su salida impulsos de anchura variable, que se ofrecen al exterior a través de los pines del encapsulado.
- Puertas de E/S digitales. Todos los microcontroladores destinan algunos de sus pines a soportar líneas de E/S digitales. Por lo general, estas líneas se agrupan de ocho en ocho formando Puertos.
- Puertas de comunicación. Con objeto de dotar al microcontrolador de la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos, otros buses de microprocesadores, buses de sistemas, buses de redes y poder adaptarlos con otros elementos bajo otras normas y protocolos. Algunos modelos disponen de recursos que permiten directamente esta tarea, entre los que destacan:
 - UART, adaptador de comunicación serie asíncrona.
 - USART, adaptador de comunicación serie síncrona y asíncrona

Puerta paralela esclava para poder conectarse con los buses de otros microprocesadores.

- USB (Universal Serial Bus), que es un moderno bus serie para los PC.
- Bus I²C, que es un interfaz serie de dos hilos desarrollado por Philips.

- CAN (Controller Area Network), para permitir la adaptación con redes de conexionado multiplexado desarrollado conjuntamente por Bosch e Intel para el cableado de dispositivos en automóviles. En EE.UU. se usa el J1850.

3.1.3 Herramientas para el desarrollo de aplicaciones.

Uno de los factores que más importancia tiene a la hora de seleccionar un microcontrolador entre todos los demás es el soporte tanto software como hardware de que dispone. Un buen conjunto de herramientas de desarrollo puede ser decisivo en la elección, ya que pueden suponer una ayuda inestimable en el desarrollo del proyecto.

Las principales herramientas de ayuda al desarrollo de sistemas basados en microcontroladores son:

Desarrollo del software:

Ensamblador: La programación en lenguaje ensamblador puede resultar un tanto ardua para el principiante, pero permite desarrollar programas muy eficientes, ya que otorga al programador el dominio absoluto del sistema.

Compilador: La programación en un lenguaje de alto nivel (como el C ó el Basic) permite disminuir el tiempo de desarrollo de un producto. No obstante, si no se programa con cuidado, el código resultante puede ser mucho más ineficiente que el programado en ensamblador.

Depuración: Debido a que los microcontroladores van a controlar dispositivos físicos, los desarrolladores necesitan herramientas que les permitan comprobar el buen funcionamiento del microcontrolador cuando es conectado al resto de circuitos.

Simulador: Son capaces de ejecutar en un PC programas realizados para el microcontrolador. Los simuladores permiten tener un control absoluto sobre la ejecución de un programa, siendo ideales para la depuración de los mismos. Su gran inconveniente es que es difícil simular la entrada y salida de datos del microcontrolador. Tampoco cuentan con los posibles ruidos en las entradas, pero, al menos, permiten el

paso físico de la implementación de un modo más seguro y menos costoso, puesto que se ahorra en grabaciones de chips para la prueba in-situ.

Placas de evaluación: Se trata de pequeños sistemas con un microcontrolador ya montado y que suelen conectarse a un PC desde el que se cargan los programas que se ejecutan en el microcontrolador. Las placas suelen incluir visualizadores LCD, teclados, LED's, de fácil acceso a los pines de E/S, etc. El sistema operativo de la placa recibe el nombre de programa monitor.

Emuladores en circuito: Se trata de un instrumento que se coloca entre el PC anfitrión y el zócalo de la tarjeta de circuito impreso donde se alojará el microcontrolador definitivo. El programa es ejecutado desde el PC, pero para la tarjeta de aplicación es como si lo hiciese el mismo microcontrolador que luego irá en el zócalo. Presenta en pantalla toda la información tal y como luego sucederá cuando se coloque la cápsula.

3.1.4 Selección del microcontrolador para la aplicación

Para escoger el microcontrolador a emplear en un diseño concreto hay que tener en cuenta factores, como la documentación y herramientas de desarrollo disponibles y su precio, la cantidad de fabricantes que lo producen y por supuesto las características del microcontrolador (tipo de memoria de programa, número de temporizadores, interrupciones, etc.):

3.1.4.1 Costos.

Los fabricantes de microcontroladores compiten duramente para vender sus productos, venden 10 veces más microcontroladores que microprocesadores. Para el fabricante que usa el microcontrolador en su producto una diferencia de precio en el microcontrolador es importante (el consumidor deberá pagar además el coste del empaquetado, el de los otros componentes, el diseño del hardware y el desarrollo del software). Si el fabricante desea reducir costes debe tener en cuenta las herramientas de apoyo con que va a contar: emuladores, simuladores, ensambladores, compiladores, etc. Es habitual que muchos de ellos siempre se decanten por microcontroladores pertenecientes a una única familia.

3.1.4.2 Aplicación.

Antes de seleccionar un microcontrolador es imprescindible analizar los requisitos de la aplicación:

Procesamiento de datos: puede ser necesario que el microcontrolador realice cálculos críticos en un tiempo limitado. En ese caso se debe seleccionar un dispositivo suficientemente rápido para ello. Por otro lado, habrá que tener en cuenta la precisión de los datos a manejar: si no es suficiente con un microcontrolador de 8 bits, puede ser necesario acudir a microcontroladores de 16 ó 32 bits, o incluso a hardware de coma flotante. Una alternativa más barata y quizá suficiente es usar librerías para manejar los datos de alta precisión.

Entrada / Salida: para determinar las necesidades de Entrada / Salida del sistema, es conveniente dibujar un diagrama de bloques del mismo, de tal forma que sea sencillo identificar la cantidad y tipo de señales a controlar. Una vez realizado este análisis puede ser necesario añadir periféricos hardware externos o cambiar a otro microcontrolador más adecuado a ese sistema.

Consumo: algunos productos que incorporan microcontroladores están alimentados con baterías y su funcionamiento puede ser tan vital como activar una alarma antirrobo. Lo más conveniente en un caso como éste puede ser que el microcontrolador esté en estado de bajo consumo pero que despierte ante la activación de una señal (una interrupción) y ejecute el programa adecuado para procesarla.

Memoria: para detectar las necesidades de memoria de una aplicación, se debe separarla en memoria volátil (RAM), memoria no volátil (ROM, EPROM, etc.) y memoria no volátil modificable (EEPROM). Este último tipo de memoria puede ser útil para incluir información específica de la aplicación como un número de serie o parámetros de calibración.

Ancho de palabra: el criterio de diseño debe ser seleccionar el microcontrolador de menor ancho de palabra que satisfaga los requerimientos de la aplicación. Usar un microcontrolador de 4 bits supondrá una reducción en los costes importante, mientras que uno de 8 bits puede ser el más adecuado si el ancho de los datos es de un byte. Los

microcontroladores de 16 y 32 bits, debido a su elevado coste, deben reservarse para aplicaciones que requieran sus altas prestaciones

Diseño de la placa: la selección de un microcontrolador concreto condicionará el diseño de la placa de circuitos. Debe tenerse en cuenta que quizá usar un microcontrolador barato encarezca el resto de componentes del diseño.

Los microcontroladores más populares se encuentran, sin duda, entre las mejores elecciones:

PIC (Micro Chip). Familia de microcontroladores que gana popularidad día a día. Fueron los primeros microcontroladores RISC. Es preciso resaltar en este punto que existen innumerables familias de microcontroladores, cada una de las cuales posee un gran número de variantes.

3.1.4.3 Datos para la selección

- Memoria de Programa (Bytes, o words).
- Bytes en Ram
- Velocidad Máxima en Mhz
- Puertos de Entrada / Salida
- Conversores Análogo / Digital
- Tipo de comunicación
- PWM
- Conversores Digital / Análogo
- Comparadores
- Temporizadores

3.1.5 PIC 16F87x

Bajo la denominación de PIC 16F87x se hace a una subfamilia de microcontroladores PIC de la gama media, que se identifica por tener como memoria de programa una de tipo FLASH y una serie de recursos semejante a los modelos más potentes.

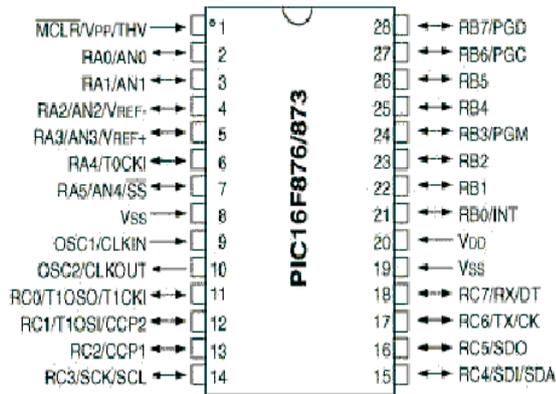


Figura 3.4 PIC16F873/6

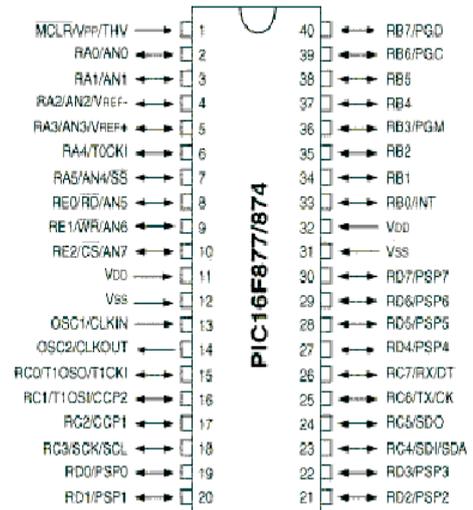


Figura 3.5 PIC16F874/7

De los cuatro modelos que componen esta subfamilia están encapsulados con 28 pines PIC16F873/6 (Figura 3.4), mientras que los otros dos tienen 40 pines PIC16F874/7 (Figura 3.5)

Las principales diferencias entre los PIC16F87x con 28 pines y de los 40 se concentran especialmente en el número de líneas de E/S disponibles, pero a continuación se citan las tres diferencias más relevantes:

1ª Los modelos encapsulados con 40 pines disponen de 5 puertas (PA, PB, PC, PD, y PE) de E/S con un total de 33 líneas para conectar a los periféricos exteriores. Los de 28 pines sólo tienen 3 puertas (PA, PB, y PC) con 22 líneas de E/S.

2ª El convertor A/D en los PIC con 28 pines tiene 5 canales de entrada, pero en los de 40 pines tiene 8

3ª Sólo los encapsulados con 40 pines integran una puerta paralela esclava.

A continuación se da a conocer los recursos de los PIC16F87x:

3.1.5.1 Recursos Fundamentales

- Procesador de arquitectura RISC avanzada
- Set de 35 instrucciones con 14 bits de longitud. Todas ellas se ejecutan en un ciclo de instrucción menos las de salto que tardan dos
- Frecuencia de 20MHz
- Hasta 8 K palabras de 14 bits para la memoria de Código, tipo FLASH

- Hasta 368 bytes de memoria de datos RAM
- Hasta 256 bytes de memoria de datos EEPROM
- Encapsulados compatibles con los PIC16C73/74/76/77
- Hasta 14 fuentes de interrupción internas y externas
- Pila con 8 niveles
- Modos de direccionamiento directo indirecto y relativo
- Perro guardián (WDT)
- Código de protección programable
- Modo SEP de bajo consumo
- Programación serie en circuito con dos pines
- Voltaje de alimentación comprendido entre 2 y 5.5 V
- Bajo consumo (menos de 2mA a 5V y 5 MHz)

3.1.5.2 Dispositivos Periféricos

- Timer 0: temporizador – contador de 8 bits con predivisor de 8 bits
- Timer 1: temporizador – contador de 16 bits con predivisor
- Timer 2: temporizador – contador de 8 bits con predivisor y postdivisor
- Dos módulos de Captura – Comparación – PWM
- Conversor A/D de 10 bits
- Puerto serie Zirconio (SSP) con SPI e I²C.
- USART
- Puerta paralela Esclava (PSP) solo encapsulados con 40 pines

3.1.5.3 Organización De La Memoria De Programa

La memoria FLASH en la que se graba el programa de aplicación en los PIC16F87x, puede tener una capacidad de 4K u 8K palabras de 14 bits cada una. Dicha memoria está dividida en páginas de 2K palabras, está direccionada con el PC, que tiene un tamaño de 13 bits. La pila, que tiene 8 niveles de profundidad, es transparente para el usuario, es decir funciona automáticamente y no dispone de instrucciones para guardar o enviar de ella información. El vector de Reset ocupa la dirección 0000h y el vector de interrupción la 0004h, igual que en el PIC16F84 (Figura 3.6).

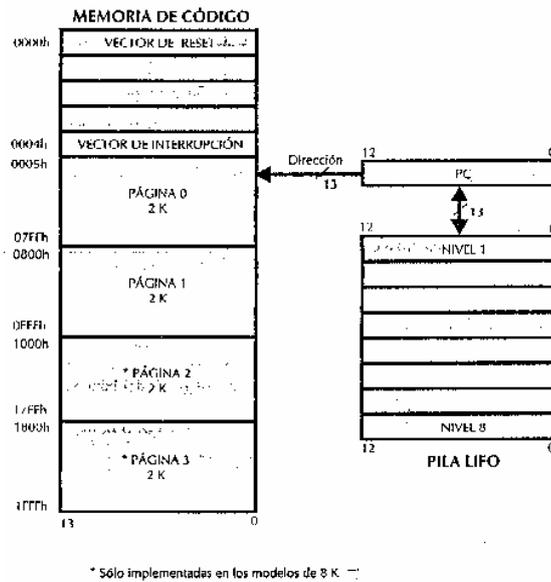


Figura 3.6 Organización de la memoria de programa tipo FLASH en los PIC16F87x

3.1.5.4 Organización de la Memoria de Datos Ram

La memoria de datos tiene posiciones implementadas en RAM y otras en EEPROM. En la sección se alojan los registros operativos fundamentales en el funcionamiento del procesador y en el manejo de todos los periféricos, además de registros que el programador puede usar para información del trabajo propia de la aplicación.

Para seleccionar al banco al que se desea acceder en RAM se emplean los bits 5 y 6 del registro de Estado, denominados RP1 y RP0 respectivamente, según el código siguiente:

BANCO	RP1	RP0
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1

Para manipular adecuadamente los elementos internos de los PIC hay que conocer la misión de los bits de los Registros Específicos.

Control de la memoria de datos

Para direccionar la memoria RAM de datos estructurados en 4 bancos de 128 bytes cada uno existen dos modos diferentes:

- Direccionamiento Indirecto
- Direccionamiento Directo

En el modo de direccionamiento directo, los bits RP1 Y RP0 del *Registro de Estado* <6:5> se encargan de seleccionar el banco, mientras que la dirección dentro del banco la determinan 7 bits procedentes del código OP de la instrucción. Para el direccionamiento indirecto se usa el registro FSR, en el que sus 7 bits de menos peso señalan la dirección, y el banco lo determina el bit de más peso de FSR concatenado con el bit IRP del *Registro de Estado* <7>

3.1.5.5 Diagrama de Conexión

En las figuras 3.4 y 3.5 se muestran los diagramas de distribución y asignación de PIC's 16F87X de 28 o 40 pines de los encapsulados PDIP (doble hilera de pines de plástico) de los PIC16F87x. Los encapsulados con menos pines carecen de las puertas D y E.

La función de las pines es la siguiente:

Pines de Propósito General

- OSC1/CLKIN (9): Entrada del cristal de cuarzo o del oscilador externo.
- OSC2/CLKout(10): Salida del cristal de cuarzo. En modo RC la pastilla OSC2 obtiene la cuarta parte de la frecuencia que se introduce por OSC1. que determina el ciclo de instrucción.
- VSS (8-19): Conexión a Tierra.
- VDD (20): Entrada de la alimentación positiva.
- MCLR#/VPP/THV (1): Entrada de RESET o entrada del voltaje de programación o voltaje alto en el modo test.

Puerta A

- RA0/ANO(2): Puede actuar como línea digital de E/S o como entrada analógica al convertor AD (canal 0).
- RA1/AN1 (3): Igual que RA0/ANO.
- RA2/AN2/VREF – (4): Puede ser línea digital de E/S, entrada analógica o entrada del voltaje negativo de referencia.
- RA3/AN3/VREF + (5): Línea digital de E/S, entrada analógica o entrada del voltaje de referencia positivo.
- RA4/TOCKI (6): Línea digital de E/S o entrada del reloj Timer 0. salida con colector abierto.
- RA5/SS#/AN4(7): Línea digital de E/S, entrada analógica como esclavo de la puerta serie síncrona.

Puerta B

- RB0/INT (21): Línea digital de E/S o entrada de petición de interrupción externa.
- RB1 (22): Línea de E/S digital.
- RB2 (23): Línea de E/S digital.
- RB3/PGM (24): Línea digital de E/S o entrada del voltaje bajo para programación.
- RB4 (25): Línea de E/S digital.
- RB5 (26): Línea de E/S digital.
- RB6/PGC (27): Línea digital de E/S. En la programación serie recibe las señales de reloj.
- RB7/PGD(28): Línea digital de E/S. En la programación serie actúa como entrada de datos.

Puerta C

- RC0/T1OSO/T1CK1 (11): Línea digital de E/S o salida del oscilador del Timer 1 o como entrada de reloj del Timer 1.

- RC1/T1OSI/CCP2 (12): Línea digital de E/S o entrada del oscilador del Timer 1 o entrada al módulo Captura2/salida Comparación2/salida de PWM2.
- RC2/CCP1 (13): E/S digital. También puede actuar como entrada Captura1/salida Comparación1/salida de PWM1.
- RC3/SCK/SCL (14): E/S digital o entrada de reloj serie síncrona / salida de los modos SPI e I²C.
- RC4/SDI/SDA (15): E/S digital o entrada de datos en modo SPI o I/O datos en modo I²C.
- RC5/SDO (16): E/S digital o salida de datos SPI.
- RC6/TX/CK (17): E/S digital o patita del transmisor del USART asíncrono o como reloj del asíncrono.
- RC7/RX/DT (18): E/S digital o receptor del USART asíncrono o como datos en el síncrono.

Puerta D

- RDO/PSPO – RD7/PSP7: Los 8 pines de esta puerta pueden actuar como líneas de E/S digitales como líneas para la transferencia de la información en la comunicación de la puerta paralela esclava. Solo están disponibles en los PIC16F874/7.

Puerta E

Sólo tiene tres pines:

- REO/RD#/AN5: E/S digital o señal de lectura para la puerta paralela esclava o entrada análoga (canal 5).
- RE1/WR#/AN6: E/S digital o señal de escritura en la puerta paralela esclava o entrada análoga al convertor A/D (canal 6).
- RE2/CS#/AN7: E/S digital o activación / desactivación de la puerta paralela esclava o entrada analógica (canal 7)

3.1.6 Comunicación de los PIC

La comunicación serie es una forma muy apreciada de transferir datos digitales entre sistemas y circuitos integrados, dada la reducida cantidad de líneas que precisa.

En los PIC16F87x, se ha implementado en el silicio de sus chips MSSP (Master Synchronous Serial Port), que provoca una excelente interfaz de comunicación de los microcontroladores con otros microcontroladores y diversos periféricos, entre los que se destacan las memorias EEPROM serie, los conversores A/D, los controladores de displays, etc. De esta forma, el usuario dispone de algunos pines de la Puerta C, que correctamente programadas sirven para manejar directamente la comunicación serie. Además, el módulo MSSP admite dos de las alternativas más usuales en la comunicación síncrona:

- SPI (Serial Peripheral Interface).
- I²C (Inter – Integrated Circuit)

3.1.6.1 SPI (Serial Peripheral Interface).

La comunicación serie en modo SPI la utilizan principalmente las memorias (RAM y EEPROM) y utilizan tres líneas para llevar a cabo. El modo I²C solo se emplea dos líneas y, recientemente ha conseguido una importante implantación en la comunicación de circuitos integrados, existiendo en el mercado todo tipo de periféricos capaces de trabajar con este protocolo (memorias, controladores, relojes, conversores, etc.)

El **modo SPI** permite la transferencia de datos de 8 bits en serie, que pueden ser transmitidos y recibidos de forma síncrona y simultánea. Para el establecimiento de la comunicación se utilizan tres líneas:

- 1^a SDO (Serial Data Out): Salida de datos en serie.
- 2^a SDI (Serial Data In): Entrada de datos en serie.
- 3^a SCK (Serial Clock): Reloj de sincronización.

Puede ser necesaria utilizar una cuarta línea de control más cuando el PIC que se utiliza trabaja en modo de esclavo. En este caso el pin SS# (selección de esclavo) se debe activar a tierra. En la figura 3.7 se ofrece un esquema de este sistema intercomunicado en modo SPI en el que un PIC actúa como maestro y otros dos como esclavos. Las cuatro líneas que utilizan se corresponden con los pines multifunción RC3/SDO, RC4/SDI, RC5/SCK y RA5/SS#.

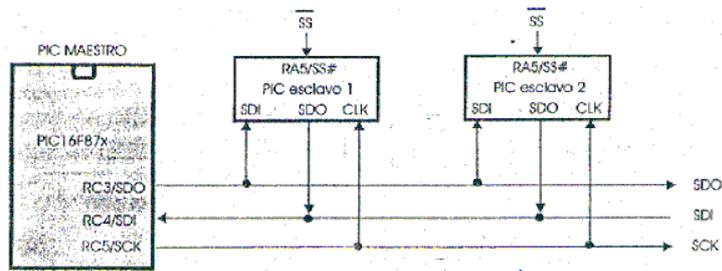


Figura 3.7 Comunicación SPI entre un PIC maestro y otros dos esclavos.

3.1.6.2 I²C (Inter – Integrated Circuit)

El **modo I²C** fue desarrollado por *Philips* para cubrir sus propias necesidades en la implementación de diversos productos electrónicos que requería una elevada interconexión de circuitos integrados. El protocolo I²C utiliza únicamente dos líneas para la transferencia de la información entre los elementos que se acoplan al bus. Una de dichas líneas se dedica a soportar los datos, es bidireccional se llama SDA; la otra lleva los impulsos de reloj para la sincronización, es unidireccional y recibe el nombre de SCL. Los impulsos de reloj siempre los genera el maestro y tienen la función de sincronizar las transferencias con todos los esclavos, colgados a las dos líneas. Figura 3.8

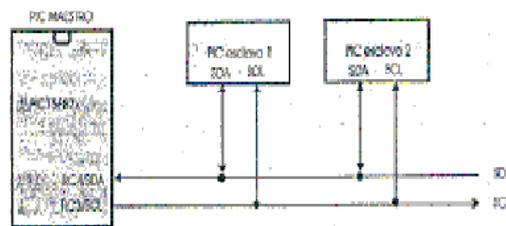


Figura 3.8 El maestro se conecta a todos los esclavos en el bus I²C con sólo dos líneas.

Los PIC16F87x contienen un módulo MSSP con dos puertas para la comunicación síncrona, o sea, con señal de reloj. Además, también disponen de un módulo USART capaz de soportar la comunicación serie síncrona y asíncrona.

3.1.6.3 USART

Llamado SCI (Serial Communications Interfase), puede funcionar como un sistema de comunicación *full duplex* o bidireccional asíncrono, adaptándose a multitud de periféricos y dispositivos que transfieren información de esta forma, tales como el monitor CRT o el ordenador PC. También puede trabajar en modo síncrono unidireccional o *half duplex* para soportar periféricos como maestros, conversores, etc. El USART puede trabajar de tres formas:

- Asíncrona (Full duplex, bidireccional)
- Síncrona – Maestro (Half duplex, unidireccional)
- Síncrona – esclavo (Half duplex, unidireccional)

En esta forma de comunicación serie, se usa la norma RS232C, donde cada palabra de información o dato se envía independientemente de los demás. Suele constar de 8 o 9 bits y van precedidos de un bit de START (inicio) y detrás de ellos se coloca un bit de STOP (parada).

En el protocolo asíncrono RS232C, la frecuencia en baudios (bits por segundo) a la que se realiza la transferencia se debe efectuar a un valor normalizado: 330, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, etc. Para generar esta frecuencia, el USART dispone de un Generador de Frecuencia en Baudios, BRG, cuyo valor es controlado por el contenido grabado en el registro SPBRG.

De los modos de funcionamiento del USART, la comunicación serie asíncrona es la más utilizada. El PIC16F87x incorpora el hardware para comunicación vía RS-232 con un ordenador tipo PC. Para ello, el PC deberá emular un terminal con el software apropiado (Figura 3.9)

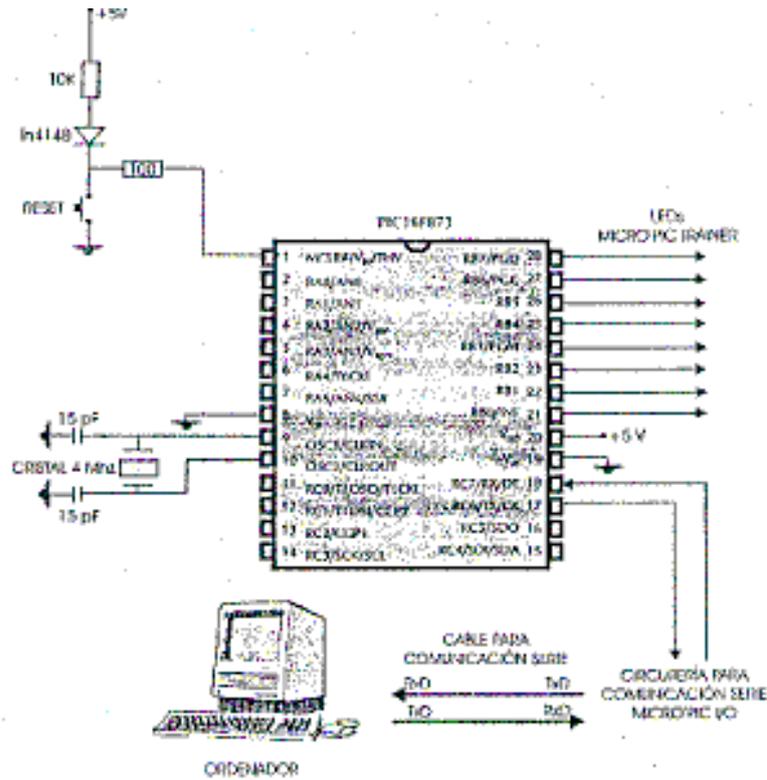


Figura 3.9 Conexión Tipo USART

3.2 Motores Paso A Paso (Pap)

3.2.1. Definición

Los motores paso a paso (PaP, figura 3.10) 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.

Figura 3.10 Motor Paso a Paso

3.2.2 Tipos De Motores Paso A Paso, Funcionamiento Y Características

3.2.2.1 Tipos De Motores, Funcionamiento

Los tipos de motores paso a paso son tres:

De Imán Permanente:

Está formado por un estator de forma cilíndrica, con un cierto número de bobinados alimentados en secuencia, que crean un campo magnético giratorio de manera discontinua. El rotor, concéntrico con el estator y situado sobre el eje, contiene un imán permanente magnetizado, que en cada instante tenderá a alinearse con el campo magnético creado.

Su principal ventaja es que su posicionamiento no varía aun sin excitación y en régimen de carga debido a la atracción entre el rotor y los entrehierros del estator. Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator. Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador (Figura 3.11).

ROTOR

ESTATOR

Figura 3.11 Rotor y Estator de un Motor PaP de Imán Permanente

De Reluctancia Variable.

El estator presenta la forma habitual, con un número determinado de polos electromagnéticos. Sin embargo, el rotor no es de imán permanente sino que está formado por un núcleo de hierro dulce de estructura cilíndrica pero con un cierto número de dientes tallados longitudinalmente a lo largo de su superficie lateral.

Cuando una corriente circula a través del bobinado apropiado, se desarrolla un momento que hace que el rotor gire a la posición en la cual la reluctancia del circuito sea mínima. Cuando se hace pasar una corriente a través de otro bobinado, el punto de reluctancia mínima se genera en otra posición, produciendo el giro del rotor a esa nueva posición.

En los gráficos siguientes (figura 3.12) se muestra un motor de paso a paso de reluctancia variable, constituido por tres devanados, E1, E2 y E3, excitados secuencialmente y por un rotor con cuatro dientes, D1, D2, D3 y D4.

Cuando el primer arrollamiento E1, recibe alimentación, atraerá al rotor hasta que el diente más cercano, por ejemplo, D1, se alinee con el campo. Al llegar la excitación a E2, el diente D2 será el más próximo, con lo que el rotor girará 30° . De la misma forma, con el siguiente impulso aplicado a E3, será el diente D3 el alineado,

girando otros 30°. Al restituir la alimentación a E1, el atraído será D4, con lo que se vuelve a avanzar un ángulo similar a los anteriores.

La principal ventaja es su elevada velocidad de accionamiento. Y su principal desventaja es que en condiciones de reposo (sin excitación) el rotor queda en libertad de girar y, por tanto, su posicionamiento en régimen de carga dependerá de su inercia y no será posible predecir el punto exacto de reposo.

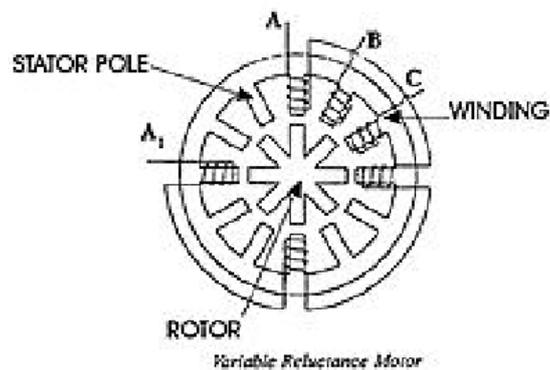


Figura 3.12 Motor Paso a Paso de Reluctancia variable

Híbridos

Son 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. (Figura 3.13)

Se obtienen importantes pares de accionamiento, un gran número de pasos por vuelta y una frecuencia de trabajo elevada.

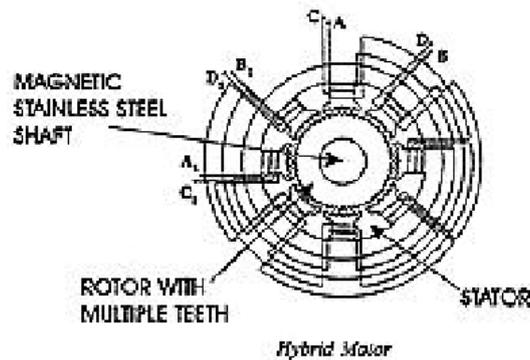


Figura 3.13 Motor Paso a Paso Híbrido

3.2.2.2 Características Mecánicas.

Par Dinámico o de Trabajo:

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 de la carga.

El fabricante ofrece las curvas denominadas de arranque sin error y que relaciona el par en función del número de pasos.

Par de Mantenimiento:

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 Detención:

Es un par de freno que, siendo propio de los motores de imán permanente, es debido a la acción del rotor cuando los devanados estatóricos están desactivados.

Estos momentos se expresan en mili Newton por metro.

Momento De Inercia Del Rotor:

Es su momento de inercia asociado que se expresa en gramos por centímetro cuadrado.

Ángulo De Paso:

Avance angular producido bajo un impulso de excitación, o sea los grados de cada paso.

Números De Pasos Por Vuelta:

Es la cantidad de pasos que ha de efectuar el rotor para realizar una revolución completa.

Frecuencia De Paso Máxima:

Es el máximo número de pasos por segundo que el rotor puede efectuar obedeciendo a los impulsos de control.

3.2.2.3 Características Desfavorables De Los Motores Paso A Paso.

Rango de Velocidad Limitada:

El bobinado del estator constituye una carga inductiva, que limita la velocidad de conmutación de la corriente del bobinado. Además el magnetismo remanente del rotor crea una caída de tensión inductiva que agrava la conmutación.

Estos efectos limitan la máxima velocidad con que el motor puede moverse, pero pueden mejorarse considerablemente utilizando un adecuado control de corriente.

Resonancia:

La característica no amortiguada de un motor paso a paso hace que trabajando con pasos incrementales pequeños el motor se mueva bruscamente. Con cada paso se provoca unas subidas de tensión que se amortiguan poco a poco. Si la frecuencia del paso se hace igual a la frecuencia propia de oscilación del motor, éste inevitablemente, se pondrá en oscilación no amortiguada, con lo cual el eje se moverá enérgicamente en

vaivén. Se han desarrollado dispositivos amortiguadores mecánicos para conseguir un movimiento más suave, pero estas cargas permanentes en el eje hacen, normalmente, que la eficiencia del motor paso a paso, que es de sí muy baja, caiga por debajo de niveles aceptables. La mejora se consigue en un movimiento lineal si la forma de operación es por micro pasos, de forma que puede utilizarse una serie de engranajes para transferir la potencia del motor.

Baja Eficiencia:

Un motor paso a paso activado disipa una gran cantidad de energía en la parte resistiva de los arrollamientos del estator. Si se mantiene estacionario el eje, la resistencia es el factor limitador de la corriente de pérdidas; también el par (momento de torsión) a la velocidad crítica es necesariamente alto. Los circuitos basados en excitación por corriente mejoran la característica dinámica de los estos motores en cierta medida pero, desafortunadamente, las fuentes de corriente lineales tienen un rendimiento francamente bajo. Si se usan fuentes de corriente conmutadas de alto rendimiento, se evita los problemas anteriores. La intensidad que atravesará los arrollamientos del estator es totalmente programable, el diseñador puede conseguir reducir significativamente la disipación total del motor parado.

Resolución Limitada:

Los motores paso a paso se clasifican según el número de pasos que es capaz de dar por revolución (vuelta). Usando el modo de micro pasos, un motor de tipo específico puede, por lo tanto, funcionar mucho mejor de lo que esta especificación indica.

Daremos mayor énfasis a los motores paso a paso del tipo de imán permanente, ya que estos son los más usados en sistemas automáticos y en robótica.

3.2.3 Tipos de Motores de Imán Permanente

Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente:

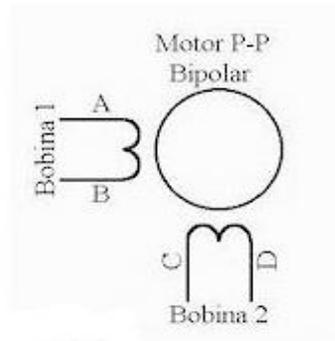


Figura 3.14 Bipolar

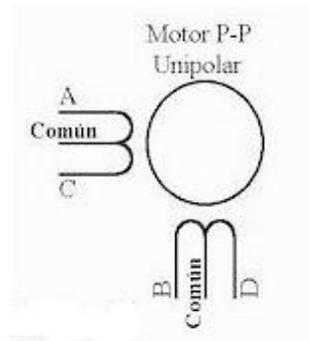


Figura 3.15 Unipolar

3.2.3.1 Bipolar

Estos tienen generalmente cuatro cables de salida (Figura 3.14). Necesitan ciertos trucos para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. En la figura 3.16 podemos apreciar un ejemplo de control de estos motores mediante el uso de un puente en H (H-Bridge). Como se aprecia, será necesario un H-Bridge por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor Paso a Paso de 4 cables (dos bobinas), necesitaremos usar dos H-Bridges. El circuito de la figura 3.16 es a modo ilustrativo y no corresponde con exactitud a un H-Bridge. En general es recomendable el uso de H-Bridge integrados como son los casos del L293 (figura 3.17).

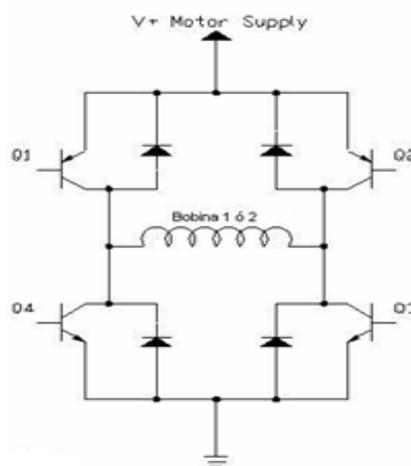


Figura 3.16 Puente en H

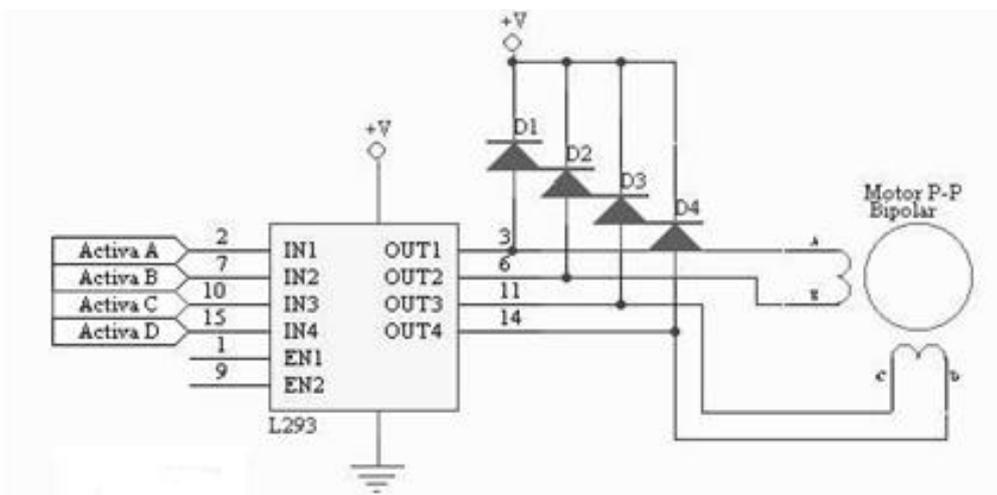


Figura 3.17 Puente H “L293 Integrado”

3.2.3.2. Unipolar

Estos motores suelen tener 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexión interno (figura 3.15). Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar.

En la figura 3.18 se puede apreciar un ejemplo de conexionado para controlar un motor paso a paso unipolar mediante el uso de un ULN2803, el cual es un arreglo de 8 transistores tipo Darlington capaces de manejar cargas de hasta 500mA. Las entradas de activación (Activa A, B, C y D) pueden ser directamente activadas por un microcontrolador.

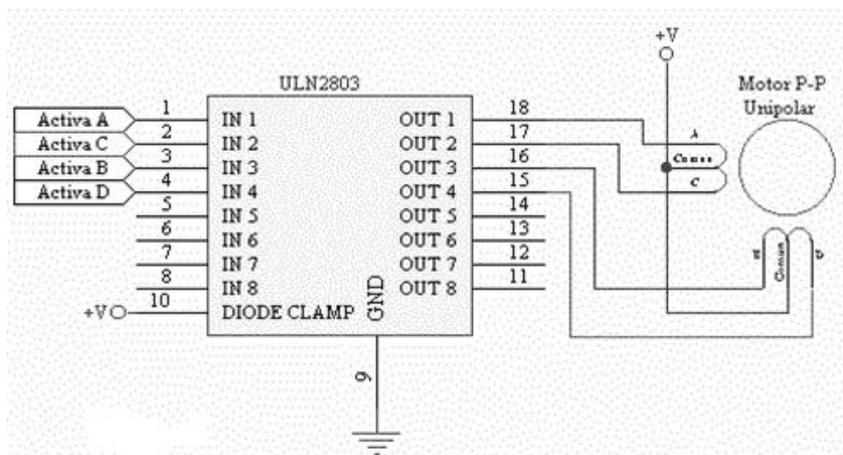


Figura 3.18 Conexionado de Motor PaP Unipolar

3.2.4 Control de Posición y Velocidad de Motores

3.2.4.1 Control de Posición de Motores PaP

El control de posición de los motores paso a paso (PaP), se logra con las secuencias de funcionamiento tanto para motores bipolares como para los unipolares.

Secuencias para manejar Motores Paso a Paso Bipolares

Estos motores necesitan la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida.

A continuación se puede ver la tabla con la secuencia necesaria para controlar motores paso a paso del tipo Bipolares:

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

Secuencias Para Manejar Motores Paso A Paso Unipolar

Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores. Todas las secuencias comienzan nuevamente por el paso 1 una vez alcanzado el paso final (4 u 8). Para revertir el sentido de giro, simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso. Las cuales se detallan a continuación.

Secuencia Normal: Esta es la secuencia más usada y la que generalmente recomienda el fabricante. Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que

siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención.(Figura 3.19)

Figura 3.19 Secuencia Normal de Funcionamiento para Unipolares

Secuencia del tipo wave drive: En esta secuencia se activa solo una bobina a la vez. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave. La contrapartida es que al estar solo una bobina activada, el torque de paso y retención es menor. (Figura 3.20)

Figura 3.20 Secuencia Tipo Wave Drive de Funcionamiento para Unipolares

Secuencia del tipo medio paso: En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma de brindar un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente. Como vemos en la tabla la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4. (Figura 3.21)

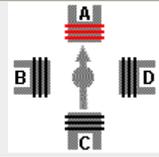
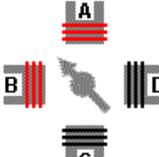
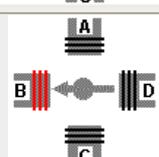
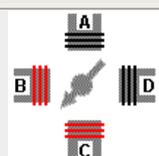
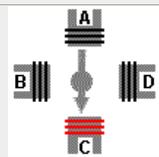
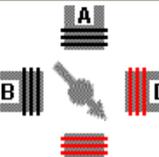
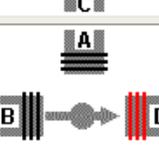
PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	ON	ON	OFF	OFF	
3	OFF	ON	OFF	OFF	
4	OFF	ON	ON	OFF	
5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	



Figura 3.21 Secuencia Tipo Medio Paso de Funcionamiento para Unipolares

3.2.4.2 Control De Velocidad De Motores Pap

Se puede modificar la velocidad de los motores paso a paso variando el tiempo de transición entre paso y paso.

Generalmente la velocidad de los motores PaP, siempre va relacionado con el Torque dinámico o de trabajo del motor, se observa en la siguiente gráfica (figura 3.22(a)), en ésta las características del Torque *Pull In* de un motor paso a paso demuestra la habilidad del motor de arranque sin error y que nos es otra cosa que la relación entre el par en función del número de pasos; en cambio las características de de la curva de Torque *Pull on* muestra la habilidad del motor en mantener su rotación en un valor de torque particular sin pérdida de sincronización.

El parámetro principal que gobierna la curva torque – velocidad es la relación L/r de los devanados. Donde (L) es la inductancia y (r) es la resistencia que decide la máxima frecuencia de operación del motor, donde la ecuación:

$$r = r(\text{devanado}) + r(\text{externa}); \text{ determina la resistencia total del devanado.}$$

Incrementando r por introducción de resistencias externas conectadas en serie con los devanados principales tiene un efecto de desplazar la curva *pull-out* a la derecha, sin embargo esto permite que la velocidad del motor se incremente, mientras que el valor del torque reduce. El motor puede perder velocidad e incluso pararse completamente entre un rango mínimo y máximo de pulsos, o relaciones de velocidad aplicadas al motor. A estos puntos u oscilaciones creadas en las corrientes de los devanados dan como resultado la desestabilización del motor. Estos puntos se hallan divididos en áreas de frecuencia baja, media y alta (Figura 3.22 (b)). Estas frecuencias de resonancias aparecen un cualquier controlador usado para un motor particular. Para evitar estos

puntos resonantes por lo general se acopla un amortiguador mecánico acoplado al eje del motor.

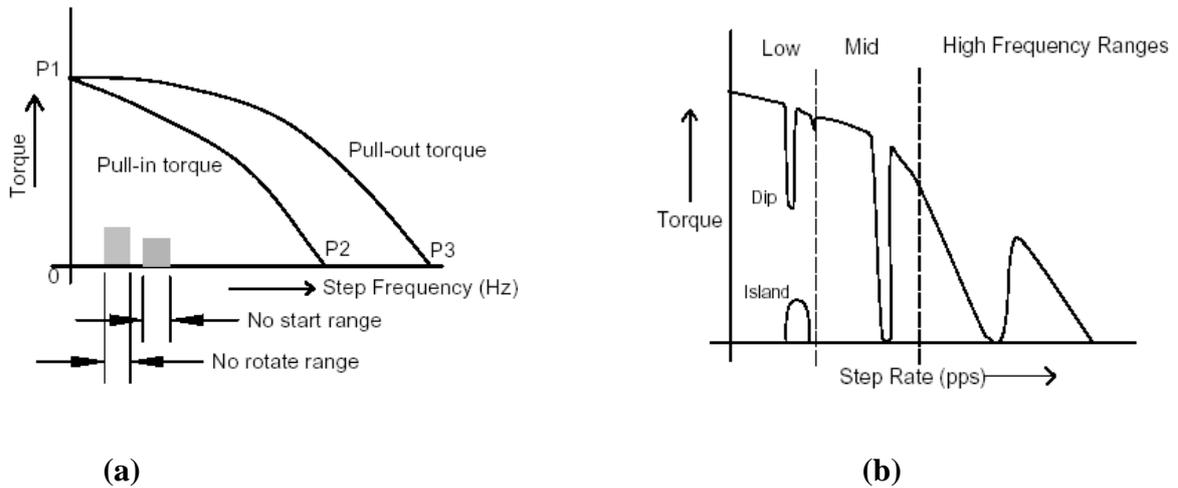


Figura 3.22 Características Torque vs. Velocidad de un Motor Paso a Paso

Cabe destacar que debido a que los motores paso a paso son dispositivos mecánicos y como tal deben vencer ciertas inercias, el tiempo de duración y la frecuencia de los pulsos aplicados es un punto muy importante a tener en cuenta. En tal sentido el motor debe alcanzar el paso antes que la próxima secuencia de pulsos comience. Si la frecuencia de pulsos es muy elevada, el motor puede reaccionar en alguna de las siguientes formas:

- Puede que no realice ningún movimiento en absoluto.
- Puede comenzar a vibrar pero sin llegar a girar.
- Puede girar erráticamente.
- Puede llegar a girar en sentido opuesto.

Para obtener un arranque suave y preciso, es recomendable comenzar con una frecuencia de pulso baja y gradualmente ir aumentándola hasta la velocidad deseada sin superar la máxima tolerada. El giro en reversa debería también ser

realizado previamente bajando la velocidad de giro y luego cambiar el sentido de rotación.

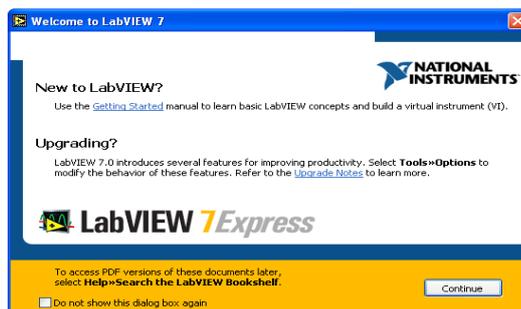
3.3 Software De Interfase

3.3.1 Mastercam



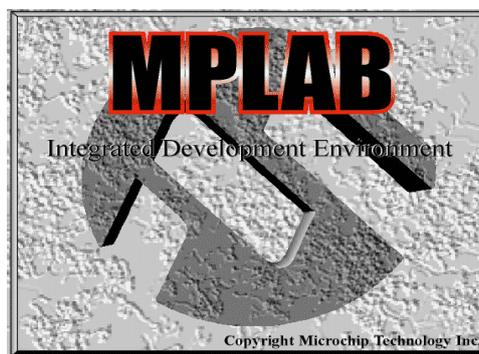
Mastercam es un software CAM (Manufacturación Asistido por Computador), que permite realizar diseños gráficos profesionales que van a ser fabricados por una máquina CNC. Las características más importantes de este software se indican en el Anexo A:A

3.3.2 Lab View



El LabView es un lenguaje de programación de alto nivel, de tipo gráfico, y enfocado al uso en instrumentación. Pero como lenguaje de programación, debido a que cuenta con todas las estructuras, puede ser usado para elaborar cualquier algoritmo que se desee, en cualquier aplicación, como en análisis, telemática, sets, manejo de textos, etc. En el Anexo A. B se presenta un resumen de la potencialidad de Lab View.

3.3.3 Mplab



EL MPLAB es un “Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) que corre en Windows”, mediante el cual se puede desarrollar aplicaciones para los microcontroladores de las familias PIC 16/17.

EL MPLAB permite escribir, depurar y optimizar los programas de sus diseños con PIC 16/17. EL MPLAB incluye un editor de texto, un simulador y un organizador de proyectos. Además, el MPLAB soporta el emulador PICMASTER y a otras herramientas de desarrollo de Microchip como el PICSTART - Plus. Las características más importantes de este software se indican en el Anexo A.C.

3.4 Sistema De Coordenadas y Movimientos Para La Taladradora CNC

3.4.1 Datos Cad /Cam

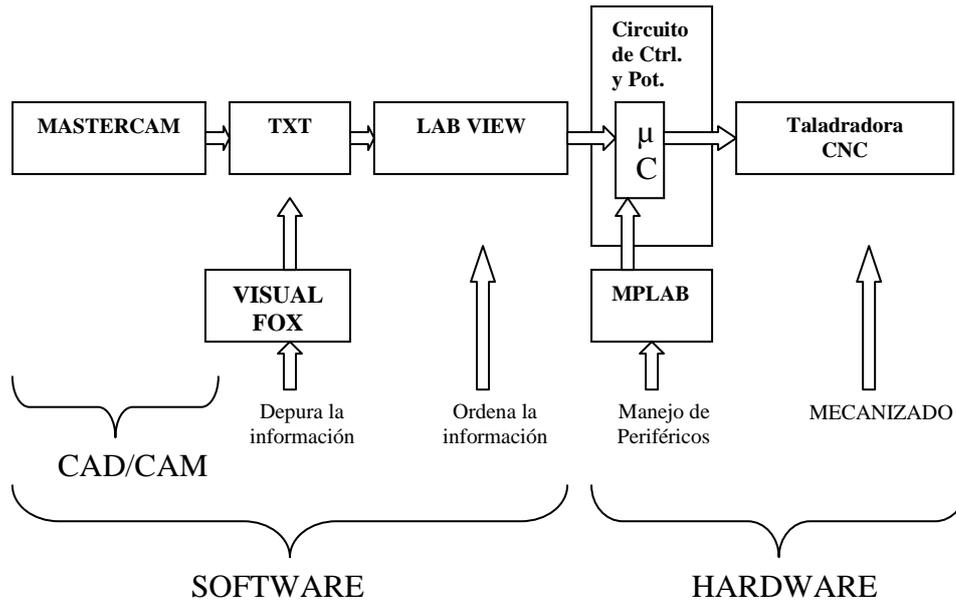


Figura 3.23 Diagrama de bloques del control CAD/CAM de la Taladradora CNC

En la Figura 3.23 se puede observar a manera de bloques como se ha dispuesto el control CAD / CAM para la Taladradora CNC, a continuación se procede a realizar una explicación más detallada de lo que consiste cada uno de estos bloques:

El MASTERCAM es la herramienta informática en la cual se realiza el diseño gráfico (CAD), se selecciona las operaciones, las medidas generales del material, las herramientas, para que una vez que se ingresa a la opción *Toolpath*, ésta proporcione las instrucciones para el tipo de manufactura como las que normalmente se emplea: Drill, Contour, Operations y Job Setup. Dentro de esta opción se ingresa a *Operations*, la misma que servirá para seleccionar una o todas las actividades generadas en el diseño, regenerar las operaciones, verificar su operación en forma simulada (*Verify*) y la opción que será de suma importancia como es *Post*; aquí se optará por NCI file, se hará click en Save NCI y en Edit, para finalmente obtener programa de codificación que corresponden al diseño (CAM).

Una vez obtenida la codificación del diseño gráfico, debido a la abundante información que existe en la misma, se procedió a depurarla, es decir seleccionar la información exclusiva en lo referente a coordenadas (x, y, z) y almacenar en un bloque

de notas en tres columnas, cabe resaltar que cada vez que se produce un cambio de operación automáticamente se genera la coordenada 0, 20, 10 para lograr que el microcontrolador genere una pausa y permitir el cambio de útil correspondiente, esto se lo realiza en el Lenguaje de programación *Visual Fox*.

Una vez depurada la información y almacenada en un archivo TXT, ésta es llevada al algoritmo elaborado en el programa de Instrumentación Virtual “Lab View”.

3.4.2 Enlace Con Lab View

El Algoritmo desarrollado en Lab View, tiene como finalidad la de leer cada una de las coordenadas (x, y, z) obtenidas de la codificación anterior (*.txt), corregir los desplazamientos, seleccionar el sentido de giro, cambiar el valor de unidades de longitud del diseño de la pieza a construir a valores de pulsos para los tres motores paso a paso que se emplearán, y finalmente enviar la información a través del puerto serial al Microcontrolador PIC 16F877.

A continuación se detalla el proceso de trabajo de cada uno de los Sub Vi's que constan en la programación. Figura 3.24

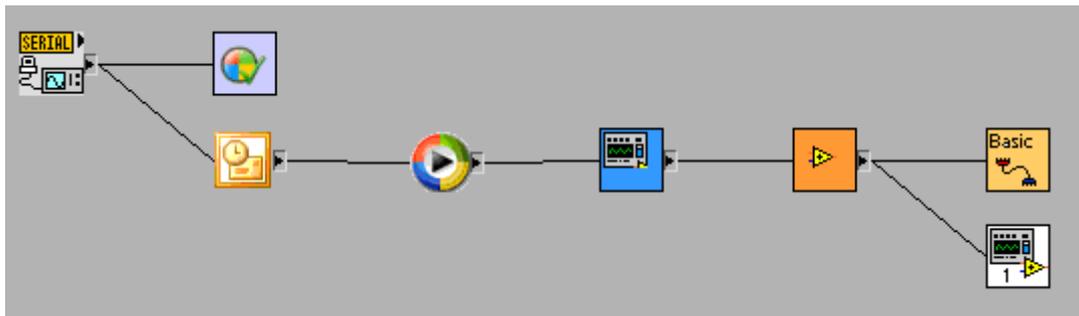


Figura 3.24 Diagrama de flujo de Sub VI de Lab View



Completo.- El propósito de este Sub VI es obtener los datos desde la tabla *.txt y convertirle en una matriz. Además este le contiene al de Coordenadas Corregidas y al de Coordenadas X, Y, Z.



Coordenadas Corregidas.- De la información que se obtiene del Sub VI anterior, se utiliza arreglos para desglosar la información tanto en x, y, z, luego restarle el valor de cada fila anterior en forma independiente, para finalmente insertarle los valores de las tres coordenadas corregidas en un solo arreglo.



Coordenadas x,y,z.- Utilizando arreglos, se separa la información de cada posición (x,y,z) obtenida del Sub VI anterior, con la finalidad de enviar la información en forma ordenada y secuencial de cada coordenada al siguiente Sub VI.



Arreglo de datos.- En función del tamaño del arreglo, se usa un lazo FOR con la finalidad que los datos obtenidos de cada coordenada, vayan en forma de arreglo para su discriminación y cálculo de pulsos.



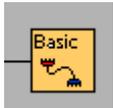
Pulsos.- - En esta posición todos los valores de x, y, z se obtienen su valor absoluto, al mismo tiempo se envía a comparar los números negativos, con la finalidad de darle el tratamiento adecuado a esta información para conseguir el sentido de giro adecuado de los motores PaP; una vez obtenido el valor absoluto del dato, éste es multiplicado por 100, valor obtenido de la razón existente entre el número de grados necesarios para dar una revolución y el paso en mm de los husillos (x ,y, z) de la máquina taladradora (1.8 grados /pulso, paso del husillo 2mm).



Envío de datos en paquetes.- La información que se obtiene del cálculo de pulsos y comparación para el sentido de giro, aquí es tratada en forma adecuada. Del valor absoluto, se convierte de numérico a booleano con la finalidad de poder facilitar el envío de información agregado la selección de giro (izq der.vi), para que por medio de una estructura secuencial enviar la información en dos paquetes de 8 bits, hacia el puerto serial.



Izq der.- El propósito de este sub vi es el de agregar un cero o un uno (empleando una estructura CASE) al bit más significativo del paquete que lleva la información de cada una de las coordenadas, se ha seleccionado que su suma se la haga en decimal para luego convertirla en booleano. Luego la información empaquetada con el respectivo sentido de giro, es separada en dos bytes para nuevamente enviarla al sub vi de envío de paquetes en datos, para que ésta ingrese a una estructura de secuencia y la información sea enviada al siguiente sub vi.



Envío de datos a puerto serial .- De la información enviada del izq der.vi en forma secuencial, se convierte a datos String para ser escrita en el *Write Buffer* (Visa Write) además a este icono le llega la información del *Visa Configure Serial Port*, cuya configuración especialmente el *Baud Rate*, data bit y el *Flow Control* está dada por defecto. Es importante anotar además que para concluir la configuración del puerto serial hay que agregar un *Visa Close* conectado con el *Visa Write* a través de su dup *Visa Resource Name* y su Terminal de error out con el error in.

CAPITULO 4

DISEÑO DE LA MÁQUINA

4.1 Lista De Funciones Del Diseño:

- Elaborar el CAD
- Transformar el CAD a CAM
- Enviar el CAM al microcontrolador
- Enviar la información del microcontrolador a los motores
- Mover los motores en sentido horario u antihorario
- Mover los tornillos de transmisión de movimiento
- Desplazar a las mesas en las direcciones: longitudinal (mesa “x”), transversal (mesa “y”) y vertical (mesa “z”).

4.2 Especificaciones De Diseño:

- Es CAD y la transformación a archivos CAM, se podrá elaborar mediante Software “MASTERCAM”
- La depuración de la información será realizada en “VISUAL FOX”.
- El corregimiento de la información, discriminación del sentido de giro, cambio de mm a pulsos y envío de la información por el puerto serial.
- Se usará un protocolo de comunicación RS232 para comunicarse con el Microcontrolador previa la conversión de RS232 a TTL en el MAX232.
- El microcontrolador será el encargado de controlar los periféricos de la máquina taladradora.
- Los motores que se emplearán serán paso a paso, elegidos por su bajo costo, posicionamiento y velocidad exacta y su sencillez en el control sin necesidad de realimentación o lazo cerrado.
- Los tornillos para transmisión de movimiento, serán de rosca trapezoidal, los mismos que son recomendados para este efecto y el paso deberá ser fino para asegurar precisión en el mecanizado.
- Los tornillos desplazarán tres mesas para los movimientos en el espacio x, y, z.

- La máquina deberá ser de constitución robusta para evitar vibraciones y que proporcione corte exacto y dimensiones precisas en el mecanizado, pero al mismo tiempo no resulte pesada para su transportación.

4.3 Diseño Del Sistema Mecánico

4.3.1 Diseño De La Estructura Mecánica De La Máquina

Se empezará por diseñar la estructura de la máquina considerando el tamaño y la necesidad de desplazamiento en los tres ejes x, y, z

Recorrido longitudinal en $X = 140$ mm

Recorrido transversal en $Y = 160$ mm

Recorrido vertical $Z = 70$ mm

Superficie útil de la mesa longitudinal $a*b = 120*230 = 2.76*10^4 \text{ mm}^2$.

Superficie útil de la mesa longitudinal $a*b = 120*190 = 3.99*10^4 \text{ mm}^2$.

Superficie útil de la mesa longitudinal $a*b = 120*110 = 1.32*10^4 \text{ mm}^2$.

Longitud del eje X $x+a = 140+120 = 260$ mm

Longitud del eje Y $y+b = 160+190 = 350$ mm

Longitud del eje Z $z+b = 70+110 = 180$ mm

Ahora se seleccionará el material para la estructura, considerando que debe ser robusta y liviana al mismo tiempo, de fácil soldabilidad y mecanizabilidad, se elige **tubo estructurado cuadrado Tipo ASTM A36K**, disponible en el mercado y a bajo costo.

El *ASTM A36K* tiene un punto mínimo de deformación de 36000 PSI (248 mPa) y es en extremo dúctil, es un acero al bajo carbono rolado en frío, disponible en el mercado en forma de tubo estructural cuadrado en dimensión ≥ 1 ".

Será necesario entonces establecer las necesidades de movimiento en el espacio x, y, z, tanto de la pieza como de la herramienta para obtener la forma final de la estructura.

- Las taladradoras convencionales son de mesa móvil en la cual la pieza a mecanizar se mueve en los x , y , la herramienta en el z .(Figura 4.1)

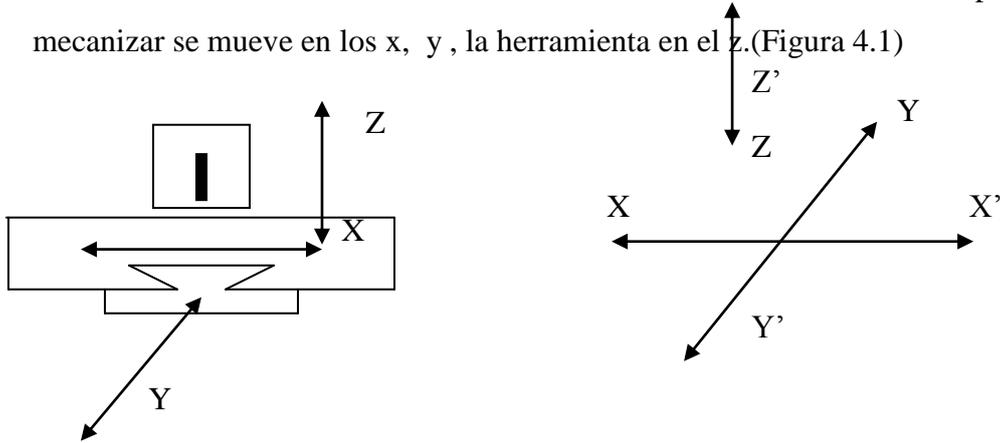
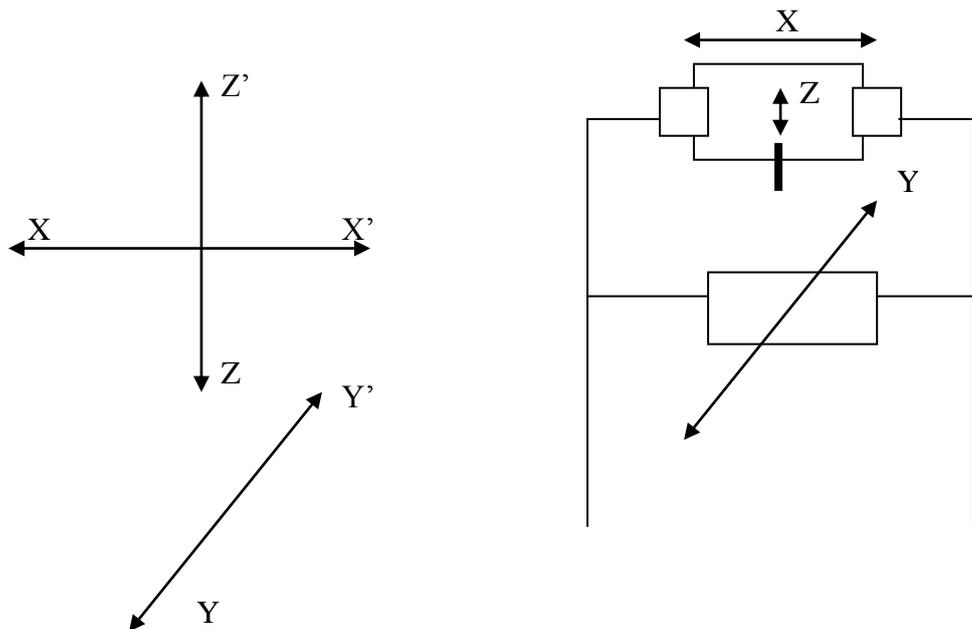


Figura 4.1 Mesa Convencional, movimiento de material en X , Y .

Para que pueda desplazarse X sobre Y se dispone de guías en forma de cola de milano que asegura el paralelaje de mecanizado pero tienen el inconveniente de su elevada fricción por su gran superficie de contacto, evita vibraciones, los motores para este caso deben ser de un par de arranque elevado para vencer la fricción inicial y producir el corte. Para el proyecto de estudio no será útil.

- Se debe pensar en una estructura en la cual la mesa se desplace en dirección a un solo eje x ó y , y la herramienta se poseione en el sentido de los ejes restantes, así tenemos (Figura 4.2)



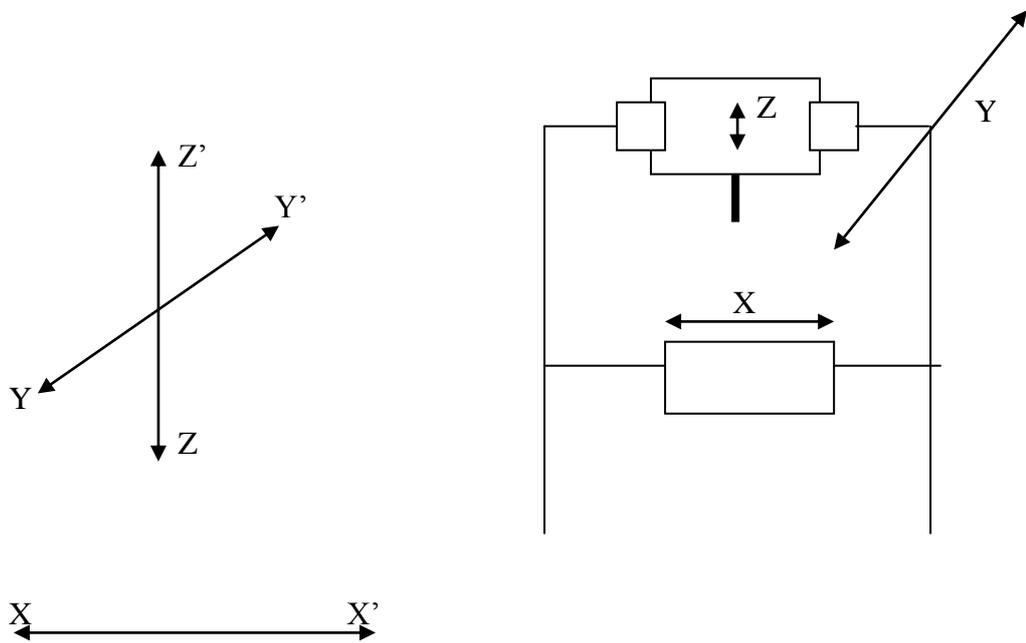
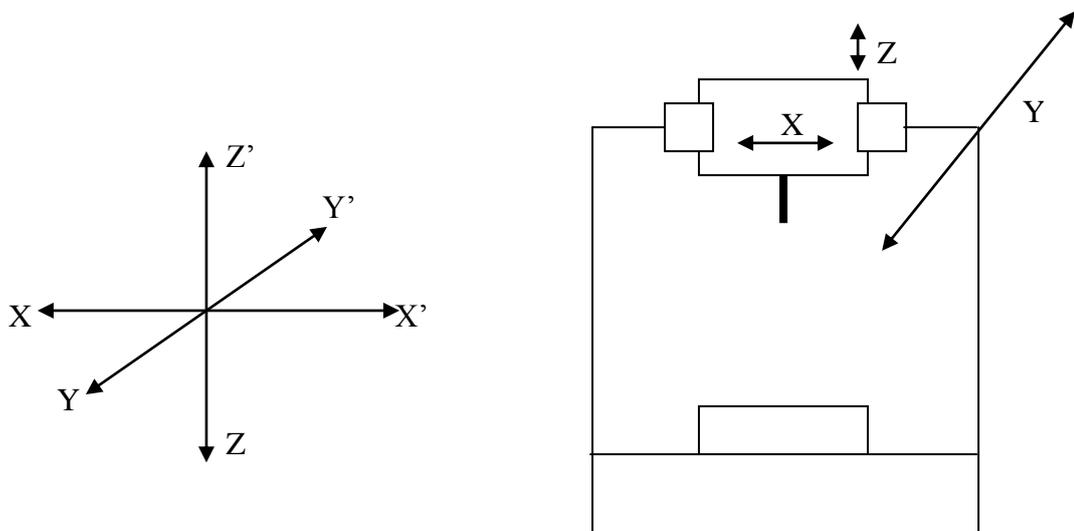


Figura 4.2 Desplazamiento de la mesa en dirección X o Y.

- No se podría descartar la posibilidad de que la mesa permaneciera fija y sea como base de la máquina y la herramienta se posesionará en los tres ejes.



Analizando las estructuras anteriores con sus ventajas y desventajas se elige finalmente la estructura (Figura 4.3) que a continuación se detalla:

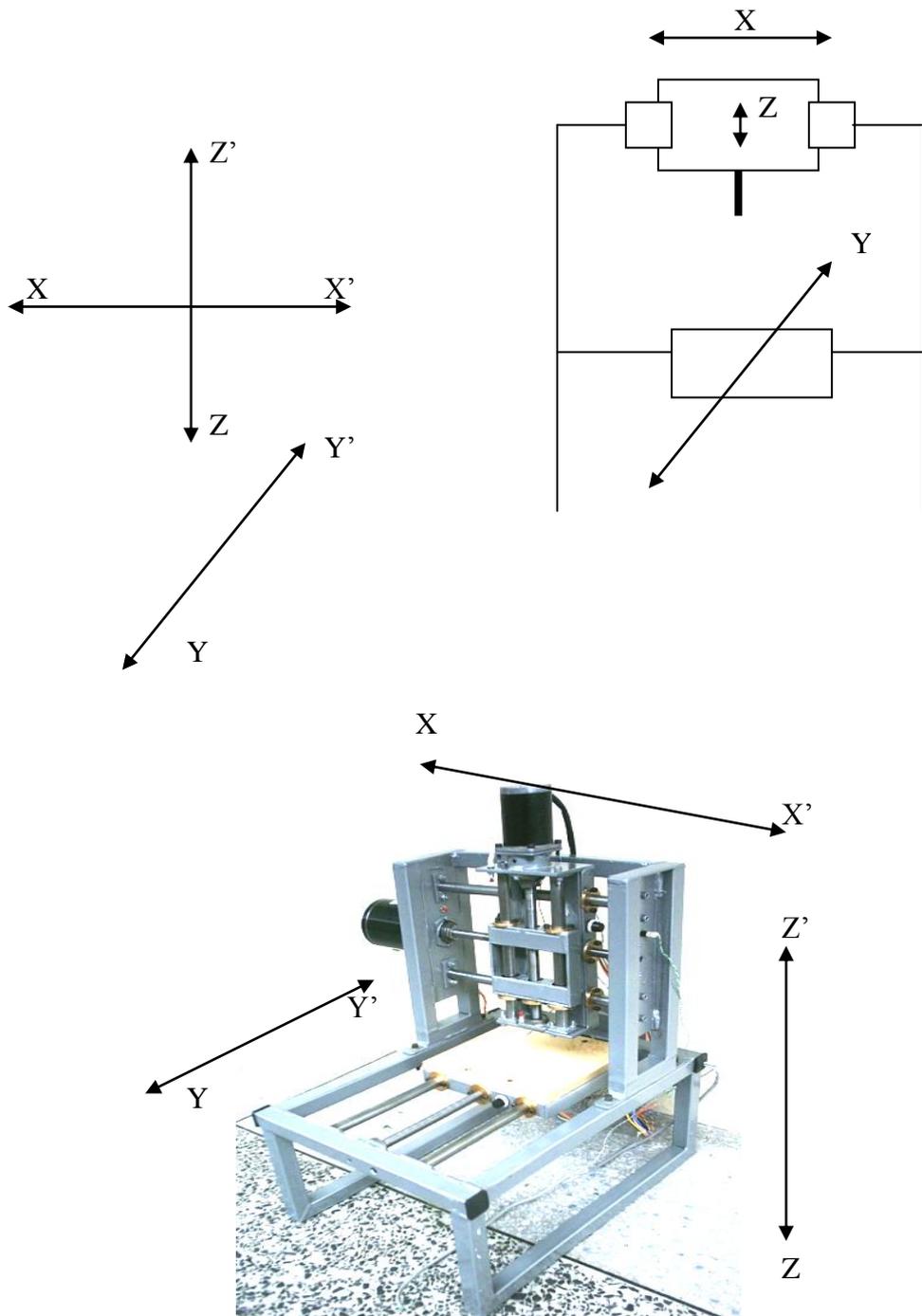


Figura 4.3 Mesa Convencional, movimiento de material en Y, y la herramienta en X y Z.

Resta diseñar cada elemento en forma independiente.

La estructura horizontal de la máquina es cerrada y únicamente cumple la función de soporte para la estructura vertical y soporte para las guías de la mesa (Figura 4.4). Las cargas de compresión estáticas serán nada más que el peso de la estructura vertical que es de 40 lbs., tendrá 0° de libertad. Para esta estructura las tensiones y las deformaciones son prácticamente despreciables y no es necesario hacer cálculos, sin embargo se establece la sección mínima de la estructura.

$$F1 = \frac{Fb}{a+b} = \frac{20(122)}{286+122} = 5.98lb.$$

$$F2 = \frac{Fa}{a+b} = \frac{20(286)}{286+122} = 14.02lb$$

$$\text{Factor.de.seguridad.n} = 2 \therefore F1 = 11.96lb$$

$$M_{\text{máx}} = F1 = \frac{Fba}{a+b} = 11.96lb * \frac{286mm}{25.4mm} * 11p\lg.$$

$$M_{\text{máx}} = 134.67lb.p\lg$$

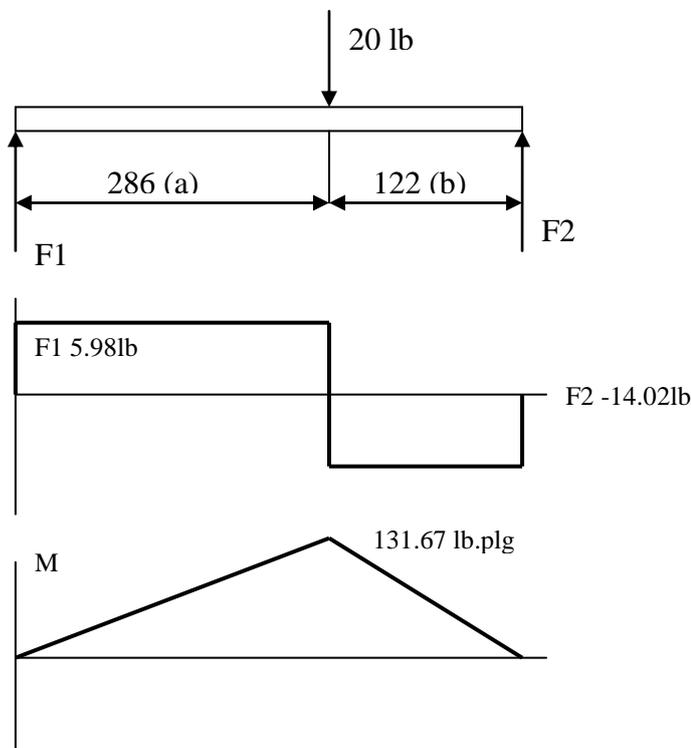


Figura 4.4 Diagrama de Fuerzas y momentos en la estructura vertical y soporte para las guías de la mesa.

El coeficiente de sección será:

$$Z = \frac{Mp}{\Gamma d} = \frac{134.67lb \cdot plg \cdot plg^2}{1000lb} = 0.135plg^3$$
$$Tensión.de.diseño.\Gamma d = 1000lb/plg^2$$

De las propiedades de tubería estructural el coeficiente estructural Z para una tubería de 1*1*1/8 "es 0.383 plg³ comparado con nuestro resultado 0.135 plg³, esta por demás sobredimensionado ya que como se dijo en el mercado existe tubo estructural >= 1".

Este mismo análisis sirve para la estructura vertical.

4.3.2 Mesas De Coordenadas

Para que se desplacen las mesas o carros en los ejes x, y, z será necesario establecer métodos de desplazamiento, uno de ellos ocupado en la actualidad en máquinas CNC, que son los husillos de bolas que permiten transmitir grandes fuerzas con mínima fricción, pero el inconveniente es su elevado costo, por ejemplo una mesa con husillos de bolas de dimensiones reducidas su costo es de alrededor 5000 euros, por ello descarta ésta posibilidad.

El siguiente sistema sería mediante guías deslizantes con bocines de bolas de desplazamiento lineal, el inconveniente de estos es que no existe en nuestro país y se fabrican bajo pedido en grandes cantidades.

Finalmente luego del análisis anterior, las mesas se desplazarán sobre guías cilíndricas con bocines y su desplazamiento dependerá de un husillo de rosca trapezoidal.

*El material de la estructura de la mesa será el mismo empleado en la estructura del bastidor de la máquina (Figura 4.5) es decir **tubo estructural cuadrado de 1" Tipo A36**, esto es por estética.*

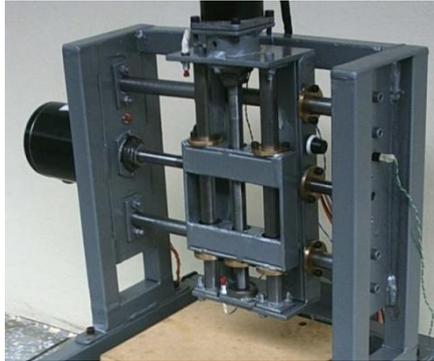


Figura 4.5 Mesa de coordenada “x”, tubo estructural cuadrado

Esta mesa da movimiento forma longitudinal a la Máquina Taladradora. Es la encargada de transmitir el movimiento que se generó y se direccionó para el eje X, además sobre el husillo y los dos ejes guías que transmite el movimiento se ha acoplado tanto la mesa de Coordenada Z como el motor dc del Cabezal Taladrador.

4.3.3 Flechas o Ejes Guías

Se escogerá para su diseño los ejes guías de la estructura vertical (Figura 4.6 / 4.7) correspondiente al carro longitudinal en dirección “x”.

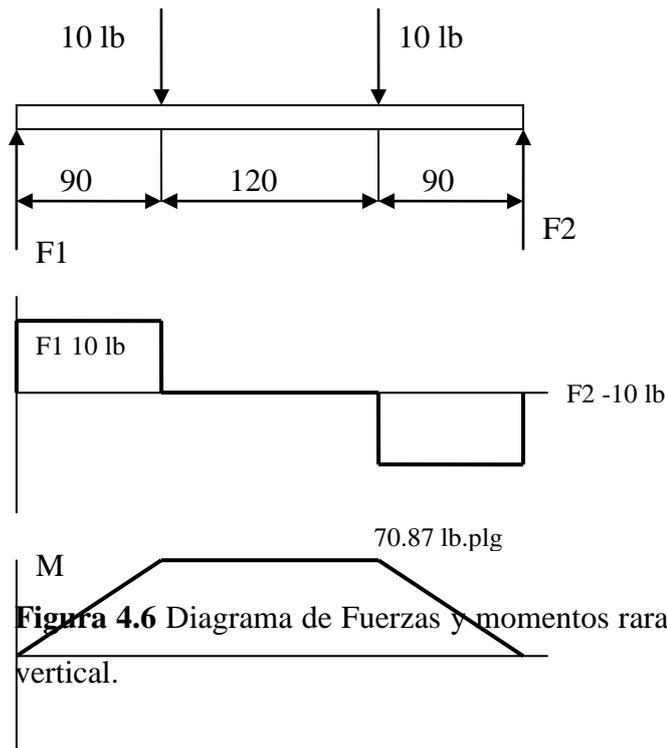


Figura 4.6 Diagrama de Fuerzas y momentos para los ejes guías de la estructura vertical.

$$\Gamma_{\text{máx}} = \frac{4V}{3A} = \frac{4(10)}{3 * \frac{\pi(16)^2}{4}} = \frac{40}{603.18} = 0.0066 \text{ lb/mm}^2$$

$$\Gamma_{\text{máx}} = 0.0066 \text{ lb/mm}^2 * 25.4 \text{ mm}^2 / 1 \text{ plg}^2 = 42.78 \text{ PSI}$$

Si se considera un factor de seguridad $n=2$ y una resistencia a la fluencia de $S=40\text{PSI}$

La tensión por esfuerzo de corte que soporta el material será:

$$\Gamma_p = \frac{S}{2} = \frac{40 \text{KPSI}}{2} = 20 \text{KPSI}$$

Si se compara la $T_{\text{máx}}$ debido a la carga y T_p permisible debido al material está completamente sobredimensionado.

El momento de flexión permisible será:

$$Fp_1 = F_1 * n = 10 * 2 = 20lb.$$

$$Fp_2 = F_2 * n = 10 * 2 = 20lb$$

$$Mp = F * a = 20lb * 90mm * \frac{1plg}{25.4mm} = 70.87lb.plg$$

El.esfuerzo.permisible.será :

$$\Gamma p = \frac{Mp}{I/C} = \frac{32Mp}{\pi d^3}; \Gamma P = \frac{S}{ns}$$

por.lo.tanto.el.diámetro.deberá.ser :

$$\frac{S}{ns} = \frac{32Mp}{\pi d^3}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32Mp.ns}{s.\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 70.87 * 2}{40 * 10^3 * \pi}} = 0.33plg.$$

$$d = 0.33plg = 8.33mm$$

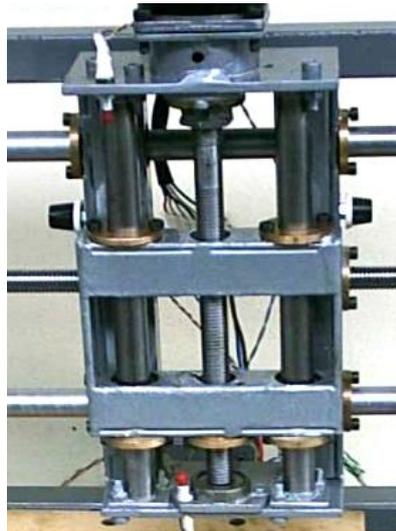


Figura 4.7 Estructura vertical, mesa de coordenada “Z”

Pero en el mercado no existe tal diámetro; por lo tanto, se escoge un diámetro de 16mm. Para el diseño de los ejes guías, para los carros: transversal y vertical se procede de la misma manera y se elige el mismo diámetro para todas las guías.

El material de las guías cilíndricas debido a que estará a la intemperie será un *acero plata* (Figura 4.8) ya que el acero inoxidable en nuestro país está escaso por esta temporada y los pocos existentes son de diámetro ≥ 1 ".



Figura 4.8 Flechas o ejes guías

4.3.4 Tornillo De Transmisión De Movimiento

Para el diseño del tornillo de transmisión de movimiento, se centraliza la atención en la mesa de coordenada “y” (Figura 4.9). Del cálculo anterior se establece un diámetro mínimo de 12mm para la flecha, elegimos la rosca trapezoidal TPN 12*2 H4/h4-L normalizada según ISO para el tornillo de desplazamiento (Figura 4.10)

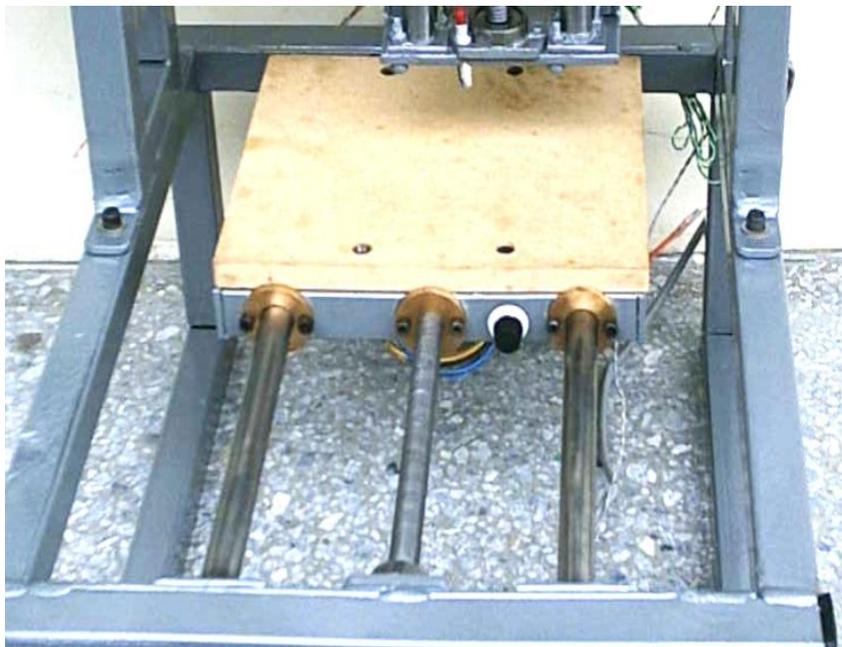


Figura 4.9 Mesa de coordenada “y”

Para diseñar el tornillo deberá considerarse la fuerza necesaria para realizar el corte y la fuerza para mover la estructura que soporta el motor, por lo tanto:

$F_e = 20\text{lb}$ = fuerza para mover la estructura del cabezal taladrador

$F_c = T_c \cdot A_c$ = esfuerzo cortante del material a mecanizar * el área de corte

Si se considera las aleaciones ligeras como el aluminio para el mecanizado un diámetro máximo de la herramienta de 5.5mm y un avance de 2 mm/rev, el esfuerzo cortante será:

$$T_c = 0.5T_T = 0.8 * 6 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 4.8 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

El área de corte será:

$$A_c = \frac{5 * d}{2} = \frac{2\text{mm} * 5.5\text{mm}}{2} = 5.5\text{mm}^2$$

Por tanto

$$F_c = 4.8 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} * 5.5\text{mm}^2 = 26.4\text{kg} * \frac{\text{Lb}}{0.454} = 58.15\text{Lb}$$

La fuerza total será:

$$F_T = F_c + F_e = 58.15 + 20 = 78.15\text{lb}$$

Si se considera la tensión admisible $T_d = 1000\text{lb/plg}^2$, el área necesaria para el tornillo deberá ser:

$$T_d = \frac{F}{A} \therefore A = \frac{F}{T_d} = \frac{78.15\text{lb}}{1000 \text{ lb/plg}^2} = 0.078 \text{ plg}^2.$$

Que corresponde a un tornillo trapezoidal 7/16", cuya área de tensión por esfuerzo de tracción es 0.097plg² pero como se dijo anteriormente el material a utilizar será acero plata cuyo diámetro mínimo existente en el mercado es 12mm que corresponde a un área de tensión por esfuerzo de tracción de 0.122 plg² por lo que está por demás justificado las dimensiones del tornillo TPN 12*2 H4/h4-L, la clase de tolerancia H4/h4 para el acoplamiento (tuerca-tornillo), el paso y la longitud de la turca fueron elegidos lo más fino posible según la INEN 514, 515 y 516, para asegurar la precisión en el desplazamiento reduciendo los juegos.

El torque que se requiere para hacer girar el tornillo está dado por:

$$T = \frac{F * De}{2} * \left[\frac{p + \pi * f * De}{\pi * De - f * p} \right]$$

Donde:

De= diámetro exterior del tornillo

f = coeficiente de fricción

p = paso del tornillo, para nuestro caso:

De= 12mm, p= 2mm, f= 0.15

Por lo tanto:

$$T = \frac{18.15lb * 12mm}{2} * \left[\frac{2mm + \pi * 0.15 * 12mm}{\pi * 12mm - 0.15 * 2mm} \right]$$

$$T = 96lb * mm * \frac{1plg}{25.4mm} * \frac{16onz}{1lb} = 60.5onz * plg$$

Que es el torque que se necesita para la fricción entre el tornillo y la tuerca, a más del torque que se requiere para mover la carga:

La potencia necesaria para impulsar el tornillo será:

$$P = T * n = 96Lb * mm * 150 \frac{1}{mm} * \frac{0.454 Kg}{1lb} * \frac{9.8N}{1Kg} * \frac{1m}{1000 mm} * \frac{1min}{60seg} =$$
$$P = 1.1watt.$$



Figura 4.10 Husillo patrón

4.3.5 Tuercas y Bocines

El material empleado tanto para las tuercas como para los bocines será de bronce fosfórico, bien difundido por sus propiedades de deslizamiento, resistencia al desgaste y resistencia a la corrosión.

Las tuercas cumplen la función de acoplar las mesas con los husillos. A parte de transportarlas tienen la finalidad de brindar la precisión a través de la tolerancia de construcción básicamente en el cambio de sentido de giro de los motores PaP.

La figura que se muestra a continuación da una idea concreta de cómo se diseñó y construyó estas tuercas. (Figura 4.11)



Figura 4.11 Tuerca con Rosca Trapecial

Para el acoplamiento de las tuercas. En primer lugar nos garantizó el ajuste entre el diámetro externo de la tuerca con el agujero realizado en la mesa, además para lograr mayor firmeza se sujeta a los lados de las tuercas con pernos M4.

Los bocines, tiene como objetivo acoplar las mesas con los ejes guías. La figura que se muestra a continuación da una idea concreta de como se diseñó y construyó estos bocines. (Figura 4.12)



Figura 4.12 Bocines de Bronce

El acoplamiento de los bocines garantizó el ajuste entre el diámetro externo de el bocín con el agujero realizado en la mesa, además para lograr mayor firmeza se sujeta a los lados del bocín con pernos M4.

4.3.6 Chumaceras

Estos elementos tienen como principal finalidad, el de servir de apoyo para los extremos de los husillos patrones, así como también garantizar un movimiento suave y seguro de las mesas para cada una de las coordenadas. Para las chumaceras se seleccionó rodamientos para cargas axiales, debido a que se va a producir esfuerzos o cargas axiales tanto en el cambio de sentido de giro como en las operaciones de *contour*.

La figura que se muestra a continuación da una idea concreta de cómo se diseñó y construyó las chumaceras.(Figura 4.13)



Figura 4.13 Chumacera

El momento de flexión máximo al que va estar sometido este tipo de elementos es el mismo que soportará las flechas o ejes guías, es decir 70.87 lb.plg. Por lo tanto el material que se seleccionó para la construcción de elemento fue un acero ST 70.

En el acoplamiento de la chumacera su pista se la soldó a una plancha de 3/16" de ST 37, la misma que le sirve de apoyo, así como también para acoplar este elemento a la estructura principal.

4.3.7 Bases Soportes Para Los Motores PaP

Al igual que en caso anterior el momento de flexión máximo al que va a estar sometido es de 70.87 lb.plg, por lo tanto el material que se seleccionó para la construcción de elemento fue un acero ST 70.

La finalidad de estos elementos es: servir de base para sujetar los motores a la estructura principal, así como también facilita el matrimonio del los motores con el husillo patrón.

La figura que se muestra a continuación indica cómo se diseñó y construyó estas bases (Figura 4.14)



Figura 4.14 Base soporte para los motores PaP

El acoplamiento se realizó de la siguiente forma: se suelda la plancha con el tubo redondo con soldadura MIG, al igual que la plancha con la estructura principal. Se perfora el tubo con el propósito de tener acceso al prisionero que fijará en matrimonio Motor – husillo patrón. En la plancha se elaboró tuercas en cada una de las esquinas con la finalidad de sujetar los motores PaP a estas.

4.3.8 Base Soporte Para El Motor Cabezal Taladrador

Para la fijación del motor de Corriente Continua que hará la función de cabezal taladrador se elaboró una base en fibra de vidrio, su finalidad es evitar que produzca movimientos erróneos tanto en forma axial como vertical, y a la vez lograr que su montaje y desmontaje sea muy versátil, fundamentalmente para el cambio de herramienta.

La figura que se muestra a continuación da una idea de cómo se diseñó y construyó esta mesa. (Figura 4.15)



Figura 4.15 Base soporte para el motor cabezal taladrador

Para el acoplamiento de esta base soporte en la mesa de coordenada Z, se empleó madera y sobre esta empleando 4 pernos M5 se fijó estas abrazaderas hechas en fibra de vidrio en la base de esta mesa.

4.4 Diseño Del Sistema Electrónico

4.4.1 Maquina Taladradora

4.4.1.1 Motores Paso A Paso

Para la selección de los motores paso, se deben realizar las siguientes consideraciones:

- ¿Qué torque se desea?
- ¿Cuál es el ángulo de paso deseado?
- ¿Cuál es el rango de pasos o RPM?
- ¿Bobinas unipolares o bipolares?
- ¿Voltaje de bobina?
- ¿Requerimiento de torque de detención y de mantenimiento?
- ¿Temperatura ambiental de operación?
- ¿Tipo de control?

En base al análisis de cargas aplicado al husillo patrón (ítem 4.3.4), elemento al cual va estar acoplado los motores paso a paso, indica que el torque de trabajo que se necesita es de 80 mNm y en función de las características de los motores, se determinó los siguientes datos:

Ángulo de paso= 1.8°

$L=2.8\text{mH}$

$R=0.56\Omega$

$T(\text{seg})= L/R= 2.8\text{mH}/0.56\Omega= 5\text{mseg.}$

Entónces: 1 ciclo: 5 mseg.

1 pulso \rightarrow 5mseg,

entonces en 200 pulsos → X

X = 60RPM.

Determinación de la potencia necesaria para los motores de avance de la maquina:

Considerando que la Potencia de corte obtenida en los cálculos del Motor Cabezal Taladrador fue de:

Pc= 8.23 watts

Material= Aluminio

Ø herramienta = 2.1 mm

El Momento requerido para el corte será:

Pm=M*n = Momento * número de revoluciones del husillo.

$$M = \frac{Pm}{n} = \frac{8.23 N \cdot m / \text{seg}}{220 \frac{1}{\text{min}} * \frac{1 \text{min}}{60 \text{seg}}} = 2,24 N \cdot m * \frac{1 kg}{9.8 N} * \frac{1 lb}{0.454 Kg} * \frac{1 plg}{0.0254 m} * \frac{16 onzas}{1 lb} =$$

M = 317.86 onz * plg.

Por lo tanto se requiere un motor de pasos con un torque máximo de 317.86onz*plg y con un ángulo de avance de 1,8° por pulso.

De tal forma que, las características fundamentales de los motores paso a paso que se seleccionaron cumplen con lo siguiente:

MOTOR	Tensión Nominal (V)	Corriente Nominal (I)	Par de Detención de Mnto (mNm)	Angulo de Paso	Tipo de Motor	Resistencia (Ω)	Tipo de Control	RPM	NEMA
Coordenada "X"	5	4,5	2200	1,8	Unipolar	0,56	Normal	200	34
Coordenada "Y"	5	4,5	2200	18	Unipolar	0,56	Normal	200	34
Coordenada "Y"	5	3	1500	18	Unipolar	1,8	Normal	200	23

Cada uno de los motores PaP han sido acoplados a la estructura principal utilizando bases soportes metálicas. Por estética, el cableado desde los motores hasta la caja de control se empleó espiral, se sujetó a la estructura metálica con bases adhesivas, hasta llegar a los terminales correspondientes (colectores) de los transistores de potencia para cada una de las bobinas de los motores PaP.

A continuación se muestra una gráfica de la conexión de los motores PaP desde el microcontrolador PIC16F877 (Figura 4.16)

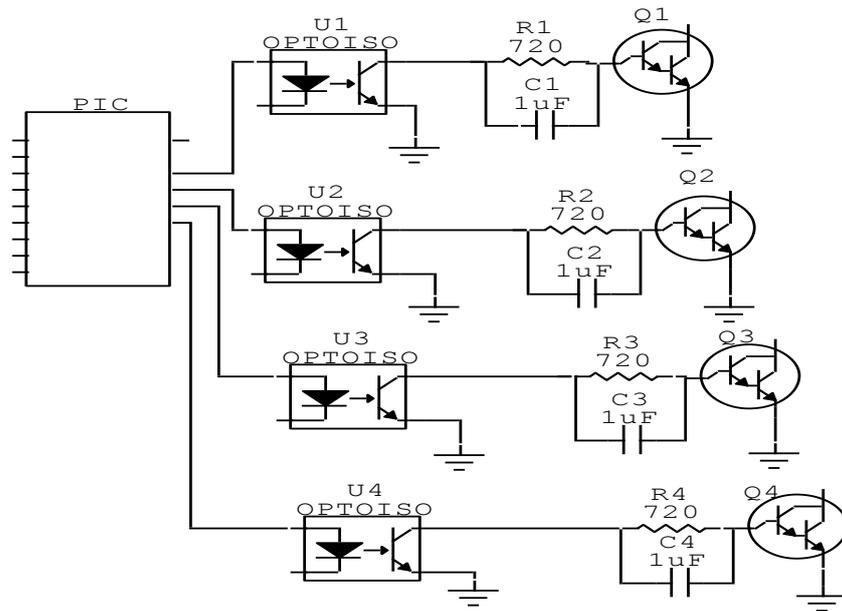


Figura 4.16 Conexión del PIC con motores paso a paso

Los pines del PIC16F877 configurados como salidas, para cada uno de los motores son los siguientes:

MOTOR X: RA1 ... RA7

MOTOR Y: RD0 ... RD3

MOTOR Z: RD4 ... RD7

Como se observa en la gráfica anterior, a partir de los pines del PIC16F877 para cada una de las bobinas se ha puesto Optoacopladores para protección del microcontrolador, luego utilizando un circuito RC en paralelo (720Ω , $0.1\ \mu\text{f}$) se alimenta a la base para que el Transistor TIP 122 se sature y permita el cierre del circuito de potencia que será el que de el pulso necesario en la bobina de acuerdo a la

secuencia que se le haya asignado y produzca el desplazamiento de la coordenada seleccionada.

4.4.1.2 Motor dc del cabezal taladrador

Determinación de la potencia de corte y número de revoluciones del motor

Se debe analizar para esto los esfuerzos de corte de determinados materiales, como es una máquina pequeña los materiales a mecanizar deberán ser suaves, como: materiales ligeros, prensados, baquelita, madera como máximo el aluminio.

A continuación se calculará la potencia necesaria del motor del cabezal taladrador para perforar aleaciones ligeras de aluminio que será el material más duro a mecanizar. Las aleaciones ligeras de aluminio tienen una resistencia a la tracción de:

$$T_r = 6 \text{ Kg/mm}^2$$

El esfuerzo cortante sera :

$$T_c = 0.8 * T_r = 0.8 * 6 \text{ Kg/mm}^2 = 4.8 \text{ Kg/mm}^2$$

El esfuerzo cortante también será igual a :

$$T_c = \frac{F_c}{A_c} = \frac{\text{Fuerza Cortante}}{\text{Area.de.corte}}$$

Para el taladrado el área de corte será igual a:

$$A_c = \frac{S * d}{2} = \frac{\text{Avance} * \text{diámetro.de.la.herramienta}}{2}$$

El avance mínimo de la herramienta está en función del paso del tornillo y del ángulo de avance del motor de pasos, del material de la pieza y de la herramienta:

$$S(\text{mín}) = 0.01 \text{ mm/rev}$$

$$S(\text{máx}) = 2 \text{ mm/rev}$$

$$S = 0.1 \text{ mm/rev (avance.para.el.aluminio)}$$

Entonces el A_c (área de corte) para un diámetro mínimo de la herramienta de 2.1mm será:

$$A_c(\text{mín}) = \frac{0.1\text{mm} * 2.1\text{mm}}{2} = 0.105\text{mm}^2$$

Por lo tanto la F_c será:

$$F_c = T_c * A_c = 4.8 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} * 0.105 \text{mm}^2 = 0.504 \text{Kg}$$

La velocidad de corte de la máquina está en función del diámetro de la herramienta, material de la pieza, material de la herramienta y número de revoluciones del motor, para el caso de estudio:

$$V_c = 80 \text{ m/min}$$

$$V_c = \varnothing * \pi * n$$

Donde:

\varnothing = diámetro de la herramienta

π = 3.1416

n = número de revoluciones, entonces:

$$n = V_c / \varnothing * \pi = \frac{80 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 1000 \frac{\text{mm}}{\text{m}}}{2.1 \text{mm} * \pi} = 121261 / \text{min}; \text{ que debe girar la herramienta de}$$

corte.

La Potencia de corte será:

$$P_c = F_c * V_c = \text{Fuerza de corte} * \text{Velocidad de Corte}$$

$$P_c = 0.504 \text{Kg} * 80 \frac{\text{m}}{\text{min}} * \frac{9.8 \text{N}}{1 \text{Kg}} * \frac{1 \text{min}}{60 \text{seg}} = 6.6 \text{watt}$$

Si consideramos un rendimiento del motor del 80%, la potencia necesaria para el mecanizado deberá ser de:

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} = \frac{P_c}{P_m}$$

$$P_m = \frac{P_c}{\eta} = \frac{6.6 \text{ watt}}{0.8} = 8.23 \text{ watt}$$

Considerando un factor de seguridad de 1.2, la potencia necesaria para el mecanizado será:

$$P_m = 1.2 * 8.23 = 9.87 \text{ watt} \approx 10 \text{ watt}.$$

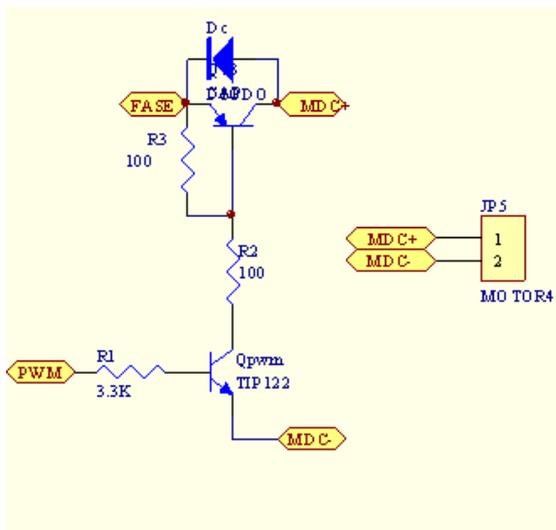
Entonces el motor necesario para el mecanizado en aleaciones ligeras del aluminio deberá ser de:

Pm=10 watt

n = 12000 RPM.

Entonces el motor de Corriente Continua que se seleccionó, para que haga la función de medio de accionamiento tanto para el taladrado como para el fresado vertical, fundamentalmente por la facilidad del control de velocidad se puede observar en la figura 4.17. Las características de este motor se muestran en la siguiente tabla.

Motor	Voltaje (Vdc)	Corriente (Amp)	Revoluciones (RPM)
1	12	0.8	12000



(a)

(b)

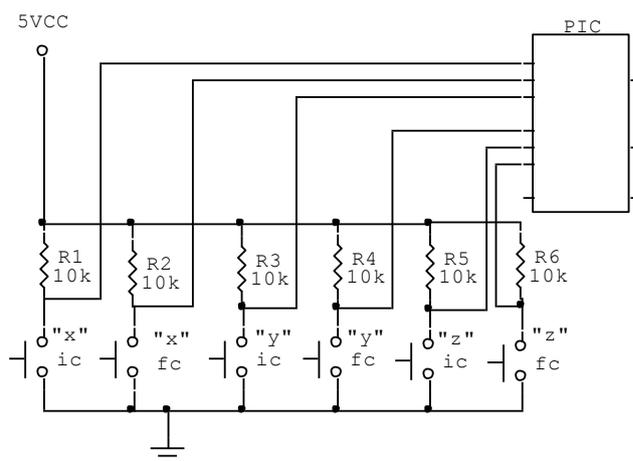
Figura 4.17 (a) Conexión del PIC al motor DC (b) Motor dc para el cabezal taladrador.

Los pines del PIC16F877 configurados como salidas, para este motor son:

- RC2: E/S digital. También puede actuar como entrada Captura1/salida Comparación1/salida de PWM1.
- RA0/ANO(2): Puede actuar como línea digital de E/S o como entrada analógica al conversor AD (canal 0).

4.4.1.3 Inicios y Finales de Carrera

Por razones de seguridad se ubico al inicio y final de las carreras de los tres ejes de coordenadas micro interruptores electromecánicos, cuya finalidad es la de provocar una interrupción dentro del programa del microcontrolador capaz de que su funcionamiento se detenga y evite deterioros tanto del material, la herramienta y el operador. (Figura 4.18)



(a)

(b)

Figura 4.18 (a) Conexión desde los inicios y finales de carrera hacia el PIC
(b) Micro interruptor

Los pines del PIC16F877 configurados como entradas, para estos dispositivos de seguridad son los siguientes:

- Ic xRB3
- Fcx.....RB2
- Ic yRB1
- Fcy.....RE0
- Ic zRE1
- Fcz.....RE2

La ubicación de los seis micro interruptores (2 por cada eje), se ha dispuesto de tal forma que el pin configurado como entrada siempre se encuentre en Vcc, de tal forma que el momento que se provoque una interrupción por causa del accionamiento de cualquiera de los interruptores, haga que el programa del micro se resetee, es decir, que regrese al vector inicio. Deteniendo el problema y evitando destrucciones hombre – máquina.

4.4.1.4 LCD

Se trata de un módulo de visualización alfanumérico de cristal líquido, capaz de presentar 2 líneas con 16 caracteres cada una. Aplicándole los códigos necesarios se

puede provocar los diferentes efectos de visualización como: posición y velocidad de los motores paso a paso para cada una de las coordenadas así como también la variación de PWM para el motor del cabezal taladrador. Las 8 líneas de datos D0...D7 están conectadas con 8 líneas de la puerta B. (figura 4.19)



Figura 4.19 Conexionado desde el PIC al LCD

Los pines del microcontrolador configurados como salidas del PIC y entradas para el LCD, son los siguientes:

PIC	LCD
• RD0	Datos línea 4
• RD1	Datos línea 5
• RD2	Datos línea 6
• RD3	Datos línea 7

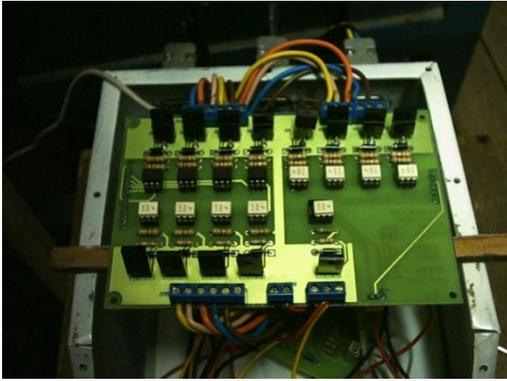
CONTROL

RE0	Enable
RE1	RS
RE2	W/R

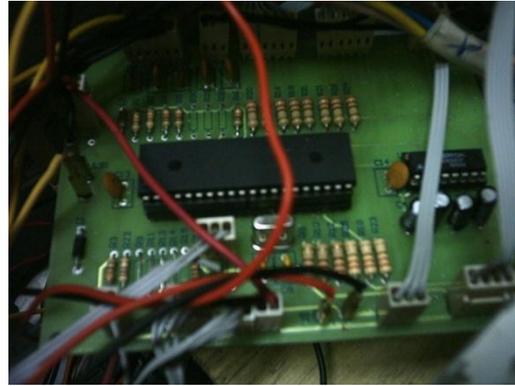
4.4.2 Tarjeta controladora

Consta de dos etapas: la de potencia y la de control

En la etapa de potencia, se encuentran los optoacopladores, resistencias de limitación para las bases de los transistores, diodos de protección y los transistores de potencia. (Figura 4.20). En la etapa de control, se encuentra: el microcontrolador, el cristal de oscilación, el max 232, resistencias limitadoras y capacitares.



(a)



(b)

Figura 4.20 Tarjeta Controladora (a) Etapa de Potencia, (b) Etapa de control.

4.4.2.1 Circuito de control

Con la finalidad de poder visualizar en forma compacta el circuito de control, que maneja los periféricos que se detalló en el ítem 4.2.1, a continuación se muestra en la siguiente figura un diagrama de bloques. (Figura 4.21)

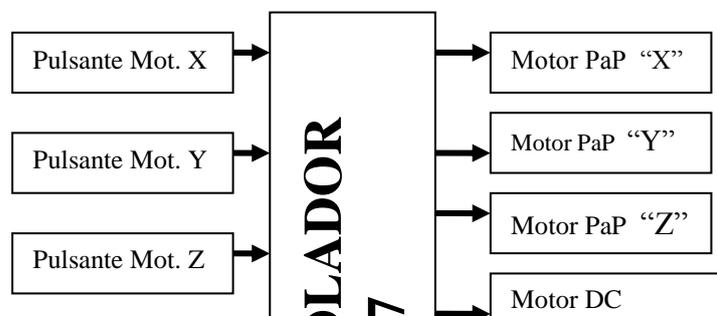


Figura 4.21 Diagrama de Bloques de las E/O del Microcontrolador

A pesar de que anteriormente se incluyó individualmente el conexionado para cada uno de los periféricos, si embargo en la figura que a continuación se muestra, se observa con sus respectivos elementos de limitación de corriente, almacenamiento de energía, aisladores, de protección y seguridad, etc.; cada una de las entradas / salidas, fuente de alimentación, comunicación serial, de los pines correspondientes al Microcontrolador PIC16F877. (Figura 4.22)

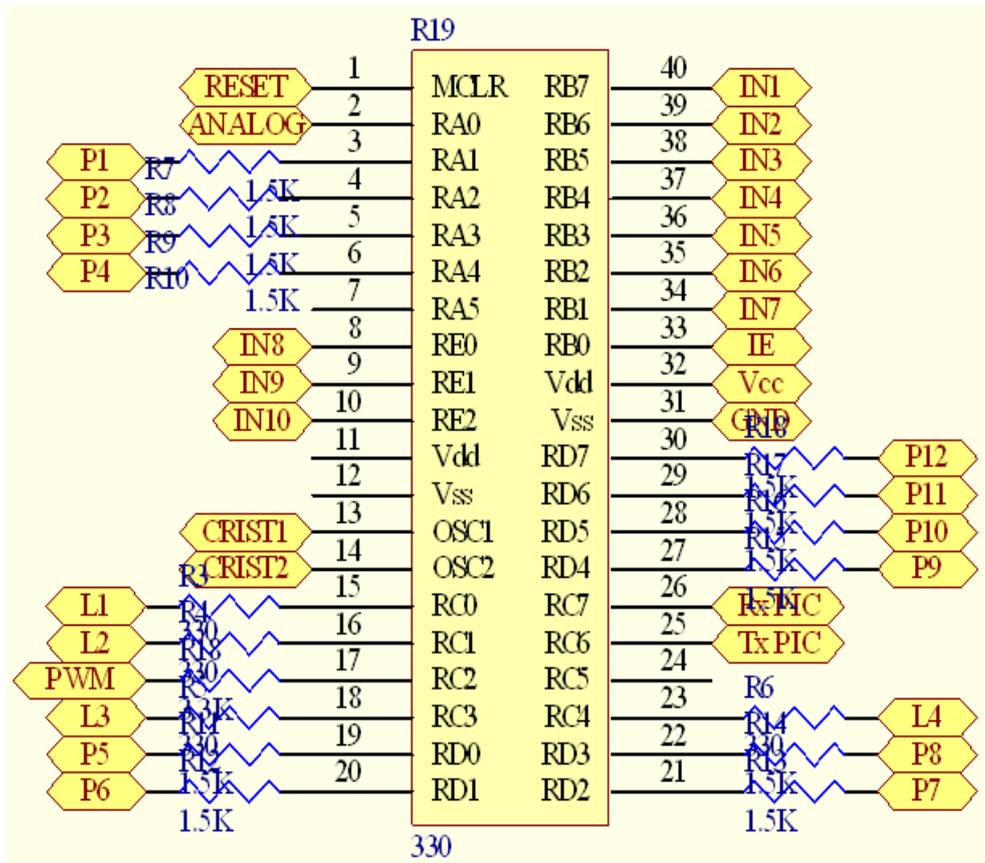


Figura 4.22 Circuito Controlador PIC 16F877

Características del circuito:

- Permite controlar tres motores unipolares paso a paso y un motor dc, en forma manual (pulsadores) o automática.
- Dirección seleccionable de los motores, variación de frecuencia para los motores paso a paso y de PWM para motor del cabeza taladrador, desde el tablero principal de control.
- Selección independiente de los motores para el enceramiento absoluto de la máquina desde el tablero de control.
- Velocidad regulable desde 1 a 255 milisegundos por paso.
- Velocidad regulable desde 1 a 255 milisegundos por paso.
- Permite visualizar las condiciones de posición y velocidad de motores para mesas de coordenadas paso así como del motor cabezal taladrador.
- Protocolo de comunicación serial.

Este circuito se ha diseñado pensando en los motores unipolares que son los más corrientes y más sencillos de manejar. El microcontrolador PIC16F877 es el componente principal, él se comunica con el PC a través del MAX232, USART a 9600 bps, recibe del PC las órdenes y contesta con el estado de los motores(velocidad, dirección, etc. Como el número de pines del PIC es limitado, cuatro de ellos(PB0 ... PB3) se han usado para la conexión de los pulsadores P1...P4 y además para el control de los indicadores LED1 ... LED5, estos indican el estado de los motores, el LED1 indica el estado del motor X, el LED2 indica el estado del motor Y, el LED3 indica el estado del motor Z, el LED4 indica el estado del PWM del motor dc y el LED5 indica el estado de la frecuencia para los motores PaP. Las variaciones del PWM que se produzcan al pulsar continuamente el pulsante P3 y las de frecuencia que se produzcan al pulsar P4. Además se requiere de 8 líneas de datos D0..D7 para enviar información al módulo de visualización alfanumérico de cristal líquido (LCD).

La alimentación del circuito de control se ha aislado de la alimentación del circuito de potencia.

Funciones de los pulsadores:

A continuación se describe las funciones de cada uno de los pulsantes, mas adelante en la programación del PIC, se detallará el diagrama de flujo que provoca interrupciones de acuerdo al pulsante que se haya seleccionado.

El pulsador P1 sirve para seleccionar el motor que se va a controlar: si está sin apretar controlamos el motor 1 y si está pulsado controlaremos el motor 2, el resto de pulsadores P2, P3 y P4 nos permiten poner en marcha o parar el motor, variar la velocidad, etc.:

Pulsador P1 ▲: Para este pulsante se le ha asignado el Pin RB7, sirve para seleccionar: el motor que se desee activar en forma manual (x, y ó z), el PWM del motor cabezal taladrador y la frecuencia para el funcionamiento de los motores PaP. Además hace la función de desplazamiento de los motores en el sentido horario, y si se pulsa éste luego de haber aceptado el PWM o la frecuencia de los motores PaP, su función es la incrementar dicho valor.

Pulsador P2 ▼: Para este pulsante se le ha asignado el Pin RB6. Hace la función de desplazamiento de los motores en el sentido antihorario, y si se pulsa éste luego de haber aceptado el PWM o la frecuencia de los motores PaP, su función es la decrementar dicho valor.

Pulsador P3 ← : ▼: Para este pulsante se le ha asignado el Pin RB5. Su función es la de aceptar (enter) la opción seleccionada por el Pulsante P1.

Pulsador P4 (salir / esc) : Sale o escapa de la opciones realizadas. Es decir borra todas las banderas seleccionadas con el P1.

Notas:

- Se ha considerado un límite de velocidad máxima, el tiempo mínimo entre cada paso es de 5 milisegundos, si se pone menos vibran pero no giran.
- Las revoluciones por minuto dependen del número de pasos, para un motor de 200 pasos; como son para el caso éste proyecto; puesto a 5 milisegundos por paso le corresponden 60 R.P.M
- Si se produjera un reemplazo de motor de diferente ángulo de avance, la constante que relaciona el ángulo de avance con el paso del husillo patrón se debería cambiar en el algoritmo elaborado el Lab View.
- El cambio del PWM, se lo realiza siempre y cuando el microcontrolador este el posición ejecución.
- La variación de la frecuencia de los motores PaP se lo realiza una vez cargado el programa en el PIC, antes de enviar el conmutador a la posición ejecución.
- Una vez que el microcontrolador este en ejecución, cada uno de los motores PaP reciben señal, de acuerdo a la coordenada que le corresponda, pero mientras no reciba su valor de coordenada, para evitar errores en los desplazamientos se envía pulsos a las cuatro bobinas.
- Una de las funciones fundamentales de estos pulsantes, va a ser al inicio del mecanizado, porque va a permitir encerrar el programa y empezar con un valor de coordenadas absoluta asignada.

Corriente de base para los Transistores de Potencia TIP 122

$$I_B = I_C / B_{\min} = 8A / 1000 = 8mA$$

$$V_{PIC} = 5V$$

$$R = 5V / 8mA = 625\Omega$$

$$\text{Con } 560\Omega = 8.9mA$$

$$\text{Con } 720\Omega = 6.9mA$$

PIC 20mA por ciclo, trabajando *como fuente*; para los dos motores 4 pulsos; 4 Ibase < = 20mA.

$$I_{BASE,MAX} = 5mA$$

Se escoge B Típico = 2500 ; $I_{BASE} = 5 / 2500 = 2mA$
 $2mA * 4 pulsos = 8mA$

Para el frenado de los motores; 4 pulsos por motor; 4*2 = 8 pulsos + 2 pulsos para motor eje Z ; total pulsos = 8 + 2 = 10 ; entonces, la corriente de salida para los motores X, Y y Z por cada ciclo cuando están parados es:

$$I_{por\ ciclo} = 10 * 20mA = 20mA / ciclo$$

Entradas y salidas del pic16f877

A continuación en la siguiente tabla se indica un resumen de las entradas y salidas a ser controladas por el microcontrolador PIC 16F877

Nº	ENTRADAS	
	FUNCION	OBSERVACIONES
4	Pulsadores	Incremento, decremento, enter, Power / Inicio.
1	Inicios, finales de carrera	Seguridades para las mesas, en los 3 ejes.
1	Conmutador	Ejecución / Programación del PIC16F877
1	Convertidor A/D	Variación del Voltaje de Entrada para el motor taladrador
Nº	SALIDAS	
	FUNCION	OBSERVACIONES
1	PWM	Control de Velocidad del motor taladrador

12	Bobinas Motores PaP	4 pines para cada motor, coordenadas X, Y y Z.
4	Led's Indicadores	Run, Stop, Error, Coordenadas.
5	LCD	Visualización: coordenadas x, y, z; pwm, frecuencia motores PaP
Nº	Comunicación	
2	Rx / Tx	Recepción, transmisión.
31	ENTRADAS / SALIDAS (31 Pines)	

Programación del PIC 16F877A

Se ha seleccionado este PIC, bajo las siguientes consideraciones:

- Como se observa en la tabla anterior el número de Entradas y Salidas que se necesita es de 31.
- Dentro de las diferentes aplicaciones para las cuales se ha diseñado esta taladradora de Control Numérico, es la construcción de un plato divisor universal con un número máximo de 40 agujeros, para la cual ocuparemos un máximo de 40 posiciones (6 Bytes * 40 = 240 KBytes de EEPROM).
- Un conversor Análogo / Digital, como entrada para la variación del voltaje para el Motor dc del Cabezal Taladrador.
- Una salida PWM para el control de velocidad del Motor dc del Cabezal Taladrador.
- Tres temporizadores, TMR's
- Comunicación Serial

Con las características necesarias, para este tipo de aplicación, se necesita un *PIC16F877*.

Una vez seleccionado el tipo de microcontrolador, conocidos los periféricos tanto de entrada como de salida y todas características de funcionamiento, enunciadas anteriormente, se procedió a la programación del mismo. A continuación se muestra para un mejor entendimiento los diagramas de flujo, con sus respectivas subrutinas empleadas en la programación del PIC16F877.

Diagrama de flujo PRINCIPAL: ANEXO 2.1

Aquí, se declara las variables, se configura las entradas y salidas, los temporizadores, conversores, PWM y la comunicación serial. Además permite seleccionar al PIC a modo de carga de información y de ejecución del programa, también manda a llamar a la subrutina Grabar EEPROM y a la Leer EEPROM.

Diagrama de flujo SUBRUTINA LEE EEPROM: ANEXO 2.2

Lee la información que se encuentra en la memoria EEPROM, discrimina si es para x, y o z, además verifica los valores que vienen en dos paquetes (alto y bajo), compara la información para asignarle el sentido de giro adecuado a los motores, temporiza la información adecuadamente para la generación de pulsos, manda a llamar a la subrutina INC, y termina aquella hasta cuando ya no exista más información en la EEPROM.

Diagrama de flujo SUBRUTINA INC: ANEXO 2.3

Manda a leer la variable BAND1,0 para confirmar si es el primer paquete de información o el segundo simplemente observando el bit menos significativo, suma la información de los dos paquetes y se encarga de ir incrementando la información para envío de la misma.

Diagrama de flujo INTERRUPCIONES DE TECLADO RB7: ANEXO 2.4

Este diagrama de flujo me permite determinar como se le ha configurado a la TECLA RB7 ▲, sus funciones ya se encuentran detalladas en las *funciones de los pulsantes (PI)*, mandando a comparar el estado de la variable BAND,0 y en función del estado de ésta, seleccionar cada actuación, además cuando esta variable sea diferente de 0 (mientras no se pulse enter) envía pulsos para el encendido para los Led's indicadores de estado tanto de los motores PaP como de la variación del PWM y el incremento de tiempo para variación de frecuencia de los PaP.

Diagrama de flujo INTERRUPCIONES DE TECLADO RB6: ANEXO 2.5

Este diagrama de flujo me permite determinar como se le ha configurado a la TECLA RB6 ▼, sus funciones ya se encuentran detalladas en las *funciones de los pulsantes (P2)*, la característica de funcionamiento es similar a las interrupciones de teclado provocadas por el RB7 (P1), con la diferencia que la TECLA RB7 ▲ incrementa los valores de selección y la TECLA RB6 ▼ los decrementa.

Diagrama de flujo INTERRUPCIONES DE TECLADO RB5: ANEXO 2.6

Este diagrama de flujo me permite determinar como se le ha configurado a la TECLA RB5 ←, sus funciones ya se encuentran detalladas en las *funciones de los pulsantes (P3)*, la característica fundamental de este es, que utilizando la *variable PUNTERO*, mandar a comparar el bit de activación que corresponda a cada una de las tareas seleccionadas con el pulsante P1 y provocar envío de un bit 1 a las variables BAND_,- correspondientes a cada tarea.

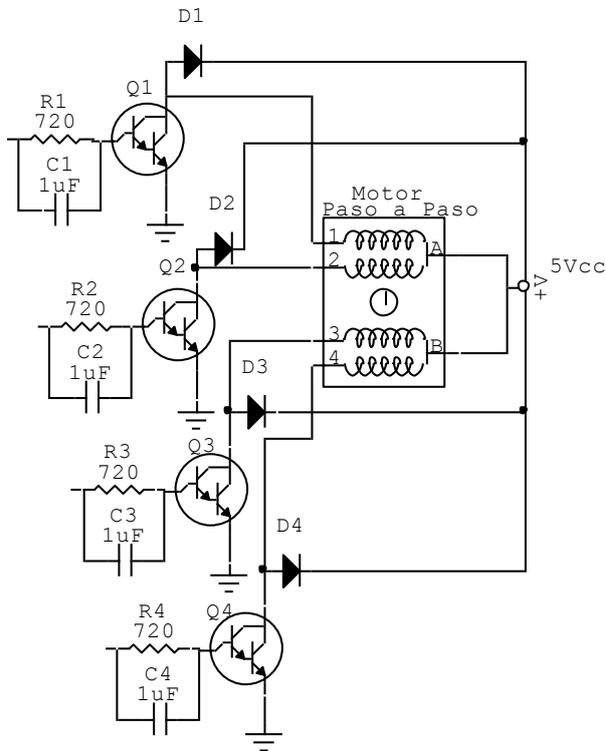
Diagrama de flujo INTERRUPCIONES DE TECLADO RB4: ANEXO 2.7

Este diagrama de flujo permite determinar como se le ha configurado a la TECLA RB4 ESC, sus funciones ya se encuentran detalladas en las *funciones de los pulsantes (P4)*, la característica fundamental es que al ser pulsado manda a poner un BIT de 0 las banderas 0,1,2,3,4,5

4.4.2.2 Circuito de potencia

En el ítem 4.2.2.1, se detalló el cálculo previo para la selección del Transistor de Potencia Darlington, en la figura que se muestra a continuación se observa la conexión de las bobinas de los motores PaP con el transistor (switch), que es el que permitirá asignar las pulsaciones de acuerdo a la distribución de señal que envíe el Microcontrolador. Cabe resaltar que en paralelo a las bobinas del motor se ha instalado un diodo con el objetivo de que en el momento de apagado de los transistores

(desconexión de las bobinas) no se produzcan autoinducción. (Figura 4.18) (Anexo 3.2 “Circuito de Potencia”)



(a)



(b)

Figura 4.18 (a) Circuito de Potencia de un Motor Paso a Paso de cuatro fases, (b) Motor paso a paso Unipolar, 8 terminales

4.5 Diseño del Circuito De Interfase

Interfase con el PIC16F877A

Una vez obtenida la información en el puerto serial, ésta es llevada a través de un cable RS-232 hasta el MAX 232 el mismo que servirá para cambiar los niveles RS-232 a TTL cuando se tiene recepción, el circuito típico se muestra en la figura 3.3

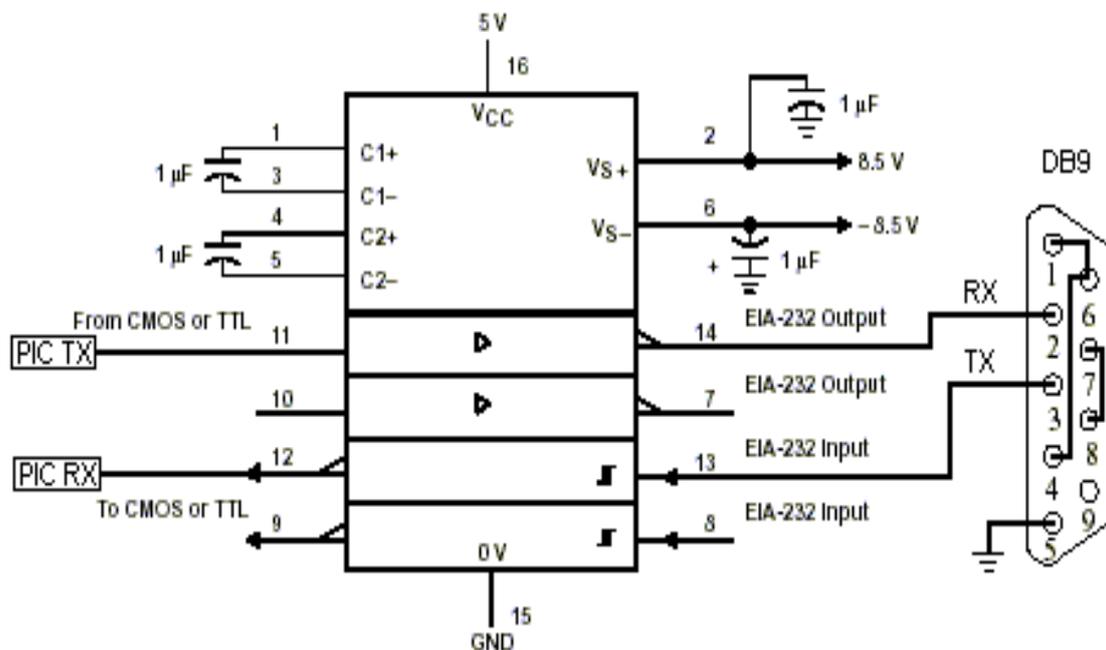


Figura 4.19 Circuito Básico del Max 232

En la gráfica anterior se observa que de los terminales 2 y 3 del DB9 (Recepción - transmisión) lleva la información hasta los pines 14 y 13 del Max-232, para luego a través de los pines 11 y 12, llegar con la información hasta los pines 25 y 26 del microcontrolador 16F877 respectivamente. Las únicas señales necesarias para la conexión son los bits 6 y 7 del puerto C del PIC.

La programación del interfaz serie del PIC es muy sencilla, basta con poner los valores adecuados en los registros SPBRG, TXSTA y RCSTA, además hay que programar el pin RC6 como salida y el RC7 como entrada (sin alterar el resto de pines). Por ejemplo, suponiendo un reloj de 4 MHz, las siguientes instrucciones programarían un interfaz serie de 9600 baudios, asíncrono, de alta velocidad, usando reloj interno, con recepción continua y sin gestión de errores:

```
TRISC= (TRISC & 10111111b) | 10000000b; // RC6 salida, RC7 entrada, resto nada
SPBRG=25; // 9600 baudios alta velocidad, 4MHz
```

```
TXSTA=10100100b;    // Asíncrono, alta velocidad, reloj interno
RCSTA=10010000b;    // Habilita RS232, 8 bits, -, recepción continua, no errores
```

Una vez iniciado el interfaz serie ya se pueden enviar y recibir datos de 8 bits. El envío de un byte se realiza simplemente escribiendo en el registro TXREG y la lectura se realiza leyendo el registro RCREG. Es muy importante sincronizar correctamente estas señales; es decir, si se quieren enviar varios caracteres seguidos no se pueden escribir en TXREG a la velocidad del procesador, ya que entonces se perderían la mayoría de los datos (el procesador es mucho más rápido que la transmisión serie). Para estar seguros de que el último byte que se escribió en TXREG ha sido enviado, hay que mirar el bit 4 (TXIF) del registro PIR1 para ver si el buffer de transmisión está lleno o vacío; si está lleno (valor 0) no podemos enviar, si está vacío (valor 1) ya se puede enviar un nuevo byte. Este mismo bit sirve para que un manejador de interrupción sepa qué periférico produjo la interrupción, ya que cada vez que se vacía el buffer se produce una interrupción (para que la rutina de tratamiento de la interrupción pueda enviar un nuevo byte).

Con la recepción pasa algo parecido: en el momento que se recibe algo por el puerto serie (en RCREG) se produce una interrupción y se activa el bit 5 (RCIF) del registro PIR1, indicando que hay algo en RCREG para leer. Las interrupciones del puerto serie se activan con los bits 4 (TXIE) y 5 (RCIE) del registro PIE1 además de los bits PEIE y GIE del INTCON (habilitación de las interrupciones en general y de periféricos en particular).

CAPITULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 Sistema Mecánico

Dentro de las pruebas mecánicas que se realizaron, fundamentalmente fue en las mesas para cada una de las coordenadas, así como en el uso y calibración de las herramientas.

5.1.1 Mesas de Coordenadas.

Para verificación y pruebas de ajuste en las mesas, se empleó un circuito electrónico provisional montado en un proto board, el mismo que consistía en una parte de control y de potencia.

La parte de control (software) era comandada desde un circuito alterno elaborado en Lab View y la información se envía utilizando el puerto paralelo, éste permitía enviar pulsos y además controlar la velocidad del motor paso a paso (Figura 5.1). Este tipo de prueba ayudó a ratificar la selección del motor paso a paso, fundamentalmente el torque de mantenimiento que es un factor clave en este tipo de pruebas, especialmente en la tarea de fresado vertical (*Contour*).

La parte de hardware (circuito de control), consistía en optoacopladores cuyo propósito era proteger y aislar al puerto paralelo del PC y la parte de Hardware; y enviar el pulso generado desde el Lab View para la saturación de los transistores de potencia (TIP 121 – TIP 122) conectados en configuración Puente H, con la finalidad de obtener un mayor torque.(ver Figura 5.2)

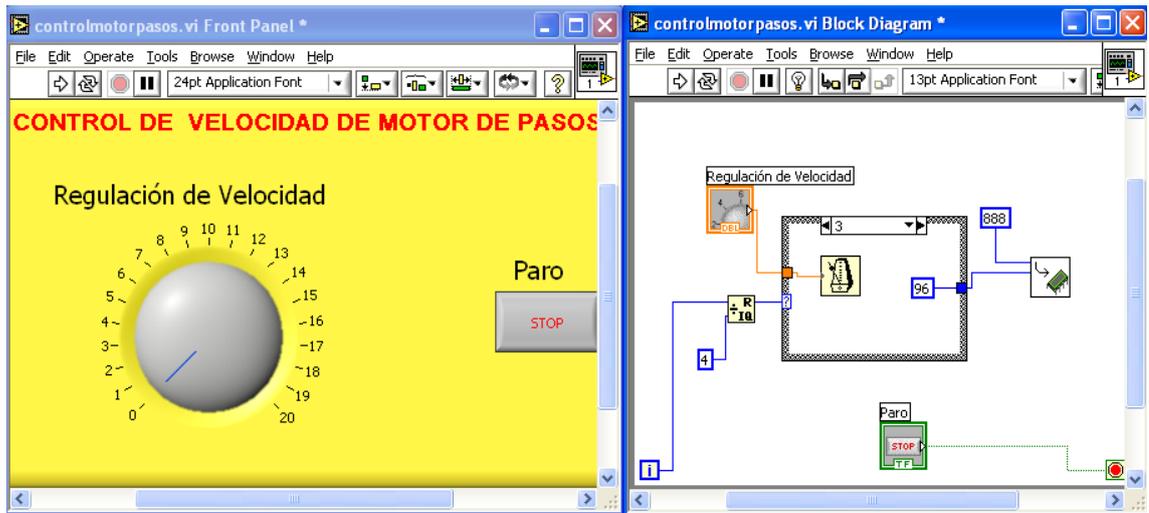


Figura 5.1. Circuito de Prueba para Control de Motor de Pasos “Lab View”

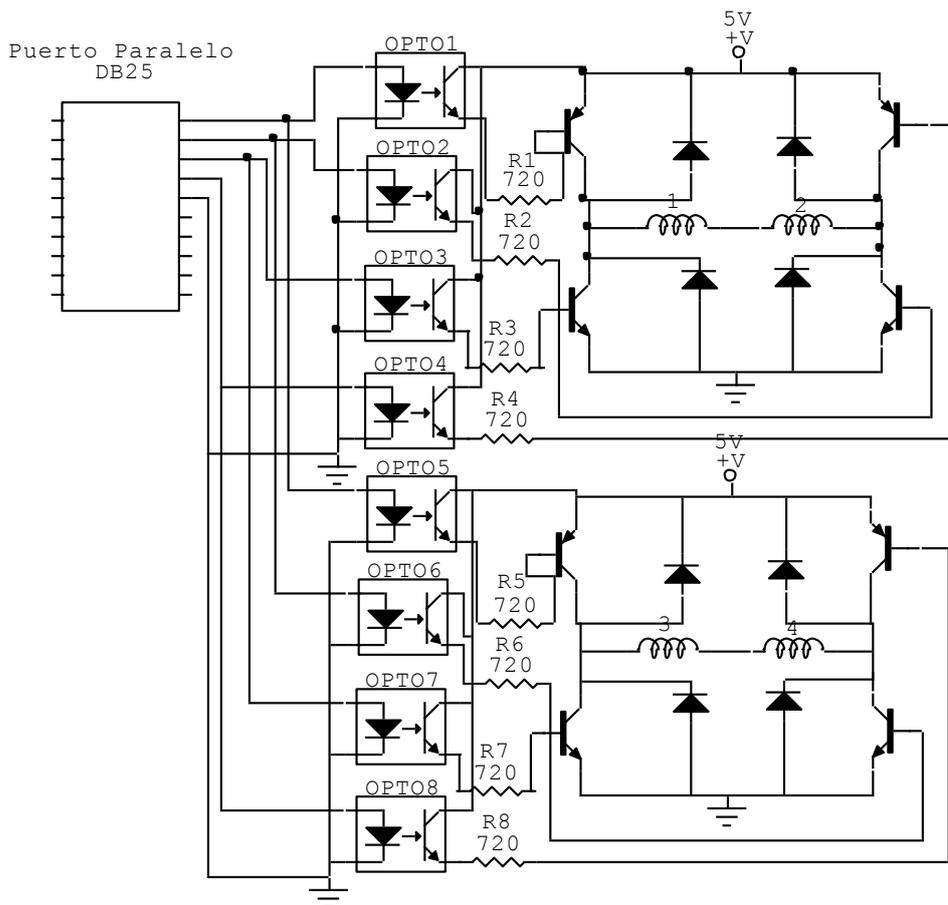


Figura 5.2. Circuito de Prueba para Control de Motor de Pasos “Puente H”

Otra de las notables ventajas en emplear este circuito de prueba fue que se corrigió ajustes y tolerancias entre los ejes guías y los bocines de las mesas en cada una de las coordenadas así como también entre la tuerca y el husillo patrón, ya que de este factor depende la precisión de la máquina fundamentalmente cuando se produce cambios en el sentido de giro en los motores PaP.

Se construyó una contratuerca de las mismas características de la tuerca Principal con la finalidad de que en el momento de que exista mucho juego al invertir el sentido de giro de los motores paso a paso sea ésta la que limite dicho juego e impida errores en la construcción. Pero existía un inconveniente de que en el momento que se invertía el giro el movimiento de los husillos no era uniforme debido a que se remordía la mesa, se incrementaba el torque y por lo tanto los motores paso a paso perdían su control normal.

Con las pruebas iniciales se verificó de que no hacía falta el montaje de las contratuercas debido a que el ajuste que existía en el acoplamiento tuerca – husillo era perfecto y en el momento de su inversión de giro no se producía la pérdida de control de los motores y el juego en el acoplamiento era bastante aceptable.

Una vez corregidos estos errores y puesta a punto los desplazamientos de las mesas, cuidando que no existan interferencias y obstrucciones fundamentalmente en el husillo patrón se procedió al montaje y acoplamiento de los motores definitivos en cada una de las coordenadas y la puesta en marcha del programa definitivo para el manejo de todos los periféricos a través del microcontrolador.

5.1.2 Calibración de las Herramientas

Mastercam siendo la herramienta para el diseño gráfico (CAD) que en éste proyecto se empleó, tiene características y bondades muy robustas tanto para coordenadas en 2D como para 3D. Debido a que cada una de las operaciones genera su codificación (coordenadas x, y, z), es importante resaltar que las operaciones que tienen que ver con contornos circulares, la codificación que se genera es muy abundante, por lo cual el microcontrolador es una limitación. Como se detalló en la selección del microcontrolador el PIC16F877, su capacidad en Memoria EEPROM es de 256 Bytes

que garantiza almacenar información de un diseño con un valor máximo de 42 coordenadas. Razón fundamental que se decidió en centralizarse exclusivamente a operaciones de taladrado (drill) y de contornos (contour) tratando en lo posible de que éstos no resulten ser muy irregulares.

Realizado el Diseño Gráfico, obtenida la codificación y depurada la información en el archivo ejecutable del Visual Fox, éste además garantiza que cuando se produce un cambio de operación en el diseño, envíe siempre un valor de coordenada constante (0, 20, 40) cuyo valor al ser leído en el microcontrolador provoca una temporización prudente capaz que el operador tenga la oportunidad de cambiar la herramienta a la adecuada (brocas, escariadores, muelas abrasivas, fresas de vástago, etc.), de ser necesario, caso contrario provocar un accionamiento continuo en la ejecución del mecanizado.

5.2 Sistema Electrónico

Las pruebas electrónicas que se desarrollaron en la elaboración de este proyecto, se las ha dividido en dos etapas: de control y de potencia.

5.2.1 Sistema de Control

5.2.1.1 Interfase de Comunicación

Una vez implementado el circuito que se muestra en el ítem 4.3, el enfoque principal fue revisar si por el pin 3 del RS232 se estaba transmitiendo la información con la ayuda de un osciloscopio; comprobado esta acción, se procedió a conectarlo con el pin 13 del MAX232, para que finalmente revisar los pines 11 y 12 de éste y comprobar que la señal que enviaba por estos terminales era TTL, para que finalmente estos pines conectarlos a los terminales 25 y 26 del PIC respectivamente.

5.2.1.2 Microcontrolador

Verificado que la información llegaba sin problemas al microcontrolador. La siguiente tarea fue alimentar adecuadamente a éste, y conectar el Cristal de 4Mhz a los terminales 13 y 14 (Oscilador) del PIC.

Las primeras pruebas que se realizó fueron con el PIC16F870, simplemente por motivos de ensayo; para que al final, una vez finiquitadas las necesidades del proyecto (periféricos), montar el definitivo que es el PIC16F877.

Como se justificó en el ítem 4.2.2.1 el número de entradas / salidas es de 31, se procedió a ir ubicándolas una a una con el respectivo cuidado para evitar equivocaciones debido a la sensibilidad y delicadeza del microcontrolador, tal es así que para proteger y aislar las salidas para los motores PaP se optó por colocar Optoacopladores.

5.2.1.3 Periféricos de Entrada y Salida del PIC16F877A

Tanto los periféricos de entrada (pulsadores, inicios – finales de carrera, conmutadores, convertidores) como de salida (bobinas de motores PaP, PWM, led's, LCD) se los instaló con las respectivas protecciones y resistencias limitadoras de corriente, siempre buscando el cuidado y seguridad del microcontrolador (Anexo 3.2).

5.2.1.4 Programación En Mplab

Definitivamente una de las labores mayores en el diseño electrónico fue el desarrollo del programa para el microcontrolador PIC16F877A (Anexo 2)

Una vez elaborado el programa y cada vez que se realizaba alguna modificación, se selecciona principalmente los puertos de salida, temporizadores, PWM y conversores para verificar su comportamiento, primeramente en forma simulada y una vez confirmado su comportamiento de acuerdo al diseño, se lo enviaba al programador para luego ratificar su normal desempeño en el proto board.

5.2.2 Sistema De Potencia

5.2.2.1 Identificación de bobinas en motores paso a paso

Cuando se trabaja con motores paso a paso usados o bien nuevos, pero de los cuales no se dispone de hojas de datos. Es posible averiguar la distribución de los cables a los bobinados y el cable común en un motor de paso unipolar de 5 o 6 cables siguiendo las instrucciones que se detallan a continuación:

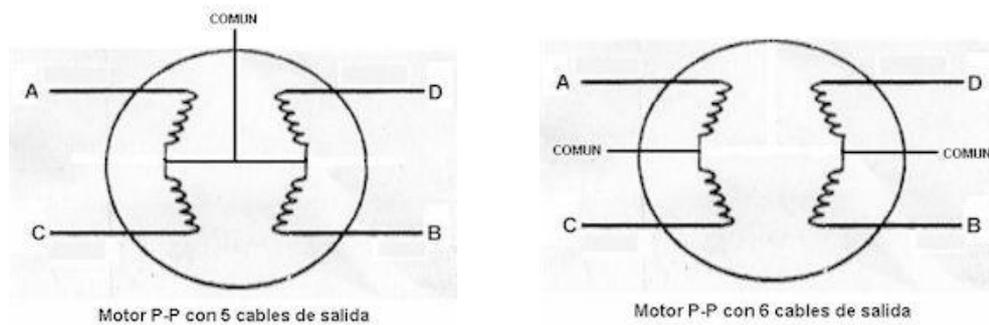


Figura 5.3 Identificación de bobinas para motores de 5 y 6 cables

Aislando el cable(s) común que va a la fuente de alimentación: Como se aprecia en las figuras anteriores, en el caso de motores con 6 cables, estos poseen dos cables *comunes*, pero generalmente poseen el mismo color, por lo que lo mejor es unirlos antes de comenzar las pruebas (Figura 5.3)

Usando un óhmetro para valorar la resistencia entre pares de cables, el cable común será el único que tenga la mitad del valor de la resistencia entre ella y el resto de los cables.

Esto es debido a que el cable *común* tiene una bobina entre ella y cualquier otro cable, mientras que cada uno de los otros cables tienen dos bobinas entre ellos. De ahí la mitad de la resistencia medida en el cable *común*.

5.2.2.2 Verificación de Secuencias de Funcionamiento de Motores Pap

De las tres secuencias de funcionamiento posibles para este tipo de motores, la que se seleccionó fue la secuencia *Normal*; ya que aparte de ser la más usual, es y la que generalmente recomienda el fabricante.

Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención

La gráfica que permite observar el comportamiento de este ensayo se muestra en el ítem 3.2.4.1

5.2.2.3 Control de Velocidad de los Motores PaP

La variación del avance de los motores paso a paso como medios de transmisión para las mesas de coordenadas, se logra modificando la velocidad de éstos a través de la variación del tiempo de transición entre paso y paso.

Utilizando el circuito alterno detallado en el ítem 5.1.1 y los cálculos realizados (4.4.1.1), se logra determinar la velocidad de desplazamiento adecuada para conseguir el torque deseado, los valores prácticos que se lograron tabular son los siguientes:

Tabla 5.1 Velocidad y Torque de Motores PaP

Motores	Velocidad mín (mseg/pulso)/(RPM)	Torque dinámico máx (mNm)	Velocidad máx (mseg/pulso)/(RPM)	Torque dinámico mín (mNm)
“X”	5 / 50	1950	15 / 150	1000
“Y”	5 / 50	1950	15 / 150	1000
“Z”	5 / 40	900	15 / 140	500

Una vez determinado el rango de velocidades para los motores paso a paso, se procedió a programar en el microcontrolador de tal forma que al accionar pulsantes P1 y P2 indistintamente garantizará el incremento y el decremento respectivamente de la velocidad dentro de los límites establecidos.

5.2.2.4 Control de Velocidad del Motor Cabezal Taladrador

Con la finalidad de ajustarse a los requerimientos de Velocidad de corte en máquinas herramientas y con la finalidad de conservar en buen estado luego del mecanizado tanto la herramienta como la máquina, se creyó conveniente variar la velocidad del motor del cabezal taladrador.

La manera de poder variar la velocidad de este motor es variando el voltaje de alimentación; pero sin embargo este procedimiento tiene una particularidad, se pierde potencia, por lo que se procedió a incluir en la programación del microcontrolador la variación del ancho de pulso (PWM), lo que evita que el voltaje baje y por ende su potencia.

5.2.3 Cero Absoluto

Grabado el programa en el microcontrolador y sujeto el material a ser mecanizado en la mesa correspondiente a la coordenada Y. Para encerrar la máquina se procede de la siguiente forma:

- A través del pulsante ▲ se selecciona el motor correspondiente a cada una de las coordenadas en forma independiente.
- Se aceptamos con el pulsante ← y con la ayuda de los pulsantes ▲▼ se desplaza hacia la izquierda o hacia la derecha (eje x), adelante o atrás (eje Y), arriba o abajo (eje Z) a los motores paso a paso hacia la referencia inicial (0, 0, 0).
- La referencia inicial de antemano fue seleccionada en el Mastercam en la opción *Job Setup*. De tal forma que toda la información que se generó fue en función de esta coordenada absoluta.
- Una vez ubicado el cabezal taladrador en la posición inicial se ubica el conmutador en la opción *ejecutar*, y la información del microcontrolador empieza a entregar a cada uno de los periféricos.

5.3 Mecanizado

Para una explicación en forma detallada de los ensayos que se realizaron en el mecanizado, se referirá referiremos al diseño elaborado para la Carrera de Ingeniería Electromecánica.

5.3.1 Diseño Del Proyecto En Mastercam

En la gráfica (Figura 5.4) se muestra un diseño CAD, en el que constan 4 círculos (opción Arc / punto - radio) y dos letras (opción línea / horizontal - vertical) elaborados en la cara superior del material. Las medidas generales de éste se seleccionan en *Job Setup*, aquí se especifica los límites x, y, z máximos dentro de los cuales se desarrollará el proyecto. Para una mejor visualización de la tarea, se selecciona en la barra de herramientas *visualización isométrica*.

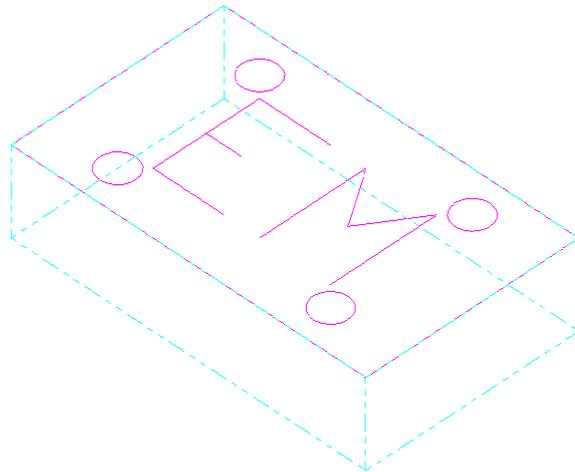


Figura 5.4 Diseño Gráfico *Job Setup*

Elaborado el proyecto, para una mejor identificación de las coordenadas, se precede a acotar, bien sea como medidas generales normal de un diseño gráfico o como coordenadas, con la finalidad de poder realizar comparaciones con la codificación que se obtendrá más adelante. (Figura 5.5)

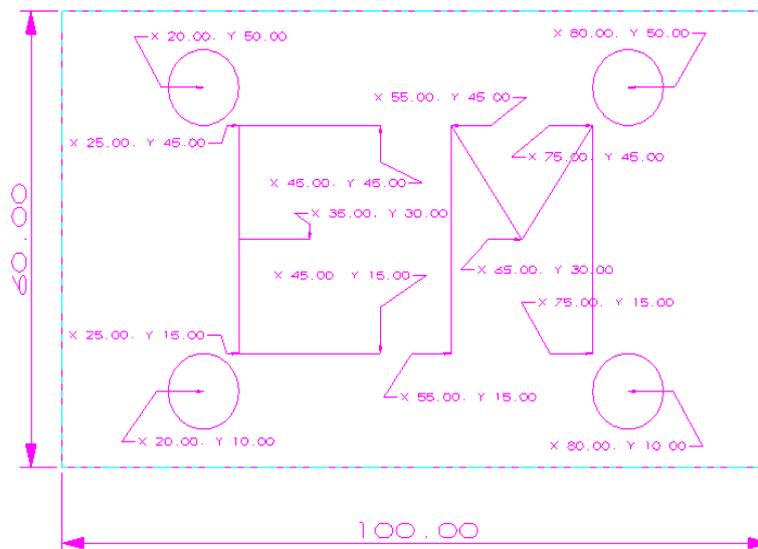


Figura 5.5 Dimensionamiento del diseño gráfico, selección de operaciones *Toolpath*

Una vez dimensionado (opcional) el diseño gráfico, se procede a seleccionar las tareas de mecanizado que se desea realizar (*toolpath*), como es para este caso los círculos, la tarea que se ha seleccionado es *drill* (perforado). Aquí da la posibilidad de seleccionar el tipo de herramienta que se va a emplear, así como su diámetro, la profundidad de perforado y la altura de realce. Para las letras se selecciona *contour* (contorno / fresado vertical), que al igual que en la opción de perforado, da las mismas bondades de selección previa al mecanizado. Finalmente se selecciona la opción *Operations Manager / select All / Regen Path/ Verify* , (Figura 5.6)

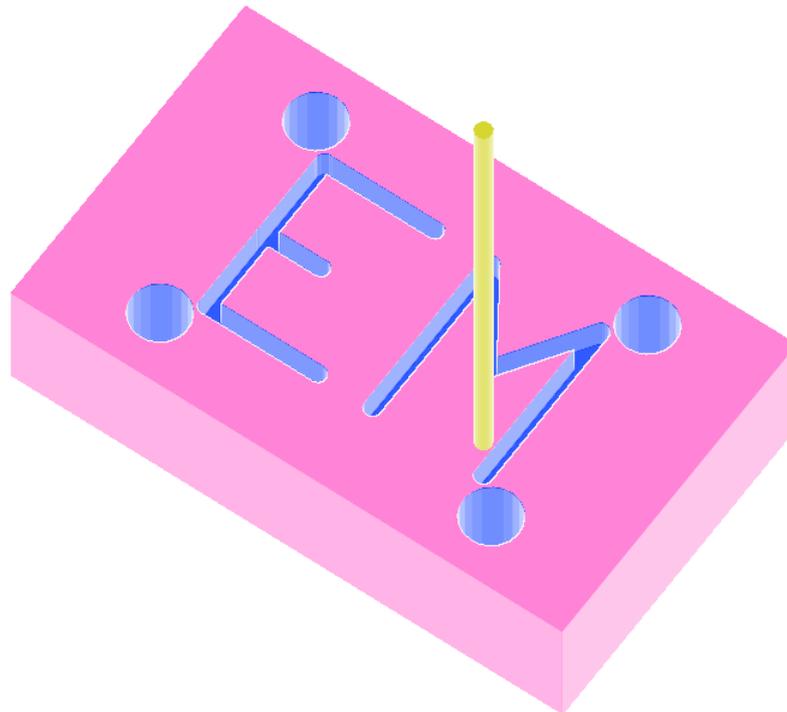


Figura 5.6 Simulación del Mecanizado *Verify*

Comprobada y verificada la tarea a través de la simulación, dentro de *Operations Manager*, se selecciona la opción *Post (Post processing)*, la misma que da la opción de grabado *Save NCI file* (Figura 5.7)

```
EM - Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
C:\MCAM8\MILL\TOOLS\FLATMILL.MC8
1014
1. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 1.
1016
1 10 2 1 0. 0. 0. 0 0 1 4 0 0. -1 1 3
1017
1. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 1.
1025
0 0 0 0 0 0 0 0 0
1020
100. 60. 20. 0. 0. 0. 4 0. 0. 0. 0 5000 NONE
20001
10. FLAT ENDMILL
20002
20003
20004
3 10 1 0 10. 0. 0. 180. 3 3 3.58125 3.58125
3.58125 0 1 4
20006
0 50. 50. 25. 25. 0. 0. 0.
20007
0. 50. 75. 60. 10. 50. 25. 0 50. 50. 1
1001
0 100 2 3 3 3 0 0 3.58125 1 20. 50. 8. 0. 0. 0.
0 0.
0
0 20. 50. 8. -2. 0
82
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
81
0 20. 50. -21. 0. 3.58125 2. 2. 2. 2. 8. 8. 0.
0. 20. 50. 8. 1000 0
100
0 80. 50. -21. 8. 8. 0. 3.58125 80. 50. 8. 0 0
100
0 80. 10. -21. 8. 8. 0. 3.58125 80. 10. 8. 0 0
100
0 20. 10. -21. 8. 8. 0. 3.58125 20. 10. 8. 100
```

Figura 5.7 Archivo NCI, obtenido del Mastercam, *Post*

Con la información obtenida del archivo NCI del Mastercam, de toda la información, los datos que se necesita son únicamente las coordenadas de posicionamiento de la herramienta, entonces se desarrolla un archivo ejecutable en *Visual Fox* el mismo que garantiza la generación únicamente de las coordenadas deseadas y la generación de la coordenada constante (0, 20, 40) debida al cambio de operación dentro del mecanizado (Figura 5.8)

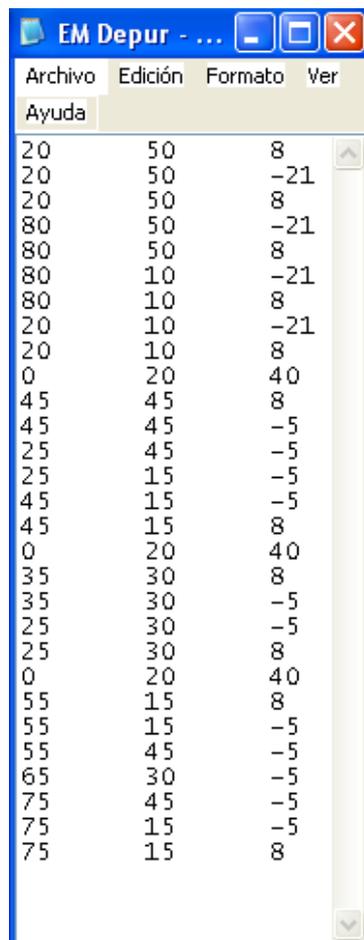


Figura 5.8 Archivo *.txt depurado

5.3.2 Aplicación De El Algoritmo Realizado En Lab View

Anteriormente ya se detalló el funcionamiento de este algoritmo en el ítem 3.4.2, a continuación verificaremos su funcionamiento con el archivo depurado en Visual Fox:



Completo (Sub vi).- Al pulsar *Run* se observa en pantalla que se carga el archivo txt en forma de matriz (Figura 5.9)

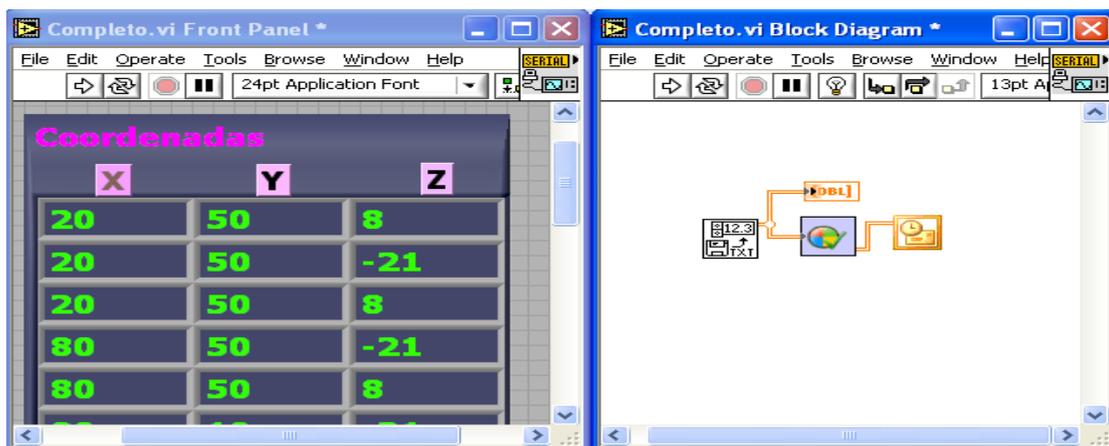
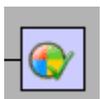


Figura 5.9 Matriz obtenida del archivo *.txt depurado



Coordenadas Corregidas (Sub vi).- Las coordenadas que se muestran en pantalla son los verdaderos desplazamientos de cada una de las mesa, debido a que fundamentalmente en Drill, tres coordenadas generadas mantendrán en mismo valor de x, y nos así el valor de z, lo que no sucede con la corrección en contour, ya que su desplazamiento x, y será variable y el de z se mantendrá constante (Figura 5.10)

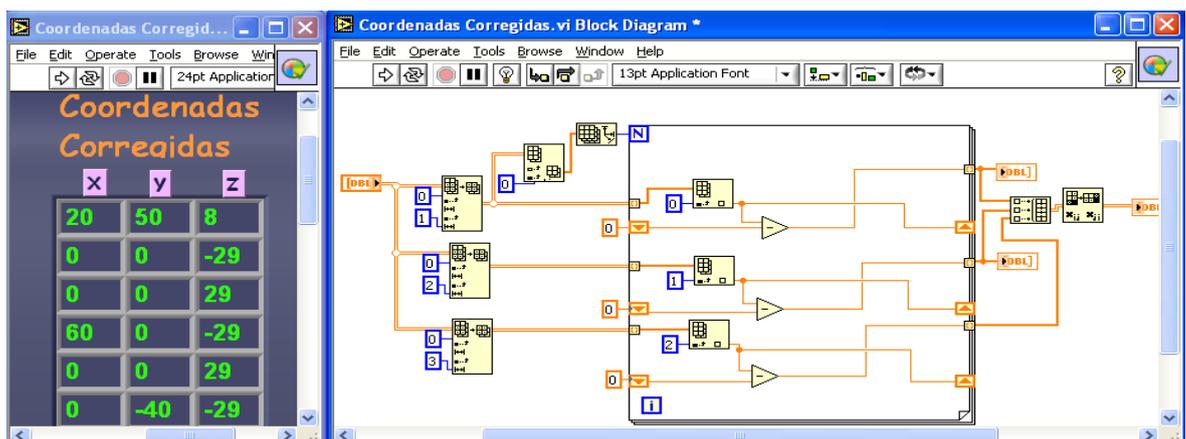


Figura 5.10 Coordenadas Corregidas



Coordenadas x, y, z (Sub vi).- Para obtener los resultados corregidos dentro de una misma matriz, los datos en este (coordenadas x, y, z) nuevamente son separados en arreglos independientes, discriminando filas y columnas para los valores de x, y, z, para el tratamiento posterior de la información (Figura 5.11)

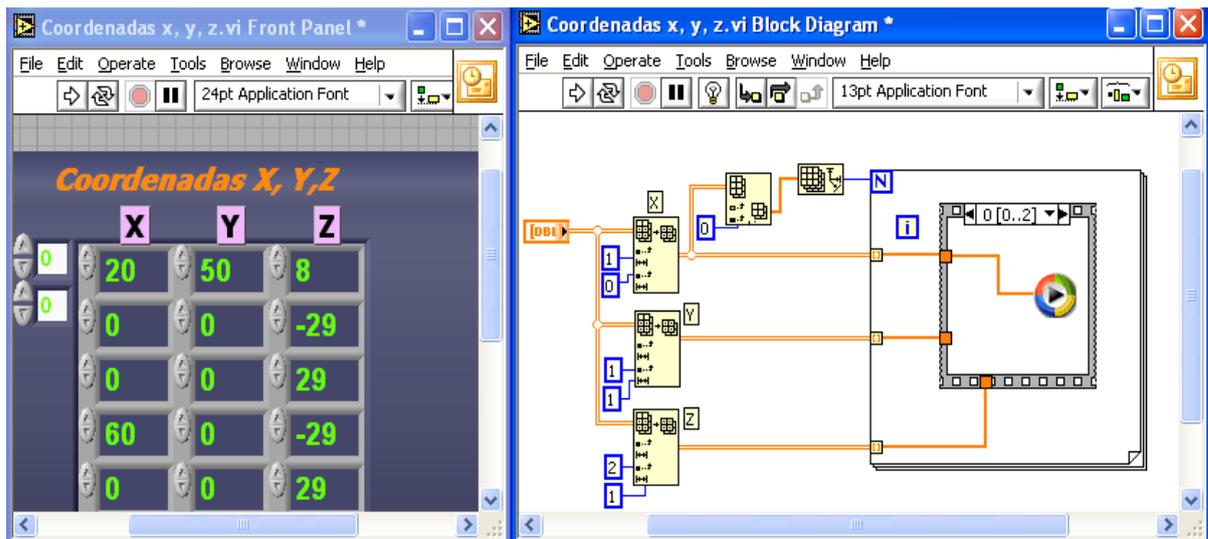


Figura 5.11 Coordenadas X, Y, Z, separadas en arreglos independientes



Arreglo de Datos (Sub vi).- La información individual del sub vi., anterior, se ingresa en un lazo, cada una de las coordenadas como tarea previa para lo que será la obtención de pulsos (Figura 5.12)

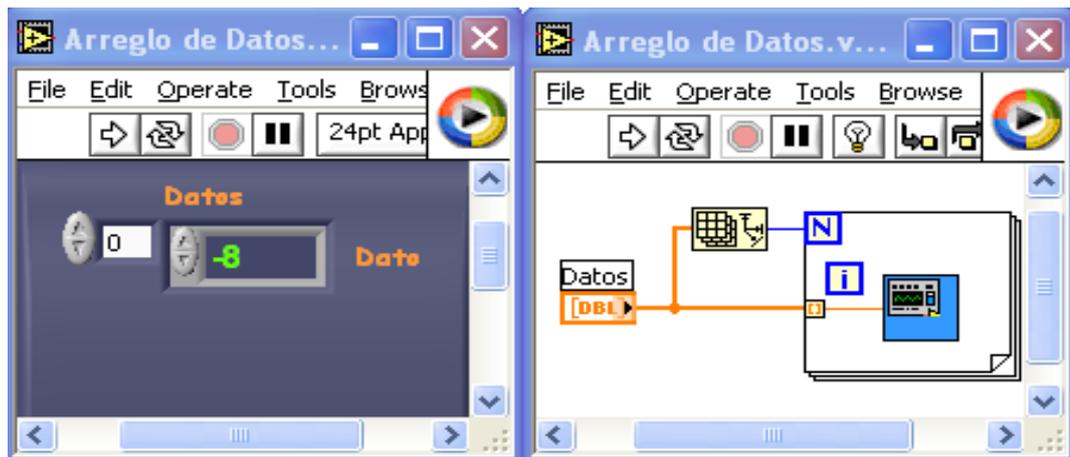
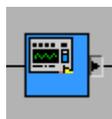


Figura 5.12 Arreglo de datos



Pulsos (Sub vi).- Dos tareas se realizan en paralelo, la primera es conocer si el valor de la coordenada corregida es positivo o negativo para seleccionar posteriormente el sentido de giro del motor y la segunda es obtener su valor absoluto para multiplicarlo por 100 (razón entre el ángulo de paso del motor y el husillo patrón de la máquina) (Figura 5.13)

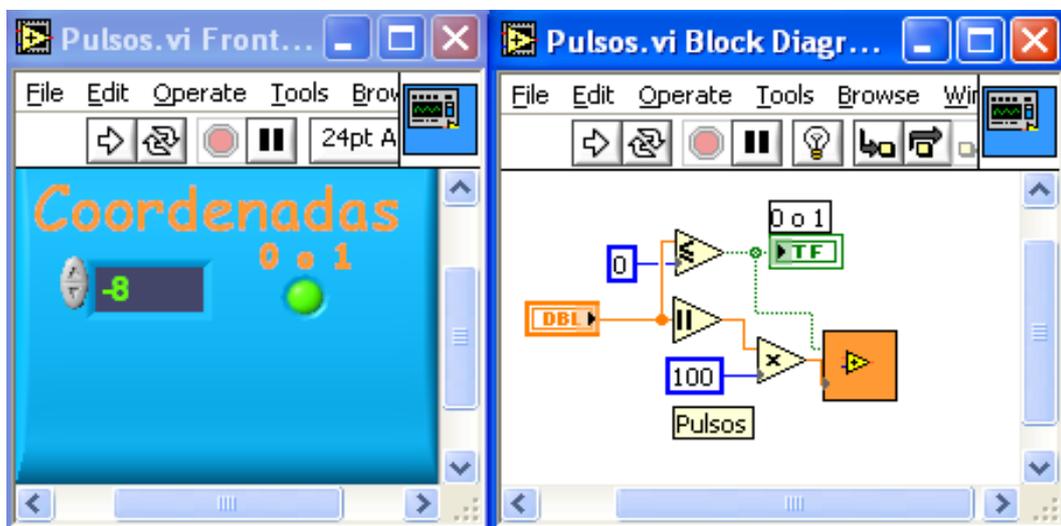
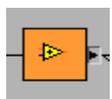


Figura 5.13 Discriminación de coordenadas y obtención del valor absoluto



Envío de datos en Paquetes (Sub vi).- Debido a que por el puerto serial se

envía la información máxima en 8 bits, cada valor (x, y ,z) corresponde a cada coordenada (16 bits), se ha empaquetado en dos Bytes, y además se envía un valor de 1 en el caso de que el sentido de giro sea izquierdo y 0 de ser el contrario (Figura 5.14)

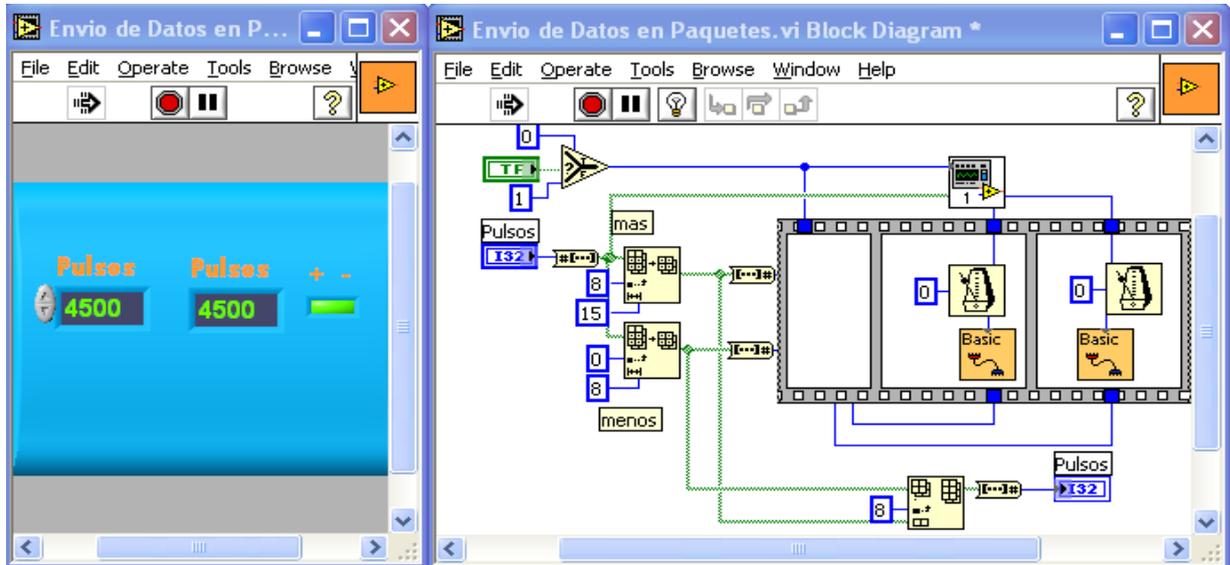
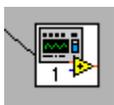


Figura 5.14 Datos en paquetes de dos Bytes



Izq Der (Sub vi).- La finalidad de este sub vi es que al saber que su sentido de giro es izquierdo, éste le agrega el bit 1 al valor más significativo del primer byte que se obtenga de cada eje en cada coordenada, o simplemente si el sentido de giro no ha variado, el valor de coordenada no se ve afectado y la información pasaría directamente al siguiente Sub vi (Figura 5.15)

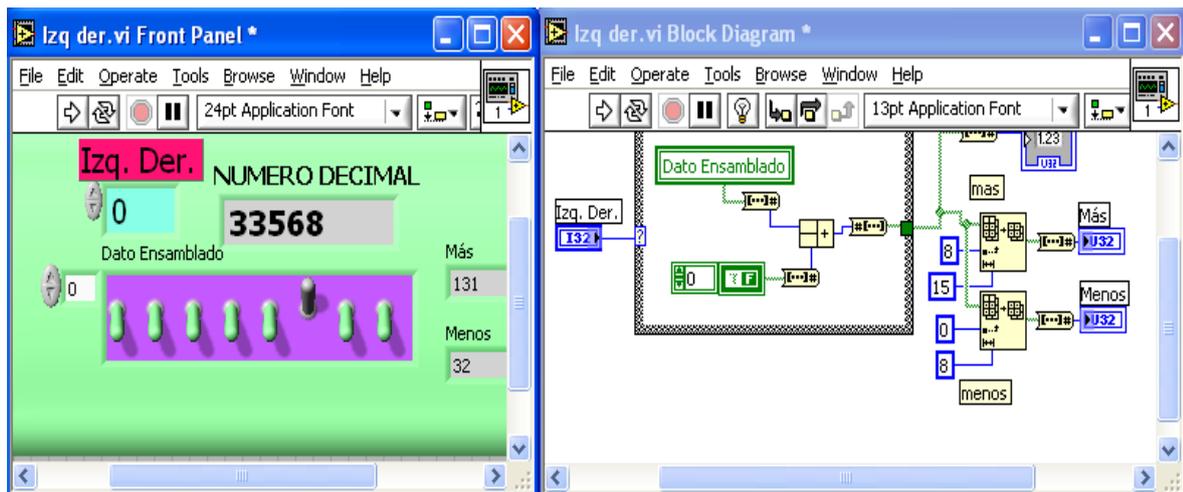
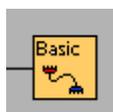


Figura 5.15 Selección de sentido de giro de los motores PaP



Envío De Datos A Puerto Serial (Sub vi).- Con la información hasta aquí obtenida el valor de pulsos obtenido y el sentido de giro adecuado; este sub vi lo que me permite es enviar la información a través del protocolo RS232 al PIC16F877 con el respectivo cambio a TTL en el MAX232 (Figura 5.16)

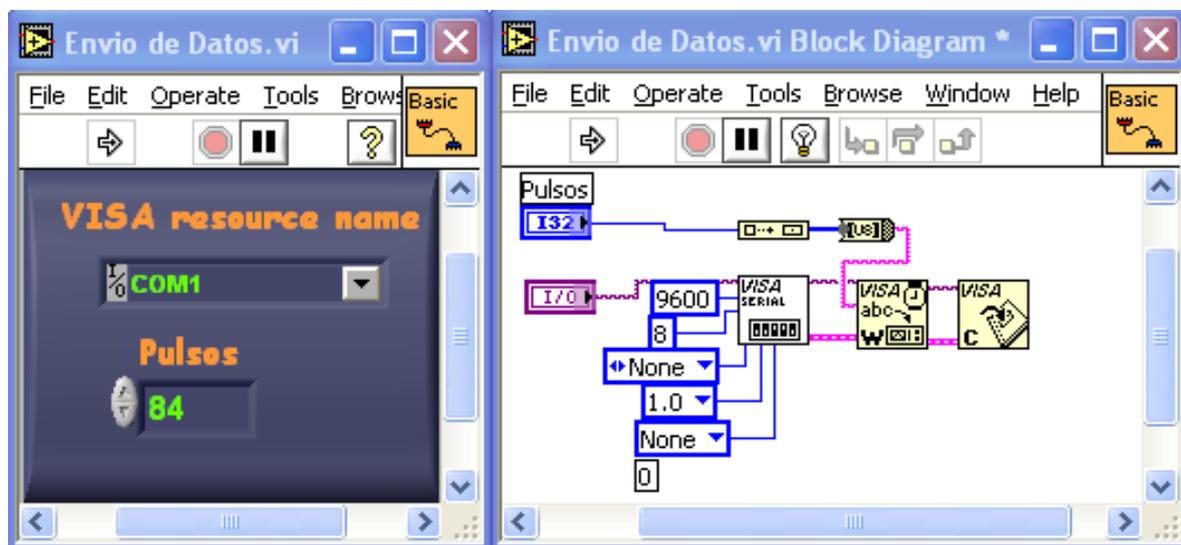


Figura 5.16 Envío de información al puerto serial

5.3.3 Calibración del Cero Absoluto el la Máquina

Siguiendo el procedimiento en el ítem 5.2.3 se procedió a seleccionar el Cero Absoluto, que como se indicó anteriormente es el valor inicial y de referencia que

necesita el microcontrolador para empezar a seguir entregando la información a cada uno de los motores paso a paso de acuerdo la rutina de diseño.

En la figura 5.17, se muestra una gráfica del momento de enceramamiento de la máquina.

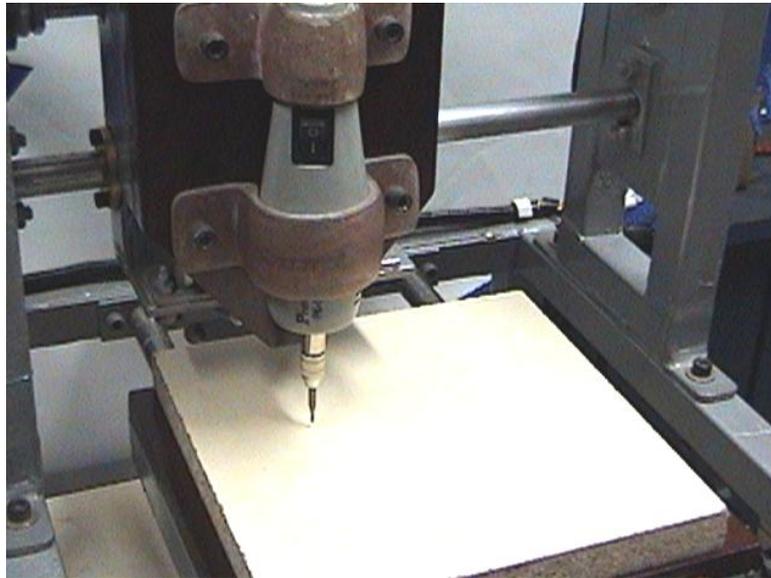


Figura 5.17 Calibración del Cero Absoluto en la Máquina Taladradora

5.3.4 Mecanizado de Agujeros

De acuerdo al diseño, que para este caso corresponde al ejemplo previamente establecido, la primera tarea que se ha seleccionado es el perforado de los cuatro agujeros y el material a ser mecanizado es madera, mostrados en el diseño principal. La broca que se eligió es de 3mm y una velocidad de corte de 80m/min (8500 rpm).(Figura 5.18)

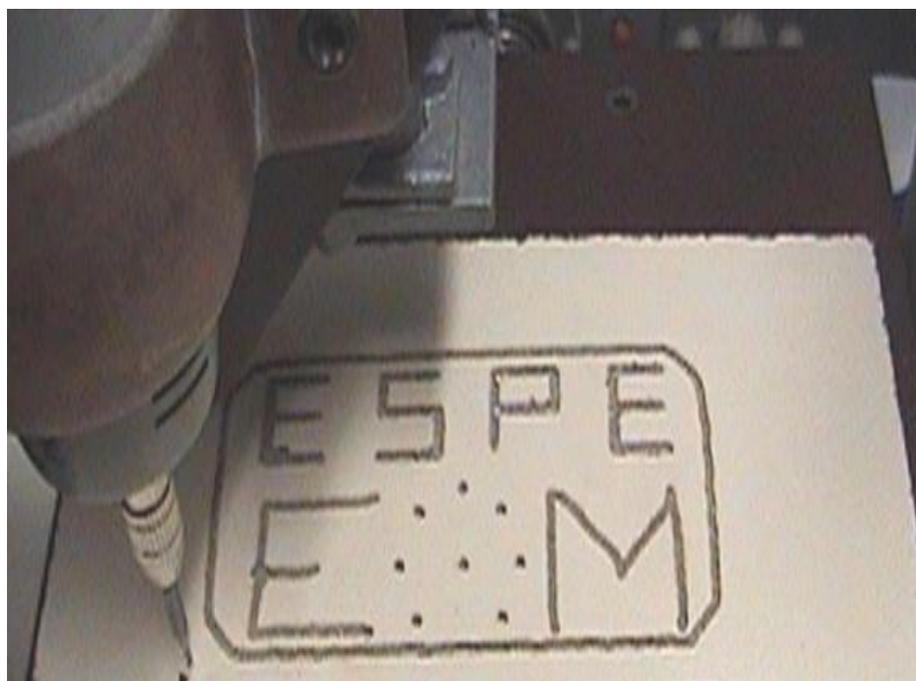


Figura 5.18 Operación de taladrado

5.3.4 Cambio de Herramienta

Una vez que termina el taladrado, el microcontrolador recibe la coordenada (0, 20, 40), se ubica en esta posición y produce un retardo (4 minutos) capaz de de que el operador pueda cambiar la herramienta (de broca a fresa de vástago de 3mm) (Figura 5.19), terminado el tiempo, la máquina automáticamente continua la siguiente operación.



Figura 5.19 Cambio de Herramienta (broca – fresa de vástago)

5.3.5 Mecanizado del Contorno (Letras E M)

En la tarea del mecanizado del contorno de las letras, se seleccionó por software primero la letra E, para luego posicionarse en la parte inferior izquierda de la letra M y continuar con su trabajo. Una vez terminada el posicionamiento de cada una de las coordenadas, la última que se envía es la que por defecto se generó en el Visual Fox; es decir, la posición final que alcance el cabezal taladrador, dando por culminado el mecanizado del diseño seleccionado.(Figura 5.20)

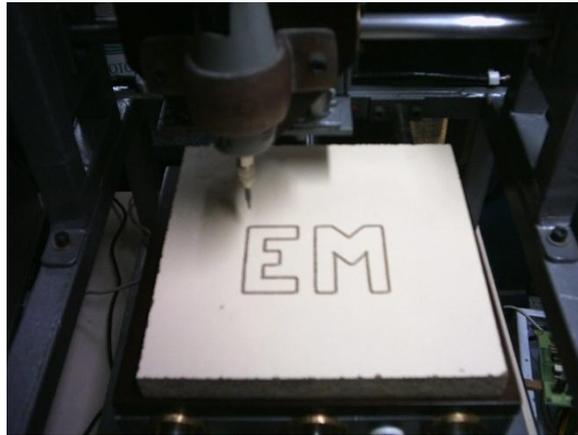


Figura 5.20 Operación de Fresado Vertical

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El desarrollo del diseño y construcción de este tipo de prototipos, garantiza que con la tecnología e investigación de personal técnico nacional es posible abaratar los costos que involucra el adquirir maquinaria de origen internacional, con la finalidad de estar acorde a los avances tecnológicos que la industria del control numérico nos brinda.
- Este tipo de proyecto CNC elaborado a bajo costo servirá para que instituciones educativas de nivel medio y superior así como de capacitación profesional, tengan la posibilidad de adquirir y poder impartir este tipo de conocimientos que en la actualidad la industria de la automatización nos facilita.
- La construcción de maquinaria CNC, garantiza precisión y exactitud en la elaboración de piezas fabricadas en serie, disminuyendo el tiempo de mecanizado e incrementando la producción
- La construcción de este prototipo de Máquina Taladradora CNC, servirá para que los alumnos de las diferentes Carreras entiendan, como funciona un sistema CAD / CAM, y cómo es el mecanizado automático de operaciones tan fundamentales como son el taladrado y el fresado vertical en forma didáctica.
- La base de datos para la manufactura automática, será generada desde un graficador asistido por computador, que tenga la opción de generar un historial de actividades y comandos realizados o bien un archivo con extensión nc ó nci, para posteriormente depurar esta información, armar una matriz de coordenadas y convertirlas éstas a señales eléctricas que serán las empleadas para el movimiento de los motores.
- El programa elaborado para el control de posición y de velocidad, tanto de los motores paso a paso para cada una de las coordenadas de desplazamiento, como para el motor del cabezal taladrador, así como la visualización de algunos parámetros, se encuentra centralizado en un Microcontrolador PIC16F877A, el

mismo que manejará los puertos tanto de entrada como de salida para los diferentes periféricos que en la máquina se encuentran.

- Para la elaboración de la Interfase en el PC y la Máquina Taladradora, en primer lugar se configuró el Puerto Serial en Lab View para la recepción y transmisión de la información, y a través del Protocolo RS232 por intermedio del MAX232 llegar al microcontrolador que será el que maneje todos los periféricos a ser controlados para la Máquina Taladradora.
- Para una mejor visualización en el sitio de mecanizado, tanto del desplazamiento de los ejes de coordenadas, variación de velocidad de los motores paso a paso así como del motor del cabezal taladrador; se ubicó un LCD en la caja de control del Prototipo.
- El uso de motores paso a paso, respecto al de servomotores, se basa en que aquellos se los puede manejar digitalmente, sin realimentación, su velocidad se la puede controlar, son pequeños y poseen un elevado torque en bajas revoluciones, lo que permite un bajo consumo de energía tanto en vacío como en plena carga, su mantenimiento es mínimo debido a que no tiene escobillas.
- Existe en la Web, algunos programas CAD/CAM gratuitos que generan codificaciones para el mecanizado en forma confusa, mas el algoritmo hecho en Visual Fox para la depuración como el realizado en Lab View para el ordenamiento de la información, es el aporte en la parte de software previo el mecanizado para cualquier archivo generado cuya extensión sea *txt*.

RECOMENDACIONES

- Incentivar que futuras generaciones, se involucren en el campo de la investigación mecatrónica ya que esta especialidad fusiona varias áreas del conocimiento técnico – científico que está revolucionando la automatización industrial.
- Sugerir que próximos egresados de la carrera de Ingeniería Electromecánica, continúen con el estudio del Control Numérico Computarizado con la finalidad de que se amplíen las bondades de este prototipo y se ponga en marcha la puesta en práctica en una máquina convencional.

- Plantear a manera de estudio e implementación dentro de la Carrera, la realización de una RED I²C para la ampliación de la capacidad de memoria del microcontrolador, con la finalidad de realizar proyectos de mecanizado cuya generación de coordenadas superen las proyectadas en este trabajo.
- Ampliar los campos de aplicación de este prototipo en las áreas: electrónica, mecánica, textil; mediante la generación de códigos de manufactura provenientes de paquetes tales como: protel, solid work, mechanical desktop, bobcadcam, etc.
- Investigar la precisión obtenida en el mecanizado con la sustitución de servomotores por los motores paso a paso empleados en esta aplicación.
- Perfeccionar el tratamiento de codificación de manufactura con la finalidad de que el procesamiento de la información sea elaborada en menos etapas.
- Mejorar el sistema de visualización de funcionamiento de este proyecto, con la implementación de un Panel Central.
- Incrementar el torque de la máquina, disminuyendo las revoluciones de los motores paso a paso, para mecanizar materiales cuya presión específica del material supere la de diseño, o se requiera fresar profundidades superiores a 5mm.
- Operar la máquina siempre y cuando se conozca su modo de funcionamiento, ó se haya leído el manual de instrucciones, que se encuentra en el Anexo D de este documento.
- Comenzar con una frecuencia de pulso baja y gradualmente ir aumentándola hasta la velocidad deseada sin superar la máxima tolerada, para obtener un arranque suave y preciso de los motores paso a paso empleados como medios de accionamiento en las mesas de coordenadas.
- Evitar que las bobinas queden magnetizadas luego de hacer una secuencia de pasos, puesto que pueden ocasionar el recalentamiento de las mismas, y por consiguiente puede quemar el motor. Para evitar el recalentamiento y evitar que el motor se quede libre en una posición no deseada, se recomienda utilizar un circuito denominado Controlador de Torque para los motores PaP.