

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**



**TEC**

Instituto Tecnológico de Costa Rica

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**Control numérico para una mesa de coordenadas**

Empresa:

**Escuela de Ingeniería Electromecánica.**

Estudiante:

Carlos Núñez Rojas

PROFESOR ASESOR:

Ing. Carlos Badilla

II Semestre 2002

## RESUMEN

Las grandes compañías como Intel necesitan actualizar sus equipos de una forma muy acelerada, por lo que también se deshacen de mucho equipo el cual aunque se encuentra en perfecto estado ya no cumple con los requerimientos que posee la empresa es por eso que esta y muchas otras empresa tienen acuerdos con institutos educativos para el aprovechamiento didáctico de los mismos.

Uno de estos centros educativos es el Instituto Tecnológico de Costa Rica, el cual recibe con agrado estos equipos y lleva a cabo planes de aprovechamiento, uno de estos planes es fabricar una mesa de coordenadas para colocarle una cortadora de plasma, con partes de lo que fue una ensambladora de microprocesadores Pentium II, esta se encargará de llevar a cabo cortes en metales gruesos de una forma precisa y segura.

Primeramente se probó el funcionamiento del equipo para asegurar la utilización del mismo para la mesa de coordenadas, luego se diseñaron los circuitos de control necesarios para lograr un total manejo del movimiento de la misma

El proyecto facilita el manejo de la mesa, ya que cuenta con un panel de control al cual se le puede adaptar cualquier tipo de interfaz que automatice los procesos de control.

Palabras claves: mesa de coordenadas, microprocesadores, circuitos de control, panel de control, interfaz.

## SUMMARY

The big companies like Intel need to modernize their equipments in a very quick way, for what they also come undone of a lot of equipment the one which although it is in perfect been it no longer fulfills the requirements of the company it is for that reason that this and many other companies has agreements with educational institutes for the didactic use of the same ones.

One of these educational centers is the Technological Institute of Costa Rica, which receives with pleasure these equipments and it carries out use plans, one of these plans is to manufacture a table of coordinates to place him a lawn mower of plasm, with parts of what was an microprocessors Pentium II assembler, this will take charge of taking to end courts in thick metals in a precise and sure way.

Firstly the operation of the project was proven to assure the use of the same one for the table of coordinates, after that the necessary control circuits were designed to achieve a total handling of the movement of the same one

The project facilitates the handling of the table, since bill with a control panel to which any interface type can be adapted which automates the control processes.

Key words: table of coordinates, microprocessors, control circuits, control panel, interface.

## Tabla de contenidos

<b>CAPITULO 1</b> .....	7
<b>Descripción de la empresa</b> .....	7
<b>1.1 AREA MECÁNICA</b> .....	7
<b>1.2 AREA ELÉCTRICA</b> .....	8
<b>1.3 AREA ADMINISTRATIVA</b> .....	9
<b>CAPITULO 2</b> .....	10
<b>Descripción e importancia del problema</b> .....	10
<b>2.1 Descripción del problema</b> .....	10
<b>2.2 Importancia del problema</b> .....	11
<b>2.3 Antecedentes</b> .....	11
<b>CAPITULO 3</b> .....	12
<b>Marco Teórico</b> .....	12
<b>3.1 Descripción de la mesa de coordenadas</b> .....	12
<b>3.2 Equipo mecánico</b> .....	13
3.2.1 Servomotores .....	15
<b>3.3 Equipo electrónico</b> .....	16
3.3.1 Amplificadores servos.....	16
3.3.2 Controlador Lógico Programable ( PLC ).....	16
<b>CAPITULO 4</b> .....	19
<b>Solución propuesta</b> .....	19
<b>4.1 Descripción General</b> .....	19
4.1.1 Funcionamiento.....	21
4.1.2 Programación del PLC .....	23
4.1.3 Hardware .....	23
<b>4.2 Especificaciones del sistema</b> .....	28
4.2.1 Controladora de mesa de coordenadas.....	28

<b>CAPITULO 5</b> .....	29
<b>Objetivos</b> .....	29
<b>5.1 Objetivo General</b> .....	29
<b>5.2 Objetivos Específicos</b> .....	29
5.2.1 Objetivos de Hardware.....	29
5.2.2 Objetivos de Software.....	29
<b>Capítulo 6</b> .....	30
<b>Metodología</b> .....	30
<b>CAPITULO 7</b> .....	34
<b>Descripción detallada de la solución</b> .....	34
<b>7.1 Descripción del hardware</b> .....	34
7.1.1 Circuito de pruebas de movimiento.....	34
7.1.2 Circuito para determinar la distancia que ha recorrido la pieza móvil.....	37
7.1.3 Botonera.....	37
<b>7.2 Descripción del software</b> .....	37
7.2.1 Programación del PLC.....	37
<b>CAPITULO 8</b> .....	41
<b>Bibliografía</b> .....	41
<b>CAPITULO 9</b> .....	42
<b>Apéndices</b> .....	42

## Índice de figuras

FIGURA 3.1 FORMA GENERAL DE LA MESA DE COORDENADAS.....	12
FIGURA 3.2 VISTA SUPERIOR DE LA MESA.....	13
FIGURA 3.3 FOTOGRAFÍA DE UN SISTEMA SIMILAR AL QUE SE UTILIZA EN ESTE PROYECTO.	14
FIGURA 4.1 LAS 8 DIRECCIONES BÁSICAS DE MOVIMIENTO DE LA PIEZA MÓVIL EN UNA MESA DE COORDENADAS.....	19
FIGURA 4.2 DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.....	21
FIGURA 4.3 DIAGRAMA BÁSICO DE LA INTERFAZ A IMPLEMENTAR.....	24
FIGURA 4.4 APARIENCIA DEL PANEL A CONSTRUIR.....	25
FIGURA 7.1 CIRCUITO PARA REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MESA DE COORDENADAS.....	35
FIGURA 7.2 ORDEN PARA REALIZAR UN MOVIMIENTO EN FORMA DE CUADRO.....	39

## Índice de tablas

Tabla 7.1 Descripción de botones a presionar para lograr los 8 movimientos básicos. ...	36
Tabla 7.2 Asignación de señales para programar un PLC mitsubishi Fx1N.....	38
Tabla 7.3 Relación de cantidad de pulsos versus distancia recorrida.....	38

## **AGRADECIMIENTO**

Primero que todo quiero agradecer a DIOS sobre todas las cosas por haberme dado la bendición de poder estudiar.

Luego a mis padres por haberme dado la lección de mi vida y demostrarme que con perseverancia cualquier meta se puede alcanzar.

Y finalmente quiero agradecer de forma muy especial a mis profesores tanto mi profesor asesor don Carlos Badilla como a mi supervisora de proyecto Ana Lucia Morera por su esmero y dedicación para ayudarme en la realización de este proyecto.

## **CAPITULO 1**

### **Descripción de la empresa**

---

La escuela de Ingeniería Electromecánica inicia su funcionamiento en conjunto con el Instituto Tecnológico de Costa Rica, solo que su nombre anterior con el cual aún se le conoce es el de “Escuela de ingeniería en mantenimiento industrial”.

Desde el punto de vista académico, esta escuela se apoya en tres disciplinas académicas clásicas: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Eléctrica y Administración de Empresas, siendo el común denominador de todas ellas, la necesidad cotidiana a que se enfrenta el ingeniero de planta de programar el mantenimiento de los equipos industriales (electromecánicos en su mayoría), administrar los recursos humanos y físicos de la empresa, realizar el diseño e instalación de los sistemas de producción o el diseño y fabricación de partes y repuestos para la maquinarias, etc.

La escuela de ingeniería electromecánica tiene como principal fin formar profesionales para trabajar especialmente en plantas industriales y empresas productoras de bienes y/o servicios.

Los Ingenieros que se gradúan de esta escuela tienen conocimientos muy sólidos de la ingeniería y de la administración de los recursos humanos además dominan herramientas computacionales para la solución de problemas técnicos electromecánicos así como para la solución de problemas administrativos.

La formación teórica-práctica que se imparte en la escuela es la siguiente:

#### **1.1 AREA MECÁNICA.**

- ❑ Cálculo y diseño de elementos y mecanismos de uso general
- ❑ Cálculo y diseño de sistemas de transporte de materiales sólidos y fluidos
- ❑ Cálculo y diseño de sistemas hidroneumáticos de aplicación industrial
- ❑ Diseño de planos y diagramas mecánicos para las instalaciones eléctricas
- ❑ Levantamiento complejo de planos sobre instalaciones consolidadas



- ❑ Cálculo de potencia mecánica y eléctrica de máquinas de uso industrial
- ❑ Cálculo de consumo y producción energética de máquinas de ciclos industriales, y la optimización energética de los mismos
- ❑ Cálculo, selección y mantenimiento de turbo máquinas y sistemas de aire comprimido
- ❑ Cálculo, selección, mantenimiento e inspección de generadores de vapor
- ❑ Cálculo y mantenimiento de equipo de refrigeración
- ❑ Cálculo y mantenimiento de sistemas de aire acondicionado

## **1.2 AREA ELÉCTRICA.**

- ❑ Diseño y levantamiento de planos eléctricos industriales
- ❑ Análisis de fallas en máquinas y equipo eléctrico general por medio de la medición e interpretación de variables y parámetros eléctricos y mecánicos
- ❑ Diseño de sistemas de automatización
- ❑ Cálculo y diseño de sistemas de control y protección eléctrica
- ❑ Cálculo, selección, diseño y montaje de redes eléctricas de baja tensión.
- ❑ Mantenimiento de redes eléctricas de baja tensión con criterios de uso racional de la energía eléctrica
- ❑ Mantenimiento y operación de redes de mediana tensión

### **1.3 AREA ADMINISTRATIVA**

- ❑ Organizar, planificar y controlar el mantenimiento de la maquinaria y equipos electromecánicos de una empresa, ya sea industrial o de bienes y servicios, haciendo uso de sistemas y tecnologías modernas para la administración del mantenimiento
- ❑ Manejo de las normas de seguridad y el análisis de costos en la toma de decisiones referidas al diseño, selección, montaje y puesta en marcha de maquinaria y equipos
- ❑ Organizar y controlar los inventarios de materiales repuestos y herramientas de una empresa
- ❑ Diseño, evaluación y administración de proyectos afines a la ingeniería electromecánica
- ❑ Organizar, planificar y controlar el recurso humano encargado del mantenimiento de maquinaria y equipos electromecánicos

## **CAPITULO 2**

### **Descripción e importancia del problema**

---

La Escuela de Ingeniería Electromecánica ha recibido varias donaciones de diferentes partes del mundo y de diferentes empresas privadas. El propósito principal de estos equipos es utilizarlos con fines educativos. Este objetivo se ha venido cumpliendo gracias al esfuerzo del personal docente y de los empleados de la escuela en general.

Producto de estos esfuerzos se ha logrado obtener varias donaciones entre las que se encuentra una mesa de coordenadas controlada por dos servo motores los cuales mueven una pieza en cualquiera de las posiciones del plano XY bajo la mesa. Además entre las múltiples tareas que se realizan en la escuela de electromecánica se encuentran la construcción de estructuras metálicas con diferente grado de complejidad. Para la realización de estas estructuras se necesita cortar y soldar láminas metálicas de muy variadas formas.

#### **2.1 Descripción del problema**

El corte de las láminas se realiza en la actualidad con una cortadora de plasma de una forma completamente manual, primero se realizan unos dibujos de la pieza que se va a cortar y luego este dibujo se coloca sobre las placas metálicas para que el operario pueda seguir el contorno manualmente. Esto tiene como consecuencia una indudable falta de precisión en estos cortes y además se pierde mucho tiempo limando asperezas para obtener las piezas de la forma que se requiere.

También existe la posibilidad de que el operario no siga adecuadamente el dibujo provocando pérdidas de material y tiempo todo eso sin tomar en cuenta el peligro que corre el operador de la cortadora, de que suceda algún accidente, ya que se tiene que estar muy cerca de las pesadas placas metálicas para hacer los cortes.

## **2.2 Importancia del problema**

La idea es adaptar esa cortadora de plasma a la mesa de coordenadas ya existente para que con base en un control numérico, se realicen esos cortes de una forma más precisa y segura.

Primeramente los cortes ya no se harían de forma manual sino que simplemente se programa el equipo para que este siga el contorno que se desee de forma automática, además de que los cortes se podrían realizar a una prudente distancia de la máquina e incluso se podrían realizar desde una oficina remota al sistema.

De esta manera se pueden obtener cortes más precisos de una forma más segura.

## **2.3 Antecedentes**

Realmente las donaciones para la escuela de ingeniería electromecánica y otras escuelas, se han adaptado para muchos fines docentes, pero las posibilidades son muchas y el problema es que ni los profesores ni el personal de las escuelas disponen de recursos y mucho menos de tiempo para poder realizar una gran cantidad de los proyectos que se podrían implementar, por lo que la Escuela de Ingeniería Electromecánica opta por la idea de realizar estos proyectos con la ayuda de los empresas, estudiantes y de otras escuelas como la de Ingeniería en Electrónica y el de Ingeniería en Computación.

Concretamente respecto a la mesa de coordenadas objeto de este proyecto ya se realizó la tarea de extraerla de su posición anterior y ahora esta colocada solamente con su antiguo controlador pero aún no se ha puesto a funcionar.

Una vez logrado su funcionamiento controlado entonces se procederá con las pruebas finales y la configuración de la misma para por último incorporar la cortadora de plasma.

### CAPITULO 3

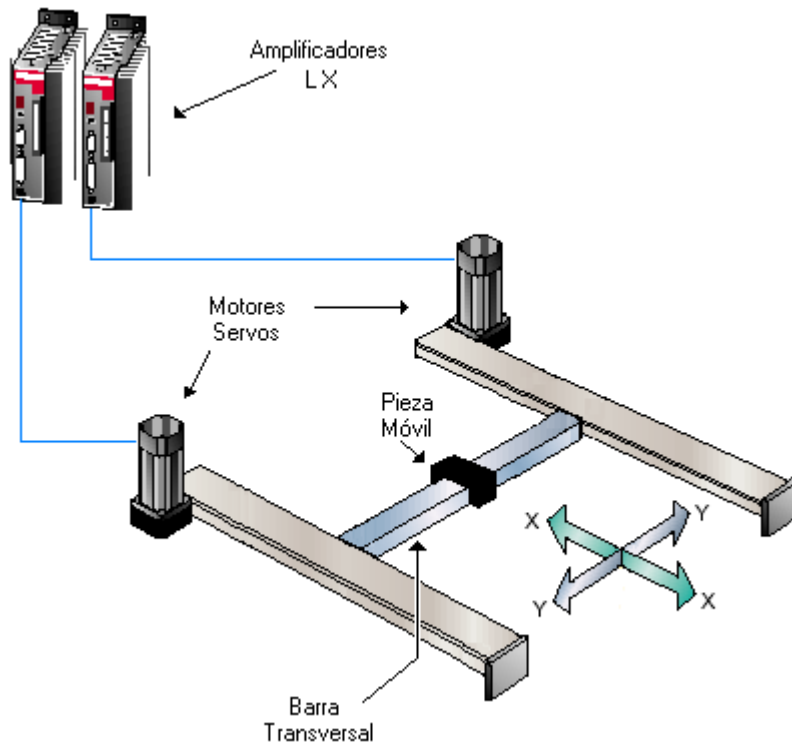
#### Marco Teórico

---

Primeramente se realizará una breve descripción de la mesa de coordenadas en si y luego se procederá a profundizar en cada una de los componentes de ella según sea necesario.

#### 3.1 Descripción de la mesa de coordenadas

Esta máquina cuenta con dos rieles metálicos por los cuales se desplaza una barra transversal la cual a su vez tiene una pequeña pieza que se desplaza sobre la barra logrando así colocar la pieza móvil sobre cualquiera de las posiciones del plano X,Y debajo de la máquina y en la cual se instalará la cortadora de plasma. Esta, a grandes rasgos tiene la forma que se indica en la figura 1.



**Figura 3.1** Forma general de la mesa de coordenadas.

La tracción de la máquina es completamente controlada por los dos servo motores de 1.5 caballos de fuerza que, por medio de un sistema de bandas de hule dentadas, producen los movimientos básicos.

La idea es colocar la punta de la cortadora de plasma en la pieza móvil y lograr que el equipo automáticamente se encargue de realizar los movimientos sobre la lámina que se va a cortar.

Actualmente el interruptor que deberá encender la cortadora se encuentra en la punta de la cortadora por esa razón ese interruptor se trasladará a una posición fija externa junto con el equipo de controles. Con esto se lograría una precisión mucho mayor de los cortes y además se podrían realizar cortes predeterminados con mayor facilidad, como por ejemplo pequeños orificios o cortes redondeados o inclusive algunos ángulos.

En la actualidad esta máquina no esta funcionando, ni siquiera se conoce si se encuentra en buen estado, o si esta armada e instalada correctamente.

### 3.2 Equipo mecánico

La construcción mecánica de esta máquina fue realizada por la compañía Automation Tooling Systems (ATS), de la cual se pudo obtener la siguiente información:

#### Características Principales:

- Nombre del sistema : Superbot (Versión H)
- Tipo de Motor : Servo.
- Diseño : Mesa cartesiana.
- Manejado por : Banda de Hule.
- Distancia máxima de desplazamiento: Cuadrado ( 1 m X 1 m )

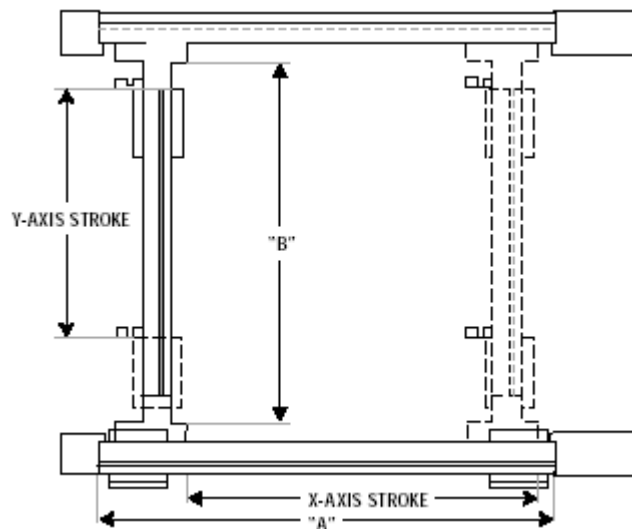
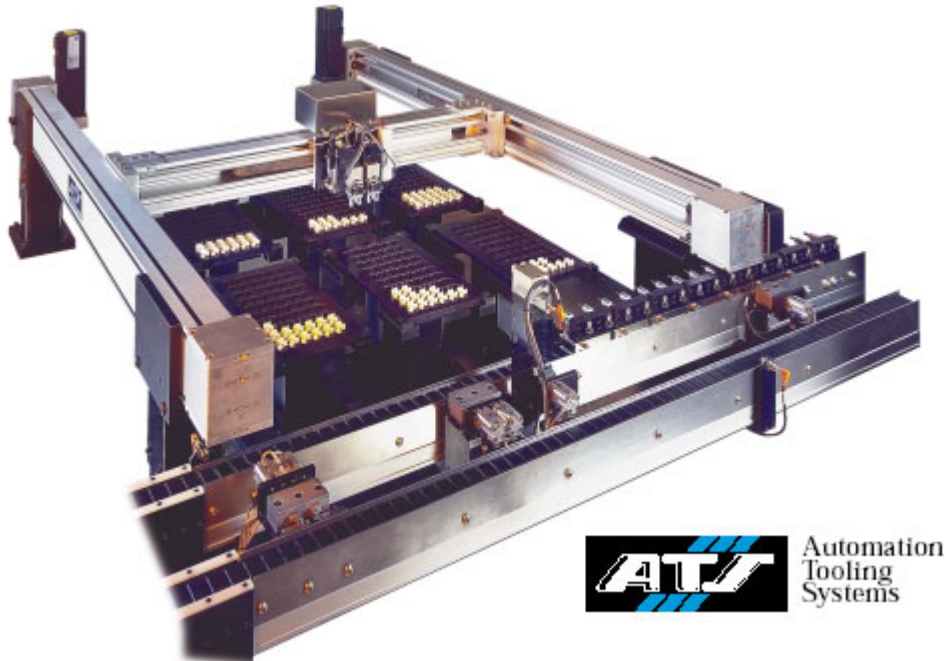


Figura 3.2 Vista superior de la mesa.

El sistema general se ve de la siguiente manera:



**Figura 3.3** Fotografía de un sistema similar al que se utiliza en este proyecto.<sup>1</sup>

El funcionamiento mecánico de esta mesa de coordenadas es muy sencilla, únicamente el sistema cuenta con una banda de hule dentada que esta interconectada alrededor de todos los 2 servomotores y la pieza móvil, los motores con diferentes combinaciones de giro pueden lograr desplazar esta pieza móvil<sup>2</sup> sobre cualquier parte debajo del plano XY que forman bajo ella

Ahora se procederá a la descripción de cada uno de los componentes que se utilizarán en la realización de este proyecto.

---

<sup>1</sup> Ver cita bibliográfica 5.

<sup>2</sup> Ver figura 1.

### **3.2.1 Servomotores**

Un servomotor es un tipo de motor eléctrico de precisión en el cual se pueden controlar su velocidad y/o posición, en general se puede decir que es un dispositivo que tiene un eje en el cual se controlan sus posiciones angulares por medio de señales codificadas.

Los tipos de servomotores más comunes son los de corriente directa (o continua) con escobillas, conocidos como DC con escobillas, y los motores sin escobillas (**brushless**), de corriente alterna (AC) o directa (DC).

#### **Control de velocidad de un servo motor**

Para poder controlar la velocidad de un servomotor, se requiere del uso de un servo amplificador. Este último normalmente recibe una pequeña señal (típicamente +/- 10Volts) proporcional a la velocidad a la que debe girar el motor y el servo amplificador se encarga de amplificarla de unos cuantos miliwatts a decenas, centenas e incluso miles de watts.

Con el equipo de control adecuado el servo amplificador puede lograr controlar también el giro del motor basado en su posición (ángulo).

#### **Utilización de los servo-motores**

Su principal uso es en sistemas de control tales como movimiento de palancas pequeños ascensores y robots en general, las partes de un sistema completo de servo control son una circuitería de control, un potenciómetro, un motor eléctrico, sistema de reducción, caja o cuerpo y alambres de conexión interna.

A pesar de su poco tamaño estos motores son muy eficientes y tienen una gran capacidad para soportar cargas



### **3.3 Equipo electrónico**

Esta sección se divide en 2 partes una que corresponde a los amplificadores de los motores y una segunda que corresponde al PLC.

#### **3.3.1 Amplificadores servos**

Los amplificadores servos son dispositivos electrónicos que se encargan de realizar la tarea de separar las señales de control de las señales de potencia de los motores, existen una gran variedad de tipos, algunos también se encargan de realizar tareas de posicionamiento, llevan a cabo monitoreos y muchas otras funciones que varían según el modelo y según el tipo de servo motor que se desee controlar.

Poseen gran variedad de funciones y por lo general cuenta con gran facilidad de configuración, pero su principal función es comunicar la etapa de control con motores de alta potencia.

#### **3.3.2 Controlador Lógico Programable ( PLC )**

Un controlador lógico programable (PLC) es un dispositivo electrónico que controla máquinas y procesos. Utiliza una memoria programable para almacenar y ejecutar instrucciones específicas que incluyen control de activación y desactivación, temporización, conteo, secuencia, aritmética y manejo de datos.

El desarrollo de los PLCs<sup>3</sup> comenzó en 1968 en respuesta a una petición de la División Hidráulica de General Motors (GM). En ese entonces, GM frecuentemente usaba días o semanas reemplazando sistemas inflexibles de control basados en relay's, siempre que cambiaba modelos de automóviles o hacía modificaciones de línea. A fin de reducir el alto costo del recableado, la especificación de control de GM pedía un sistema de estado sólido que tuviera la flexibilidad de una computadora, pero que los ingenieros de planta y los técnicos pudieran programar y dar mantenimiento. Además tenía que ser resistente a la

---

<sup>3</sup> Richard E. Morley es conocido como el creador del primer controlador lógico programable (PLC). Es el fundador de las compañías Modicon (ahora Schneider Automation Inc.) y Andover Controls. Es un reconocido experto en el campo del diseño de computadores, inteligencia artificial y automatización. Para más información sobre la biografía de Richard Morley, ver cita bibliográfica 1 )

contaminación del aire, la vibración, el ruido eléctrico, la humedad y temperaturas extremas, los cuales se encuentran en el ambiente industrial.

El primer PLC se instaló en 1969 y rápidamente se convirtió en un éxito. Aún los primeros PLCs, que funcionaban como reemplazos de relés, eran más confiables que los sistemas basados en relés, debido principalmente a la robustez de sus componentes de estado sólido comparada con la de las partes móviles en los relés electromecánicos. Los PLCs proporcionaron ahorros en los costos de material, instalación, localización y corrección de problemas y mano de obra, al reducir el cableado y los correspondientes errores de cableado. Además ocupaban menos lugar que los contadores, temporizadores y otros componentes de control que éstos reemplazaban. Su capacidad para ser reprogramados aumentó notablemente su flexibilidad cuando se cambiaban los diagramas de control.

### **Características de los PLCs**

- *Confiabilidad:* una vez que un programa se ha escrito y se han localizado y corregido errores, éste puede fácilmente transferirse y descargarse a otros PLCs. Esto reduce el tiempo de programación, reduce la localización y corrección de errores y aumenta la confiabilidad.
- *Flexibilidad:* las modificaciones del programa pueden hacerse con sólo presionar unas cuantas teclas.
- *Funciones avanzadas:* los PLCs pueden ejecutar una amplia variedad de tareas de control, desde una sola acción repetitiva hasta el control complejo de datos.
- *Comunicaciones:* la comunicación con interfaces de operador, otros PLCs o computadoras, facilita la recogida de datos y el intercambio de información. Estas comunicaciones se llevan a cabo por medio de un puerto de comunicaciones serie de acuerdo a las especificaciones Serie RS-232 y usan el protocolo MODBUS.
- *Velocidad:* muchas aplicaciones de automatización requieren de la capacidad de respuesta rápida del PLC.

- *Diagnósticos*: la capacidad de localización y corrección de problemas de los dispositivos de programación, y las utilidades de diagnósticos que residen en el PLC, permiten a los usuarios localizar y corregir fácilmente los problemas de software y hardware.

### **Aplicaciones tradicionales de los PLCs**

En cualquier tipo de aplicación, el uso del PLC ayuda a aumentar la competitividad. Los procesos que usan PLC incluyen: empaçado, embotellado y enlatado, manejo de materiales, fabricación de productos, generación de alimentación de energía eléctrica, sistemas de control en calefacción y aire acondicionado, sistemas de seguridad, ensamble automatizado, líneas de pintura y tratamiento de agua. Los PLCs se aplican a una gran variedad de tipos de industrias, incluyendo alimentos y bebidas, automotriz, química, plásticos, pulpa y papel, farmacéutica y metales. De hecho, cualquier aplicación que requiere de control eléctrico puede usar un PLC.

## CAPITULO 4

### Solución propuesta

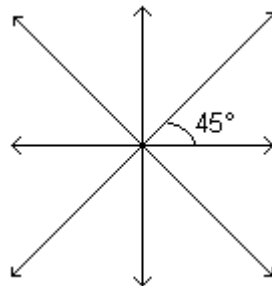
---

#### 4.1 Descripción General

El proyecto tendrá varias etapas:

Una primera etapa de investigación sobre el estado y funcionamiento del aparato, además de la investigación y obtención de diagramas, dibujos y manuales para lograr el funcionamiento de los movimientos básicos del sistema.

La segunda etapa en donde se construirá un pequeño circuito con resistencias y botones para asegurarse de poder obtener los 8 movimientos básicos de una mesa de coordenadas, estos 8 movimientos se describen en la figura 4.



**Figura 4.1** Las 8 direcciones básicas de movimiento de la pieza móvil en una mesa de coordenadas.

La tercera y última etapa de este proyecto será crear una interfaz entre la mesa de coordenadas y un PLC para controlar los 8 movimientos de una forma precisa y medida en donde se controlara no solo la dirección de los movimientos sino que también las distancias de movimiento.

Con esto se programará en el PLC para que se le pueda indicar las dimensiones de la figura que se desea lograr siempre y cuando esta se pueda implementar con los 8 movimientos básicos de la mesa.<sup>4</sup>

Finalmente una cuarta etapa que consistiría en comunicar el PLC con un computador para así lograr movimientos más complejos de figuras más detalladas y de difícil construcción con la ayuda de programas de dibujo como Autocad u otros.

La mesa de coordenadas se encontraba colocada en una compleja máquina de cierto propósito desconocido, por lo que se debe empezar por readaptarla para que cumpla con la nueva tarea asignada. Se debe investigar el funcionamiento de los servomotores y crear un control para que la pieza se mueva según se desee.

La máquina solo es controlada por 2 servos y bandas elásticas dentadas por lo que para lograr los 4 movimientos se deben programar diferentes combinaciones de giro de esos motores y así obtener la dirección deseada.

Una vez logrado eso se facilita la posibilidad de crear un proyecto aun mayor en donde estos cortes se puedan hacer de una forma completamente automática con la ayuda de una PC o un PLC.

Específicamente en este proyecto se implementarán estos movimientos con la ayuda de un PLC el cual recibirá las instrucciones de la botonera de forma tal que este pueda interpretar las dimensiones de la figura que se desea trazar, así el PLC hará que la pieza móvil realice el trazo automáticamente y a una velocidad ajustable.

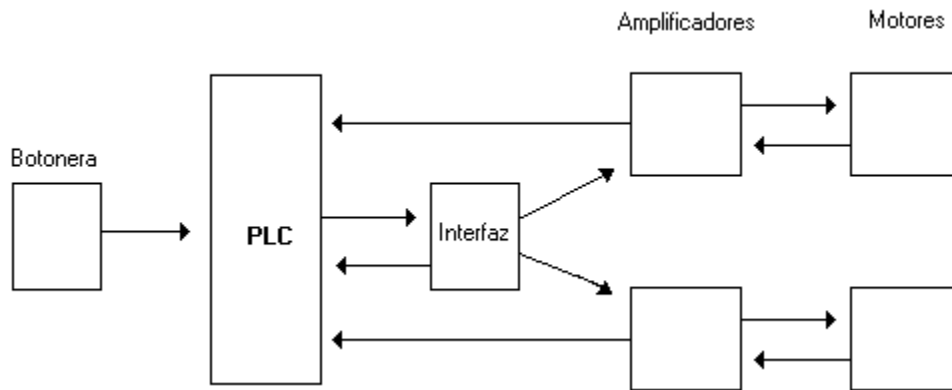
Para lograr la solución de este proyecto se construirá o implementará un circuito que le indicará al PLC la distancia que se ha recorrido logrando los trazos del tamaño que se desean y el PLC se programará de forma tal que determine cuando debe cambiar de dirección o cuando deben terminar el movimiento, según las indicaciones dadas por el usuario.

---

<sup>4</sup> Es importante mencionar que la colocación de la cortadora de plasma en la mesa de coordenadas no forma parte de este proyecto.

### 4.1.1 Funcionamiento

El sistema completo funcionará de la siguiente manera: Primero el usuario indicará al sistema la figura que deberá “formar” la pieza móvil de la mesa de coordenadas y el tamaño requerido por medio de una botonera que esta conectada al PLC una vez especificada la figura, se procede a dar la orden de inicio. Automáticamente el PLC se encargará de enviar las órdenes a la interfaz que controla los amplificadores de los motores. Estos a su vez envían señales al PLC para indicarle la distancia que se ha recorrido y así este pueda tomar decisiones como cambiar de dirección o detener el movimiento y así lograr el recorrido que se programó inicialmente.



**Figura 4.2** Diagrama de bloques general de la solución propuesta.

Los módulos que integran el sistema son los siguientes:

**Botonera:** Esta simplemente se encargará de comunicar al operario con el sistema. Su principal función es permitir la programación del tamaño de figuras predeterminadas así como poder recibir una señal de inicio que indique al sistema cuando iniciar el movimiento, También es importante que se le pueda indicar una señal de pare de emergencia.

**PLC:** Es el cerebro del sistema. Por medio de la botonera debe permitir que se programe para que pueda, no solo controlar la dirección y movimiento de los servo motores automáticamente, sino que también se realimenta de estos para tomar decisiones como cambios de dirección o detener el movimiento según el contorno programado lo requiera.

**Interfaz:** Este pequeño sistema funciona como un convertidor de señales ya que debe interpretar las señales que envía el PLC y hacerlas comprensibles para los servo amplificadores, funcionando como un puente de comunicaciones, además debe tener la posibilidad de recibir señales de control de velocidad que faciliten la eficiencia de los cortes según se requiera.

**Amplificadores:** La principal función de los amplificadores es la de convertir las señales de control en señales de potencia para lograr el movimiento de los motores. Además, estos deben contar con un dispositivo que reciba señales de los motores que permitan determinar su posición para comunicársela al PLC y este tome las decisiones necesarias.

**Motores:** Son los encargados de lograr la locomoción del sistema, es importante que estos cuenten con un decodificador de posición para que envíe señales a los amplificadores y estos a su vez se comuniquen con el PLC.

Los componentes necesarios para llevar a cabo este proyecto son:

- Una botonera que puede consistir incluso en un simple juego de interruptores que permitan comunicar al operario con el PLC.
- Un PLC compacto y sencillo de programar. Más importante es que cuente al menos con 2 contactos comunes separados para las salidas, además de varias entradas entre ellas 2 entradas de alta velocidad que permitan monitorear la posición o distancia recorrida por los servo motores.
- Para la construcción de la interfaz solo se necesitan algunas resistencias y la incorporación de un potenciómetro que permita regular la tensión que se aplicará a los amplificadores recordando que esa tensión es proporcional a la velocidad de los servo motores<sup>5</sup>, por lo que un control de esa tensión implica un control de la velocidad de los motores y por consiguiente un control de la velocidad de la pieza móvil.

---

<sup>5</sup> Ver mas información en control de velocidad de un servo motor en el marco teórico pagina 12

- Los amplificadores y motores: deben ser de tipo servo sin embargo hay que tomar en cuenta que tengan la suficiente potencia para mover adecuadamente la pieza móvil de la mesa de coordenadas, y que cuenten con amplificadores correspondientes además deben tener algún sistema de decodificación capaz de enviar señales o pulsos que determinen la posición o distancia recorrida por los motores.

#### **4.1.2 Programación del PLC**

Primeramente se debe determinar las diferentes opciones de formas que se van a implementar y estas se indicarán con un diferente número o interruptor. Luego se debe solicitar la entrada de las dimensiones de la figura en cuestión y por último se recibirá la orden de inicio del movimiento. El programa debe realizar todos los movimientos en una secuencia automática y debe tener la posibilidad de recibir un paro de emergencia en cualquier momento de la operación, por ejemplo para hacer un cuadro se debe proceder de la siguiente forma:

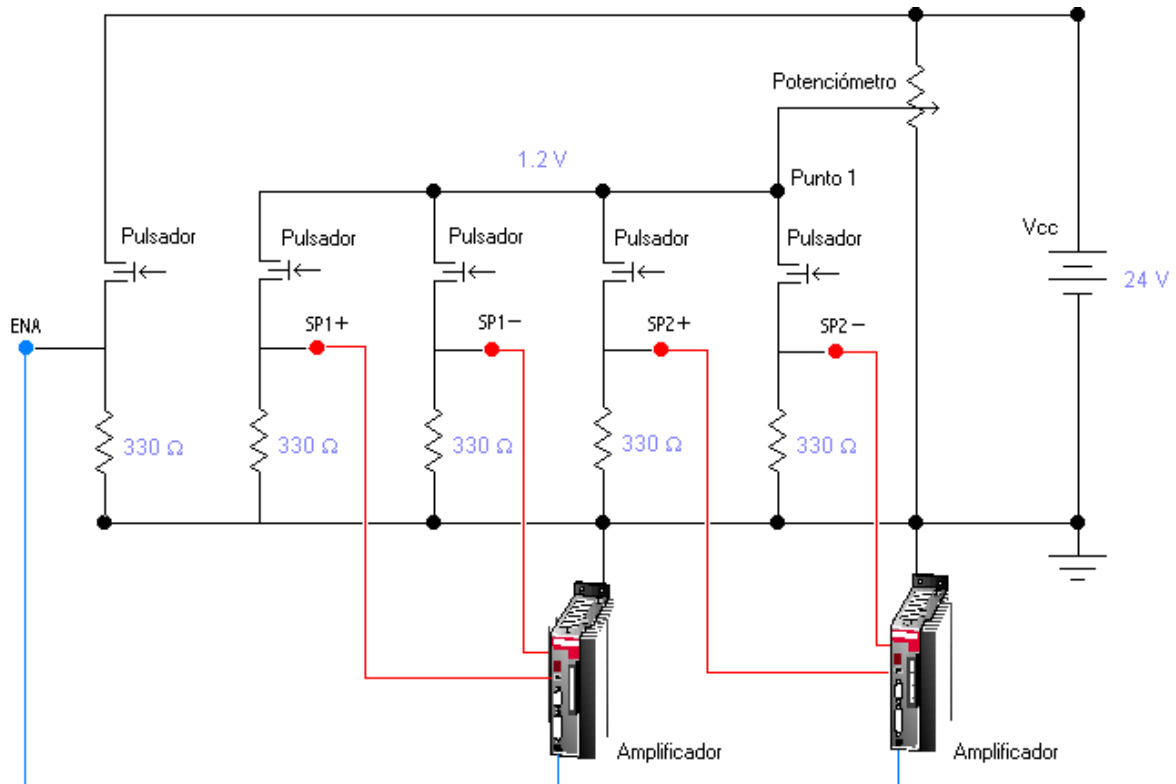
El operario indica el tipo de figura que desea realizar. Luego el programa le solicitara colocar la máquina en una posición inicial seguidamente se requerirá introducir el largo en cm de uno de los lados del cuadrado una vez programados esos datos, el sistema ya está listo para recibir la orden de inicio de figura. La mesa de coordenadas automáticamente, e iniciando siempre en una dirección determinada, iniciará la trayectoria seleccionada y no terminará hasta lograr regresar en este caso al mismo punto o hasta que se de una señal de paro de emergencia.

#### **4.1.3 Hardware**

Siguiendo el diagrama de bloque de la figura 5 se puede afirmar que para este proyecto la única sección de hardware que se necesita construir o implementar es la denominada como interfaz, ya que las otros bloques de este ya se encuentran debidamente contruidos y el proyecto en si consiste en su mayor parte en un estudio de funcionamiento para lograr una integración que facilitará el uso de la mesa de coordenadas para realizar tareas de mayor complejidad como seguir un dibujo digital generado por algún paquete computacional como Autocad.



La interfaz que se desarrollara consiste en una serie de conexiones de una tensión ajustable a las entradas de control tanto positivas como negativas de los amplificadores de los servos (SP1+,SP1-, SP2+, SP2-), para llevar a cabo este ajuste se procederá a la utilización de un potenciómetro y estos voltajes estarán protegidos con pequeñas resistencias de drenaje. Además se hará lo mismo con el voltaje habilitador de los amplificadores solo que se utilizara como una sola señal para ambos amplificadores y su voltaje no será variable, un diagrama del sistema se verá de la siguiente forma



**Figura 4.3** Diagrama Básico de la interfaz a implementar.

A la hora de integrar este sistema (interfaz) con el resto del equipo basta con tener en cuenta que solo se necesitan 5 señales básicas para lograr un control total, una señal de activación (ENA) y 2 señales de dirección por cada uno de los 2 motores (SP1+, SP1-, SP2+, SP2-), por ultimo el potenciómetro se encarga de la tensión que se aplicará a los servo amplificadores.

El PLC lo que hará es, basado en su programación, cerrar los pulsadores que aparecen en la figura 6 y así lograr el control total de la mesa de coordenadas.

Una vez construida esta interfaz se procederá a construir un panel<sup>6</sup> en donde se coloque todas las señales del sistema en general que facilite la realización de pruebas futuras y una mayor comprensión sobre lo que se esta realizando, estas señales son:

Un indicador de encendido (LED), las entradas: common (GND), SP1+,SP1-, SP2+ y SP2-, ENAin y las salidas: Vout, ENAout, Pulse 1, Pulse 2. Así como se colocará el una graduación al potenciómetro SPEED que indicará la velocidad de operación del sistema.

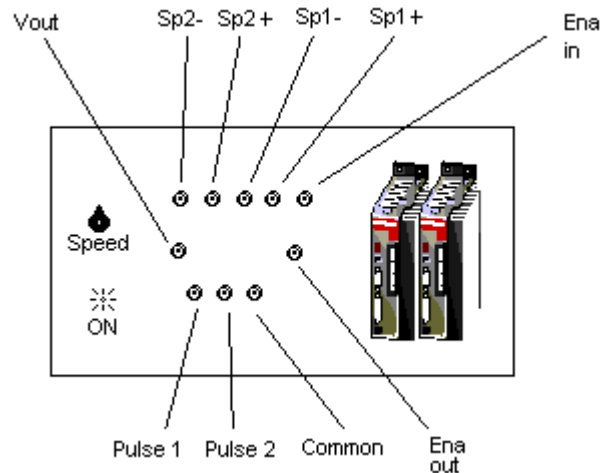


Figura 4.4 Apariencia del panel a construir.

**Indicador de encendido:** Típicamente es un simple diodo emisor de luz (LED) que se encenderá cuando el sistema esté funcionando.

**Common (GND):** Esta estrada debe conectarse al voltaje 0 o referencia del PLC, para este proyecto se conecta al neutro del PLC.

---

<sup>6</sup> La construcción del panel la llevo acabo Roger Alvarado encargado de bodega de la Escuela de Ingeniería Electromecánica, el estudiante solamente realizó las interconexiones.

**SP(#,±):** Cualquiera de estas entradas se deben conectar a las salidas del PLC teniendo en cuenta que la conexión que se cierra es entre cualquiera de la SP y Vout, por lo que el común del PLC que manejará las SP se debe ser conectado precisamente a Vout del panel. También debe tenerse en cuenta cual de las salidas del PLC se conecto a cual SP ya que la correcta asignación de estas permitirá una programación exitosa de los movimientos.

**ENAIN:** Esta señal también se conecta a una de las salidas del PLC y debe estar bien asignada, además recordar que la entrada común en el PLC de esta señal debe ser diferente a la de la siguiente señal.

**Vout:** Esta señal se conecta al común del PLC que conecta las señales SP, y tiene un valor típico que debe oscilar entre 0 y 10 v según el potenciómetro SPEED.

**ENAOout:** Señal que se conecta al común que conecta la señal ENAIN, su valor es estable y corresponde a la tensión a la que se alimenta el panel, varía entre 10 VDC y 30 VDC.

**Pulse 1 y 2:** Estas señales son los pulsos que se envían para decodificar la distancia recorrida de los motores y debe conectarse a las entradas de alta velocidad del PLC.

**Potenciómetro SPEED:** Este se debe graduar antes de realizar cualquier movimiento e indica a la velocidad a la que realizaran los mismos.

## **Software**

El único bloque de este sistema que requiere de programación es el PLC, y las funciones que se van a programar son las siguientes:

**Solicitud de forma:** Esta función se encargará de solicitar al usuario de la mesa que indique cual será la trayectoria que se va a seguir, esta puede ser desde una simple línea hasta un cuadro o círculo.

**Parámetros de tamaño:** En esta sección el programa debe solicitar la longitud de la línea o el largo de uno de los lados de cuadro o etc, según la figura que se desee seguir.

**Solicitud de Inicio:** El programa no debe iniciar el recorrido a menos que se le indique para que exista la posibilidad de cambiar de dibujo en cualquier momento antes de esta señal.

**Manejo de salidas del PLC:** Según haya sido la programación que el PLC recibiera este debe ser capaz de determinar cuáles son las salidas que se activarán y así lograr el movimiento de la pieza móvil en la mesa además debe recibir los pulsos de los motores para saber cuando se ha desplazado lo solicitado y determinar si debe cambiar de dirección o detenerse y solicitar el siguiente programa, también debe tener la capacidad de recibir una orden de paro de emergencia que hará que el sistema se detenga inmediatamente.

En general lo más importante de la programación de este es que este pueda tener la capacidad de realizar los movimientos en forma automática pero controlada.

## **4.2 Especificaciones del sistema**

### **4.2.1 Controladora de mesa de coordenadas**

1 Panel frontal con conexiones tipo banana

- Indicador de encendido
- Común
- Sp1+, Sp1-, Sp2+, Sp2-
- En<sub>in</sub>
- En<sub>out</sub>
- V<sub>out</sub>
- Pulse1 y Pulse 2
- Regulador de velocidad

2 Servo amplificadores

1 PLC con 2 entradas de alta velocidad y comunes de salida separados

1 Fuente de Poder de 24 VDC y 12 VDC

2 Motores de 1.5 caballos de fuerza

## **CAPITULO 5**

### **Objetivos**

---

#### **5.1 Objetivo General**

Diseñar, implementar y poner en funcionamiento un sistema de control numérico para gobernar una mesa de coordenadas a la cual se pueda adaptar una cortadora de plasma para hacer cortes en láminas metálicas, al menos en los 8 movimientos básicos sobre los ejes X, Y.

#### **5.2 Objetivos Específicos.**

##### **5.2.1 Objetivos de Hardware.**

1. Comprobar el correcto funcionamiento y conexión de las partes que componen la mesa de coordenadas.
2. Diseñar y construir un circuito de movimiento, que al menos controle los 8 movimientos básicos<sup>7</sup>.
3. Diseñar y construir un circuito medidor, que permita determinar la distancia que ha recorrido la pieza móvil de la mesa de coordenadas.
4. Diseñar o implementar una botonera para indicar los movimientos que se requiere que ejecute el PLC.
5. Diseñar y construir un panel de conectores tipo banana de las señales del sistema en general.

##### **5.2.2 Objetivos de Software.**

6. Escribir un programa para un PLC Mitsubishi Fx1N que reciba órdenes de una botonera y genere las señales necesarias para gobernar el circuito de movimiento con base en las salidas producidas por el circuito medidor para así lograr las figuras especificadas.

---

<sup>7</sup> La descripción de los 8 movimientos básicos se muestran en la figura 4.

## Capítulo 6

### Metodología.

---

#### 1. Conectar y probar el funcionamiento del equipo.

Como primer paso se realizaron pruebas de funcionamiento tanto de los servo motores como de los sistemas que lo controlan, además se realizaron pruebas mecánicas y de continuidad así como el estado de todas las piezas que contiene para lo cual se necesitó de una investigación para saber como se configuran e instalan estos equipos. Tiempo: 1.5 semanas

Una vez comprobado el funcionamiento del equipo se utilizó la herramienta de internet para la obtención de toda la información posible sobre este equipo como catálogos, manuales, o diagramas que facilitaron la instalación del mismo. Tiempo: 1 semana

En caso de que este sistema trabajara con algún tipo de software específico se procedió a hacer el estudio del mismo, mas no se pudo encontrar ninguna ventaja que este pueda brindar a el proyecto. Tiempo: 4 días.

Luego se estudiaron las combinaciones de giro de los dos servo motores para obtener los movimientos deseados, para esto se investigó y definió cuales deben ser los movimientos que debían realizar los motores para lograr los movimientos requeridos por ejemplo se averiguó si al girar ambos servos al mismo lado con igual velocidad se obtenía movimiento hacia el frente en forma lineal o si alguno de los motores debe ir más rápido o si uno de ellos debe girar en sentido contrario, etc. Tiempo: 3 días

Final mente se puso a funcionar el equipo para lograr los 8 movimientos básicos para esto se alimentó con una tensión y corrientes adecuadas (trifásico) además se configuró para que este realice los movimientos básicos que se indican en la figura 4. Tiempo: 1 semana.

## **2. Diseñar y construir un circuito de movimiento que al menos produzca los 8 movimientos básicos.**

Para esto primero se debían conocer las señales necesarias para controlar el amplificador de los servomotores para hacerlos funcionar, para esto se creó un circuito que controla estas señales y por consiguiente a los motores logrando así los movimientos requeridos.

El circuito consiste en una serie de botones con tensiones predeterminadas para aplicar a los amplificadores. Las diferentes combinaciones de los botones son las que producen los diferentes movimientos.

Este circuito se implementó inicialmente de manera prototipo (en una protoboard) únicamente para fines de prueba, para que cuando ya se tubo la certeza de su funcionamiento implemente se implemento de manera mas estable como una tarjeta impresa. Tiempo: 1 semana.

## **3. Diseñar y construir un circuito medidor que permita determinar la distancia que ha recorrido la pieza móvil de la mesa de coordenadas.**

Para hacer esto fue necesario primeramente investigar los servomotores para saber si tenían o no un decodificador que facilitara la medición de giro de los motores. Al comprobar que efectivamente contaba con un decodificador se estudió la forma de utilizarlo como señal de control para que circuito medidor interprete sus señales y se pudiera comunicar con el PLC.

Este circuito también se implementó de forma prototipo y hasta que no se tubo la completa seguridad de su comunicación con el PLC el circuito no se integró en una tarjeta. Tiempo: 2 semanas



#### **4. Diseñar y construir o implementar una botonera para indicar los movimientos que se desean al PLC.**

Para esta etapa lo que se realizó fue acoplar la botonera que poseía el mismo PLC y dejar la interpretación de las señales que este circuito produzca al PLC.

Se realizaron todas las pruebas necesarias para asegurarse que esta botonera permitiera indicar al PLC todas las posibles combinaciones de figuras o movimientos requeridos. Tiempo: 1 semanas

#### **5. Construcción del panel de contactos.**

Una vez que se construyó y probó los circuitos anteriores resultaba muy importante para futuros proyectos la construcción de un panel que permitiera agilizar la conexión y desconexión del sistema con cualquier PLC que cumpla con los requerimientos mínimos, además de que facilitaba la detección de fallas en el sistema y proporciona gran sencillez para la implementación de futuros proyectos relacionados con la mesa de coordenadas.

Tiempo: 1.5 semanas.

#### **7. Programar un PLC para que por una botonera e interpretando las señales del circuito medidor gobierne al circuito de movimiento y así se logren las figuras especificadas.**

Se programó al PLC de manera que según la señales que se le indiquen con la botonera este pudo determinar que tipo de figura se va a trazar y de que tamaño.

Se predeterminaron figuras sencillas como cuadros y líneas en donde se coloca la pieza móvil en el punto inicial se indica el tamaño y luego se da la orden de ejecución, sin

olvidar que debía permitir una señal de inicio y en caso de algún problema debe poseer una señal de paro total. Tiempo: 3 semanas

### **8. Realizar pruebas al sistema.**

Fue importante realizar toda clase de pruebas una vez que el sistema se encuentre completamente montado y funcionando para depurar y corregir cualquier problema que se pudiera presentar. Tiempo: 1 semana.

## **CAPITULO 7**

### **Descripción detallada de la solución**

---

#### **7.1 Descripción del hardware.**

##### **7.1.1 Circuito de pruebas de movimiento**

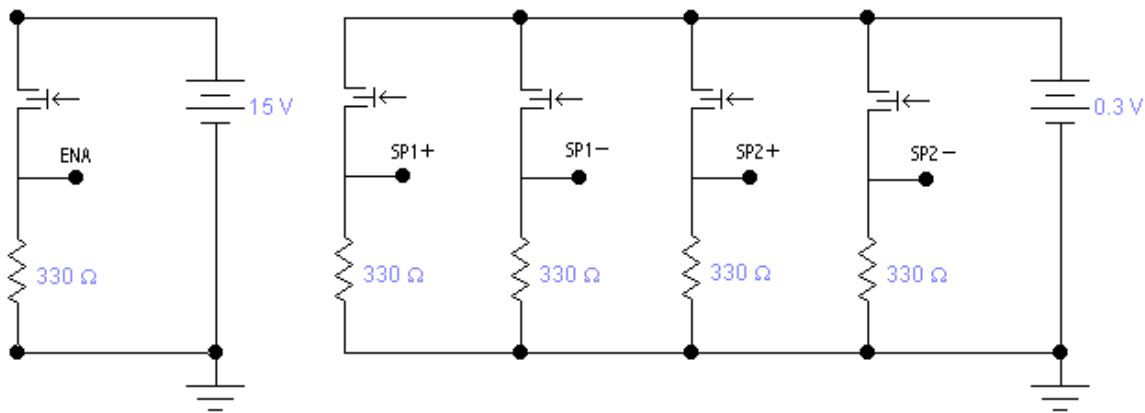
La mesa de coordenadas es movida por dos servomotores marca Emerson modelo DXM-340C que tiene un voltaje de alimentación de 240 VAC y una corriente de 6.6 A así como una potencia de 1.5 HP a una velocidad de 3000 o 6000 rpm<sup>8</sup> y que a su vez están controlados por dos amplificadores marca Emerson modelo LX-700 con una entrada de 10 A a 220 VAC con una potencia de 3 KVA y una salida de 7 A a 220 VAC y una potencia de 2 KW estos servo amplificadores son de tecnología antigua y analógica que se pueden manejar cada uno sencillamente con 3 señales de control SP+, SP- y ENA, las cuales significan velocidad positiva, velocidad negativa y activación respectivamente.

Las señales de velocidad se manejan por tensión la cual es proporcional a la velocidad de los motores y para este caso estas tensiones está entre 0 y 10 voltios positivos respecto a la referencia; en otras palabras a mayor tensión mayor velocidad, la señal de habilitación (ENA) también se trata de una tensión positiva que debe tener un mínimo de 10 V y un máximo de 30 V.

Para hacer las pruebas iniciales de movimiento se procedió a construir el siguiente circuito:

---

<sup>8</sup> La velocidad máxima se configura en una tarjeta personal que tienen los servoamplificadores.



**Figura 7.1** Circuito para realización de pruebas de funcionamiento de la mesa de coordenadas.

Para su uso solo se conectaron los puntos SP1+, SP1-, SP2+, SP2- y ENA a sus respectivas posiciones en el servo amplificador se conectó a la tensión como se indica en la figura 10 y se realizaron una serie de pruebas exitosas de las cuales se dedujo no solo que el sistema (la mesa de coordenadas) funciona adecuadamente y que realiza los 8 movimientos con solo las 5 señales sino que también esos movimientos son bastante precisos y los cambios de dirección se dan con los ángulos adecuados, por ejemplo si nos dirigíamos hacia el este y se cambia la dirección hacia el norte el ángulo entre las trayectorias fue muy cercano a los 90 grados<sup>9</sup>.

El circuito también permitió ver la combinación de botones a presionar y así lograr todos los 8 movimientos básicos de la mesa de coordenadas, a continuación se detalla cuales son esas combinaciones:

---

<sup>9</sup> Para estas pruebas se le colocó un marcador y se dibujó sobre una hoja blanca, luego se procedió a medir los ángulos de las trayectorias.

**Tabla 7.1** Descripción de botones a presionar para lograr los 8 movimientos básicos.

Descripción del movimiento	DIR	Señales				
		SP1+	SP1-	SP2+	SP2-	ENA
<b>1- Dirección Noreste</b>	↗	1	0	0	0	1
<b>2- Dirección Suroeste</b>	↙	0	1	0	0	1
<b>3- Dirección Sureste</b>	↘	0	0	1	0	1
<b>4- Dirección Noroeste</b>	↖	0	0	0	1	1
<b>5- Dirección Oeste</b>	←	0	1	0	1	1
<b>6- Dirección Sur</b>	↓	0	1	1	0	1
<b>7- Dirección Norte</b>	↑	1	0	0	1	1
<b>8- Dirección Este</b>	→	1	0	1	0	1
<b>No hay movimiento</b>	•	X	X	X	X	0

1: Señal con tensión aplicada.  
0: Señal con tensión no aplicada.  
X: No importa.

Una vez logrados los movimientos se procedió a la investigación del funcionamiento del PLC, y como realizar una programación básica, para así determinar como debe realizarse la interfaz que comunique la mesa de coordenadas con el PLC, después de comprobar la posibilidad de utilizar diferentes tensiones comunes en los conectores de salida del PLC se concluyo que la interfaz consistiría sencillamente en conectar el circuito anterior (figura 10) a las salidas del PLC ya que estas funcionan precisamente como contactores o relay's que comunican a un común con alguna de las salidas según corresponda por lo tanto el PLC se encargará de contactar las señales de control de los amplificadores según sea necesario o según el movimiento que se desee realizar, además como cuenta de comunes separados se puede utilizar para contactar también la señal de habilitación ENA y así toman un control total del sistema.

### **7.1.2 Circuito para determinar la distancia que ha recorrido la pieza móvil**

Primeramente es necesario saber como recibe datos el PLC, para este caso un Mitsubitchi Fx1N, este cuenta con entradas separadas que deben conectar a un común o a un voltaje de entrada determinado para el caso de este PLC esa tensión debe estar en el rango de 12 a 25 VCD y cualquier otra tensión no será considerada como una entrada, es por eso que ninguna entrada puede ser conectada directamente a las entradas del PLC, por ejemplo TTL alcanza una tensión máxima de 5 VCD lo que indica que la única forma de conectar TTL con el PLC es mediante la creación de algún sistema que interprete TTL y lo eleve a tensiones reconocibles por el PLC, para este laboratorio se tiene la ventaja de contar con unos pulsos que producen los amplificadores cuando los motores están girando estos tienen una tensión de 15 VCD lo que hace que el PLC los lea muy bien únicamente que estos se dan a una alta frecuencia por lo que para poder capturarlos es necesario conectarlos a las entradas de alta velocidad del PLC.

Una vez logrado esto se completaría el control total de la mesa de coordenadas por medio del PLC ya que este moverá el sistema a cualquier dirección con las señales de SP y ENA, con una realimentación de distancia recorrida recibida por los pulsos que envían los amplificadores que se denominarán Pulse 1 out y Pulse 2 out, una de cada motor respectivamente.

### **7.1.3 Botonera**

La Botonera para este caso se puede realizar sencillamente colocando botones o interruptores en las entradas sobrantes del PLC según se necesite o según se programe.

## **7.2 Descripción del software.**

### **7.2.1 Programación del PLC**

Para la programación del PLC primero es importante determinar como se va controlar el sistema, en este laboratorio lo más importante es que el PLC pueda mover la pieza móvil de la mesa y según la cantidad de pulsos que esta le devuelva este pueda interrumpir ese

movimiento o cambiar de señales para cambiar la dirección según sea necesario, un ejemplo de programación podría ser por ejemplo una de las entradas indica que se trata de un cuadro, otra de las señales indica el tamaño de este por ejemplo de 10 cm, y por último una señal de inicio la cual una vez que se presiona este botón el PLC deberá tomar todas las decisiones que den como resultado la figura que se requiere.

Por ejemplo la programación de los contactos que debe cerrar un PLC Mitsubishi Fx1N para realizar un movimiento en forma de cuadro de 10 cm sería la siguiente, primero se realiza la siguiente asignación:

**Tabla 7.2** Asignación de señales para programar un PLC mitsubishi Fx1N

<b>Señal</b>	<b>Salida</b>	<b>Entrada</b>
ENA	Y4	
SP1+	Y6	
SP1-	Y7	
SP2+	Y10	
SP2-	Y11	
Pulse 1		X1
Pulse 2		X2

Además se debe tomar en cuenta los siguientes valores:

**Tabla 7.3** Relación de cantidad de pulsos versus distancia recorrida<sup>10</sup>.

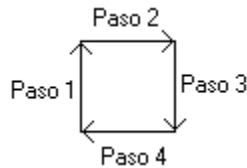
<b>Señal</b>	<b>Cantidad de Pulsos</b>	<b>Distancia Recorrida (cm)</b>
Pulse 1 o 2	33	1
Pulse 1 o 2	333	10

---

<sup>10</sup> Para obtener estas distancias se realizaron una gran cantidad de pruebas de las cuales se concluye que la cantidad de pulsos puede variar en mas menos 10 pulsos y las distancias en mas menos 0.4 cm.

Una vez logrado esto tomando en cuenta todos los valores anteriores ya se puede realizar cualquier programa.

Asumamos que se va a realizar el movimiento siguiendo este orden:



**Figura 7.2** Orden para realizar un movimiento en forma de cuadro.

Después de haber recibido los parámetros del dibujo a seguir el programa únicamente esperará una señal de inicio y realizará todo el movimiento en forma automática, para el paso 1<sup>11</sup> se puede ver en la tabla 1 que las salidas a activar son SP1+ y SP2- que según la asignación de la tabla 2 corresponden a Y6 y Y11 al habilitarlas junto con Y4 la pieza móvil de mesa de coordenadas comenzará a desplazarse hacia el norte el programa esperará hasta que alguna de las entradas Pulse 1 o Pulse 2 que según la tabla 2 corresponden a X1 y X2 lleguen a 333 pulsos según datos de la tabla 3, en ese momento el PLC debe iniciar el paso 2 reinicia los contadores y activa las salidas Y6, Y10 y Y4, además debe apagar a la salida Y11 con esto se inicia el desplazamiento hacia el este y cuando los contadores de pulsos lleguen de nuevo a 333 entonces se habrán recorrido otros 10 cm y se inicia el paso 3 donde se realizan los cambios necesarios de salidas y así sucesivamente hasta llegar de nuevo al punto inicial en donde se desactivan todas las salidas y se espera por alguna nueva programación.

La incorporación de sensores de final de fin de carrera de la pieza móvil son de gran ayuda para este proyecto por lo que se implementaran y se ingresarán por otras entradas al PLC, estos deberán ser tomadas en cuenta por el programador para realizar las rutinas de movimiento de la pieza móvil en la mesa de coordenadas.

La transferencia de tecnología de este proyecto se realizará de varias maneras primeramente toda la información obtenida de internet o documentos que se consideren

---

<sup>11</sup> Ver figura 6.



importantes para el proyecto se le dejarán en las escuelas en formato digital (un disco compacto), también se hará una pequeña demostración para el personal docente y administrativo que se encuentre interesado en el funcionamiento del mismo.

Por último se dará una capacitación a los operarios que en algún momento se puedan hacer cargo de este sistema para la construcción de estructuras metálicas o futuros proyectos.

## CAPITULO 8

### Bibliografía

---

1. Historia del diseño del primer PLC en <http://www.barn.org/FILES/historyofplc.html>
2. Guía de usuario para servo motores LX sin escobillas (Este también se adjunta en este CD) <http://www.emersonemc.com/download/manuals.asp>
3. Información sobre servo amplificadores  
<http://www.seattlerobotics.org/guide/servos.html>
4. Sistemas para herramientas automáticas <http://www.atsautomation.com>
5. Herramientas de sistemas automáticos (ATS)  
[http://www.atsautomation.com/standard/st\\_superbot.asp](http://www.atsautomation.com/standard/st_superbot.asp)

## CAPITULO 9

### Apéndices.

---

#### RESUMEN DE INFORMACIÓN SOBRE EL PROYECTO

##### Información del estudiante:

**Nombre:** Carlos E. Núñez Rojas

**Cédula:** 1-974-580                      **Carné ITCR:** 9518997

**Dirección de su residencia en época lectiva:** Cartago, Barrio San Agustín,  
Frente al salón comunal.

**Dirección de su residencia en época no lectiva:** Guápiles, La Teresa 800m  
camino al pueblo Tarire.

**Teléfono en época lectiva:** 591-3809 **Teléfono época no lectiva:**763-3248

**Email:** [nunez@costarricense.cr](mailto:nunez@costarricense.cr)                      **Fax:** -

##### Información del proyecto:

**Nombre del Proyecto:** Control numérico para cortadora de metal.

**Área del Proyecto:** Control Automático

##### Información de la empresa:

**Nombre:** Escuela de Ingeniería Electromecánica

**Zona:** Cartago, ITCR.

**Dirección:** Cartago, Barrio San Agustín.

**Teléfono:** 550-2250

**Actividad Principal:** Docencia e Investigación.

**Información del encargado en la empresa:**

**Nombre:** Ana Lucía Morera Barquero.

**Puesto que ocupa:** Profesora.

**Departamento:** Control Automático.

**Profesión:** Ingeniera **Grado académico:** Licenciada

**Teléfono:** 550-2414

**Email:** [lmorera@itcr.ac.cr](mailto:lmorera@itcr.ac.cr)

**Información del encargado en escuela de ingeniería en electrónica:**

**Nombre:** Carlos Badilla Corrales

**Puesto que ocupa:** Profesor.

**Profesión:** Ingeniera **Grado académico:** Master.

**Teléfono:** 550-2694 **Fax:** 591-6629

**Email:** [cbadilla@itcr.ac.cr](mailto:cbadilla@itcr.ac.cr)