



**PROTECVA**



Proyecto Industrial Terminal:

**“Programación del sistema de control para la puesta en marcha y arranque primario de una dobladora hidráulica.”**

Que para obtener la especialidad en:

006951

**“TECNOLOGO EN MECATRONICA”**

Presenta:

Alumno: Ing. Alejandro López Ángeles

Tutor de Planta: M.C. Héctor Javier Sánchez López

Tutor Académico: M.I. Julio Solano Vargas

Santiago de Querétaro, Qro. Diciembre 2012

# ÍNDICE

Índice de figuras .....	3
Índice de tablas .....	4
Introducción .....	5
CAPÍTULO 1. Antecedentes .....	6
1.1. Definición del tema .....	6
1.2. Justificación .....	7
1.3. Objetivo .....	7
1.4. Limitaciones .....	7
CAPÍTULO 2. Marco Teórico .....	8
2.1. Dobladora de lámina .....	8
2.2. Controlador Lógico Programable .....	9
CAPÍTULO 3. Descripción de la dobladora y componentes .....	11
3.1. Dobladora de 90 toneladas .....	11
3.2. PLC Siemens S700 CPU24 .....	18
3.3. Interfaz humano máquina .....	19
CAPÍTULO 4. Desarrollo del sistema de control .....	21
4.1. Análisis .....	21
4.2. Diseño .....	22
4.3. Codificación .....	33
CAPÍTULO 5. Resultados e implementación .....	42
5.1. Implementación .....	42
5.2. Procedimiento de prueba .....	44
Conclusiones .....	45
Bibliografía .....	46
Anexo 1 Código KOP del PLC S7-200 .....	47
Anexo 2 Manual de operación de la dobladora .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Productos de PROTECVA .....	6
Figura 2. Dobladora hidráulica.....	8
Figura 3. Familia de PLC Siemens .....	9
Figura 4. Arquitectura del PLC.....	10
Figura 5. Ciclo de trabajo de un PLC.....	10
Figura 6. Dobladora (vista frontal).....	11
Figura 7. Dobladora (vista posterior) .....	11
Figura 8. Motor de bomba hidráulica .....	12
Figura 9. Caja de válvulas, servoválvula niveladora y tubería hidráulica.....	12
Figura 10. Sensor de presión .....	13
Figura 11. Control de inclinación.....	13
Figura 12. Gabinete eléctrico .....	13
Figura 13. Sensor de desplazamiento.....	14
Figura 14. Tarjeta electrónica .....	14
Figura 15. Microinterruptores de inclinación .....	15
Figura 16. Interruptor de límite superior.....	15
Figura 17. Escantillón .....	16
Figura 18. Caja de control del escantillón .....	16
Figura 19. Interruptor de pedal .....	16
Figura 20. Ciclo de trabajo de la dobladora .....	17
Figura 21. PLC S7-200 CPU224 .....	18
Figura 22. Pantalla táctil Weintek MT6070Hi.....	19
Figura 23. Organigrama de rutinas.....	23
Figura 24. Diagrama de flujo general del PLC .....	25
Figura 25. Diagrama de flujo de subrutinas .....	26
Figura 26. Subrutina JOG.....	27
Figura 27. Subrutina Velocidades.....	27
Figura 28. Subrutina de servicio .....	28
Figura 29. Secuencia de trabajo por cotas 1 de 4.....	28
Figura 30. Secuencia de trabajo por cotas 2 de 4.....	29
Figura 31. Secuencia de trabajo por cotas 3 de 4.....	30
Figura 32. Secuencia de trabajo por cotas 4 de 4.....	31
Figura 35. Pantalla de Inicio.....	33
Figura 36. Pantalla de Configuración .....	33
Figura 37. Pantalla de Jog .....	33
Figura 38. Pantalla Velocidades .....	34
Figura 39. Pantalla Modo de trabajo .....	34
Figura 40. Pantalla Modo cotas .....	34
Figura 41. Pantalla Modo Autoretorno .....	35
Figura 42. Pantalla Mantenimiento .....	35
Figura 43. Pantalla Servicio .....	35
Figura 44. Pantalla micros de inclinación.....	36
Figura 45. Pantalla Mantenimiento 2 .....	36
Figura 46. Arranque de la bomba hidráulica.....	37
Figura 47. Activación de la bomba hidráulica .....	37
Figura 48. Paso uno de secuencia de modo cotas.....	37

<i>Figura 49. Pasos dos y tres de secuencia Modo cotas.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 50. Paso cuatro de secuencia Modo cotas .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 51. Paso cero de secuencia Modo cotas.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 52. Mando de salida, bajando cortina a altura de cambio de velocidad .....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 53. Mando de salida, bajando cortina al PMI .....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 54. Mando de salida, subiendo cortina al PMS.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 55. Mando de salida, activando señal para el escantillón .....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 56. Personal de ingeniería en recableado el sistema .....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 57. Personal de ingeniería conectando el PLC.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 58. Tableros de control de la Dobladora y HMI.....</i>	<i>43</i>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Ordenes de válvulas.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 2. Características del S7-200 CPU 224.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3. Operaciones del PLC .....</i>	<i>32</i>

## INTRODUCCIÓN

Una dobladora hidráulica es una maquina de plegado versátil, capaz de extender grande fuerzas entre la cortina y la base. Estas fuerzas son aplicadas y direccionadas en el material a ser formado mediante el uso de los herramientas. Sin embargo debido a sus características el sistema de control de estas es trascendental para la obtención de los resultados efectivos, de lo contrario la maquina puede volverse errática o inservible.

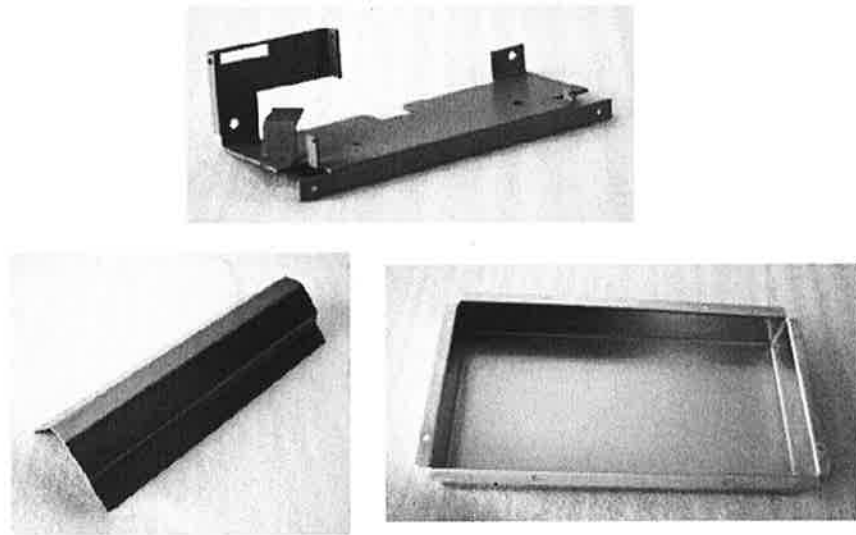
Los sistemas de control son equipos capaces de procesar y memorizar variables físicas, que constituyen sistemas que reciben órdenes de un operador y tiene como objetivo proporcionar respuestas adecuadas a determinados estímulos aplicados a sus entradas. Estos tienen numerosas formas de implementación en los procesos industriales continuos asumiendo el propósito de ejecutar la mayor parte, y de ser posible en su totalidad, las actividades efectuadas por los operadores. La aplicación de tales sistemas trae como beneficios: precisión, la reducción de tiempo y mano de obra, simplificación de procesos, entre otras.

La implementación de un adecuado sistema de control en maquinaria como la dobladora hidráulica u otro proceso acarrea beneficios al usuarios, al proceso y a los resultados. Por lo que la tarea de la elección, programación e instalación de un adecuado sistema de control en la actualidad ya no es una opción si no una necesidad.

## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

El doblado de lámina o placa es un proceso de conformado sin separación de material y con deformación plástica que permite dar forma a la lámina utilizando, normalmente, una prensa dobladora este proceso es empleado para la fabricación de numerosas partes usadas en la industria automotriz, de la construcción, almacenamiento y en general .

PROTECVA es una empresa dedicada a la fabricación de gabinetes de interior y exterior, piezas de la industria del auto transporte, racks, ensambles, operaciones secundarias y piezas sobre diseño en lámina o placa de acero galvanizado, inoxidable y aluminio en diversos calibres (ver Figura 1). La manufactura de estos productos requiere el empleo de dobladoras de lámina, en el caso de esta empresa son del tipo Hidráulica.



**FIGURA 1. PRODUCTOS DE PROTECVA**

La empresa adquirió una dobladora de 90 toneladas desde hace aproximadamente dos años sin embargo esta no era funcional por no realizar los dobleces correctamente. En dos ocasiones se intentó reparar y actualizar pero no hubo éxito y además algunas piezas se perdieron o sustituyeron.

En colaboración con un equipo de ingenieros se plantea poner en marcha el equipo y se identifican como problemas principales: el sistema de control incongruente para la aplicación, el sistema eléctrico es inadecuado e incompleto y el equipo requiere un mantenimiento en general.

### 1.1. DEFINICIÓN DEL TEMA

Debido a que el sistema de control es errático se acuerda con el cliente y el equipo de Ingenieros diseñar un nuevo programa para el Controlador Lógico Programable (PLC), acoplar una Interfaz Usuario-Maquina (HMI) y acondicionar elementos necesarios para el correcto funcionamiento del equipo. El acondicionamiento del sistema eléctrico y mantenimiento general también son requeridos sin embargo son desarrollados separadamente por

ingenieros especialistas en tales áreas y este documento no pretende abordar tales operaciones.

Expuesto lo anterior el tema central se define como: la implementación de un sistema de control para la dobladora mediante un controlador lógico programable (PLC), y una interfaz hombre-máquina (HMI).

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

El costo del sistema de control original de la maquina es por demás elevado y debido a los trabajos que se realizarán con la máquina el costo-beneficio por la adquisición del equipo original no cumple las expectativas. Por lo que la adaptación de un nuevo sistema mediante un PLC, una HMI y parte del equipo original es una propuesta más viable.

## 1.3. OBJETIVO

Diseño e implementación de un sistema de control para ejecutar las tareas de operación y mantenimiento de la Dobladora Cincinnati de 90 Toneladas.

## 1.4. LIMITACIONES

La empresa dueña de la maquina a realizado inversiones en equipo y personal en anteriores tentivas de reparación por lo tanto el dueño sugiere usar parte del equipo que se dispone: tablero, el PLC, el Sensor de desplazamiento y demás elementos. Los conflictos que se pueden generar de estas acciones son: que los dispositivos no tengan la capacidad operativa, tecnológica o ambiental para efectuar las tareas, incertidumbre en la repetitividad del sistema o fallas no previstas ya que no son nuevos y se desconocen los ciclos de operación a los que fueron sometidos.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

El siguiente apartado describe el procedimiento para la creación de un programa empleado para el control de un sistema. Posteriormente se abordan la teoría básica de la dobladora y el PLC.

### 2.1. DOBLADORA DE LÁMINA

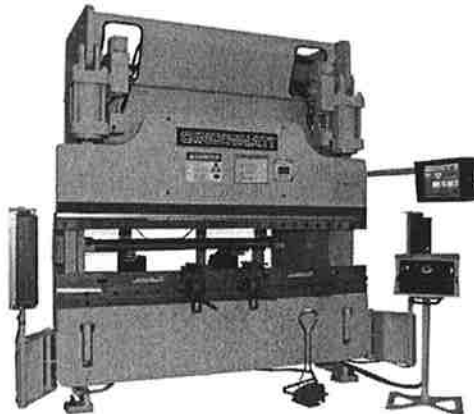
Una dobladora de lámina, es una máquina herramienta usada para el conformado de láminas o placas en diferentes ángulos. A demás con ciertos implementos puede realizar punzonado sobre la pieza de trabajo. El plegado se realiza al prensar la lamina entre un juego de punzón y matriz.

Dos marcos en C forman los lados de la prensa, conectados a una a una base (llamada cama) en la parte inferior y en la parte superior a una cortina móvil. Sobre la mesa se monta la matriz y en la cortina se coloca el punzón o dado.

Una prensa puede ser descrita por parámetros básicos, tales como fuerza o tonelaje y longitud de trabajo. Los parámetros adicionales incluyen la amplitud o carrera, la distancia entre marcos laterales externos, la carrera del escantillón y la altura de trabajo.

Existen distintos tipos de prensas, los cuales son agrupados de acuerdo al método de aplicación de fuerza pudiendo ser: Mecánica, Neumática, Hidráulica o Servoeléctrica.

La dobladora a la que hace referencia este trabajo es una del tipo hidráulica (Ver Figura 2). En esta la cortina es desplazada mediante dos cilindros hidráulicos sincronizados, colocados sobre los marcos laterales de la máquina.



**FIGURA 2. DOBLADORA HIDRÁULICA**

Uno de los elementos más significativos de la prensa es el escantillón. Se ubica en la parte posterior de la máquina y es usado para posicionar con precisión una pieza de metal que sirve como soporte de la pieza de trabajo y a la vez establece la distancia del borde de la pieza de trabajo al centro del dado. De esta forma se realiza los dobles en el lugar correcto.



Con el correcto diseño de los dados la dobladora puede usarse para gran variedad de trabajos. Dentro de los distintos tipos de dados se tienen: dados V, dados de 90°, dados de dobles rotatorio dados de ángulo cerrado, dados de radio, entre muchos otros.

## 2.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Un proceso industrial es una operación o secuencia de operaciones en las que las variables a controlar (temperaturas, desplazamientos, tiempos, entre otros) están debidamente definidas. La gran mayoría de los procesos industriales requieren algún tipo de control. Los Controladores Lógicos Programables (Figura 3), son dispositivos electrónicos creados específicamente para el control de procesos secuenciales, con el fin de lograr que una máquina o proceso funcione de manera automática. Estos son usados en aplicaciones de control comercial e industrial.

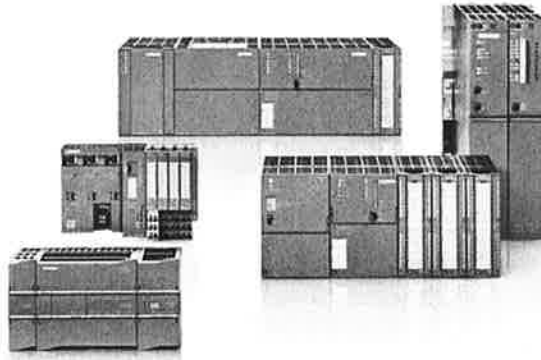
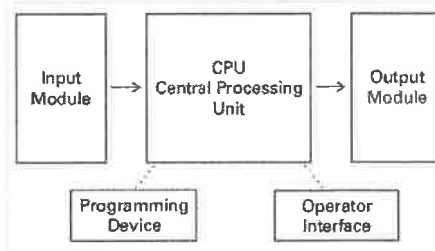


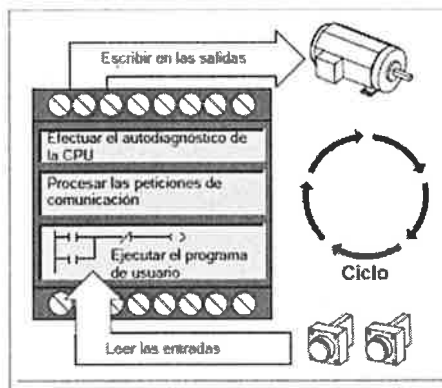
FIGURA 3. FAMILIA DE PLC SIEMENS

La arquitectura de un PLC se compone de los elementos mostrados en la Figura 4, consta de módulos o puntos de entrada, una unidad central de proceso (CPU), módulos o puntos de salida, interface con el operador y componente programador. Una entrada acepta una variedad de señales analógicas o digitales, provenientes de distintos sensores o componentes de campo, y las convierte en señales lógicas que pueden ser usadas por el CPU. El CPU toma decisiones y ejecuta las instrucciones de control basado en instrucciones programadas en memoria. Los módulos de salida convierten las instrucciones de control del CPU en señales digitales o analógicas que pueden ser usadas para controlar componentes de campo (actuadores). Se emplea un dispositivo de programación para cargar las instrucciones deseadas. Estas instrucciones determinan las acciones que el PLC tomara de a cuerdo a una entrada específica. El dispositivo de interface con el operador permite mostrar información procesada, así como el ingreso de nuevos parámetros de control.



**FIGURA 4. ARQUITECTURA DEL PLC**

La siguiente figura muestra un ciclo de trabajo de un PLC, para el paro y arranque de un motor. Aquí las entradas son los botones de paro y arranque y la salida es el motor a controlar.



**FIGURA 5. CICLO DE TRABAJO DE UN PLC**

# CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DE LA DOBLADORA Y COMPONENTES

## 3.1. DOBLADORA DE 90 TONELADAS

El equipo es de la marca Cincinnati®, modelo Autoshape CNC Forming Center. Es una dobladora hidráulica con capacidad de 90 toneladas del tipo cortina con tope trasero de ajuste automático. Es una maquina versátil multipropósito para procesos de plegado, punzonado y extracción. La Figura 6 y Figura 7 muestran como fue originalmente la dobladora y sus componentes. Es conocido que la dobladora se encuentra en condiciones distintas, por lo que las partes principales y las modificadas se describen en este apartado.

1. Válvula colectora de llenado
2. Servoválvula de nivelación
3. Cortina
4. Indicador de inclinación/ajuste de cortina
5. Bastidor derecho
6. Cilindro derecho
7. Control Autoshape
8. Placa de capacidad
9. Estación de control
10. Gabinete eléctrico principal
11. Gabinete eléctrico del Control Autoshape
12. Interruptor de secuencia Relever
13. Sensor de desplazamiento
14. Control del interruptor de pedal
15. Interruptor de pedal
16. Bloque de relleno
17. Cama
18. Barra del escantillón
19. Soportes de piezas
20. Bastidor izquierdo
21. Abrazaderas de dados
22. Estación del operador
23. Cilindro izquierdo

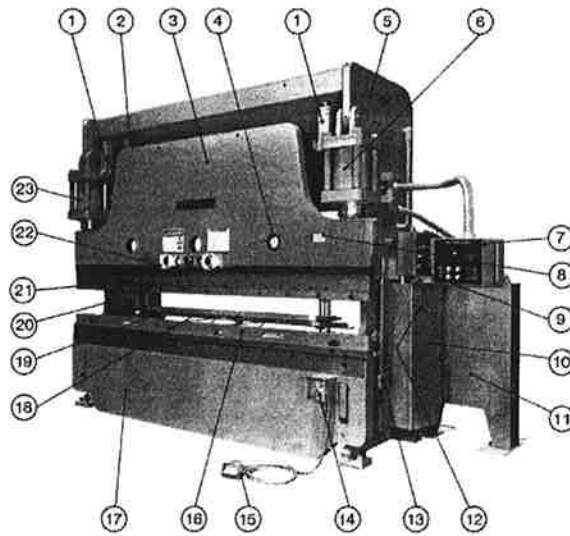


FIGURA 6. DOBLADORA (VISTA FRONTAL)

1. Nivel de aceite y termómetro
2. Placa de especificación del aceite hidráulico
3. Motor y bomba
4. Distribuidor hidráulico y divisor de flujo
5. Bastidor puntal/Tanque de aceite
6. Banda de nivelación
7. Abrazadera izquierda de cortina
8. Guía izquierda de cortina
9. Ensamble de brazo del escantillón
10. Interruptor de límite superior
11. Válvula de drenado del tanque

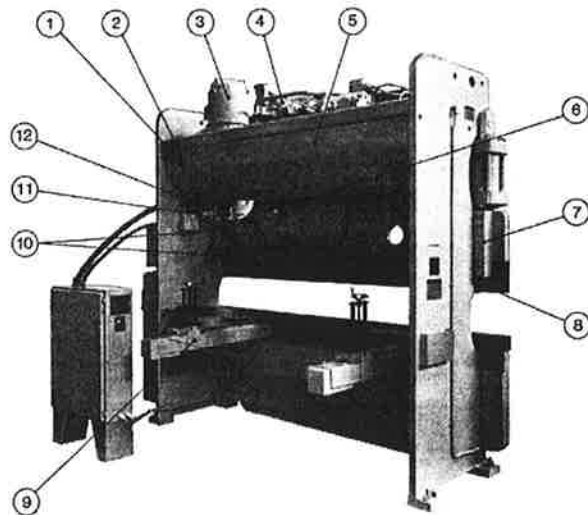
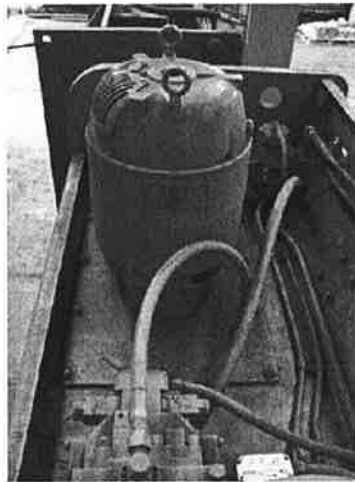


FIGURA 7. DOBLADORA (VISTA POSTERIOR)

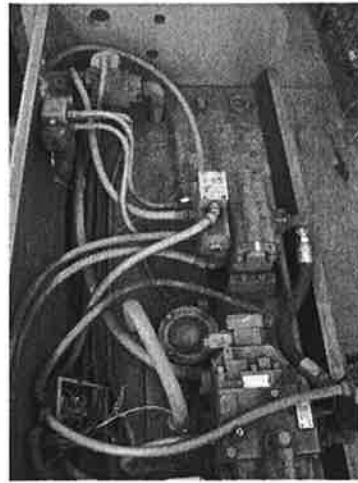
El trabajo de la maquina se efectúa prensando la pieza de trabajo entre la matriz y el punzón, esto mediante el desplazamiento de la cortina (con su respectiva herramienta) en conjunto con el escantillón. El sistema hidráulico y eléctrico son los encargados de dar movimiento a los componentes mencionados y sus elementos se describen enseguida.

**SISTEMA HIDRÁULICO**

El sistema hidráulico está constituido en general por una unidad hidráulica, caja de válvulas, tubería, servoválvula de nivelación y dos cilindros (ver Figura 8 y Figura 9).



**FIGURA 8. MOTOR DE BOMBA HIDRÁULICA**



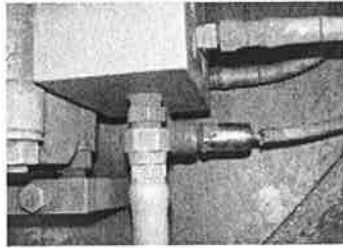
**FIGURA 9. CAJA DE VÁLVULAS, SERVOVÁLVULA NIVELADORA Y TUBERÍA HIDRÁULICA**

La dirección y velocidad del movimiento de cortina se basa en 6 electroválvulas direccionales. La Tabla 1 muestra las órdenes de válvulas y el efecto sobre los pistones. El voltaje trabajo de las válvulas es de 24V CD.

**TABLA 1. ORDENES DE VÁLVULAS**

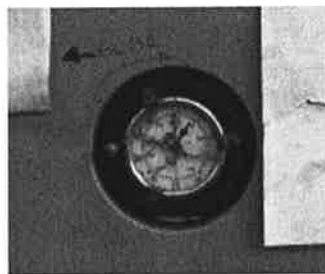
		Válvula/Velocidad	1	2	3	4	5	6
Bajar	Alta		X			X		X
	Media		X	X	X	X	X	X
	Baja		X	X			X	X
Subi	Alta	X				X		
	Baja	X						

Uno de los componentes más importantes para seguridad y de control de la hidráulica, es un sensor de nivel de presión de la tubería de entrada a los pistones (Figura 10). Mediante una tarjeta electrónica las señales eléctricas del sensor son acondicionadas y comparadas con una referencia preestablecida por el usuario. De esta manera se controla el tonelaje aplicado entre la cortina y la cama.



**FIGURA 10. SENSOR DE PRESIÓN**

Una servoválvula de nivelación compensa la estabilidad de la cortina al bajar o subir. El ajuste de inclinación de la cortina lo realiza el operador manualmente con el control de inclinación. Este control tensa o relaja un banda encargada de ajustar mecánicamente a la servoválvula de nivelación.



**FIGURA 11. CONTROL DE INCLINACIÓN**

#### **SISTEMA ELÉCTRICO**

La máquina posee un gabinete eléctrico donde se tiene, un interruptor termomagnético, un contactor, relevador de arranque, transformador, una fuente de alimentación analógica de 24 VCD o otra digital de 24 VCD y un PLC Siemens S7-200 con un modulo EM-231. Estos elementos los podemos ver en la Figura 12.



**FIGURA 12. GABINETE ELÉCTRICO**

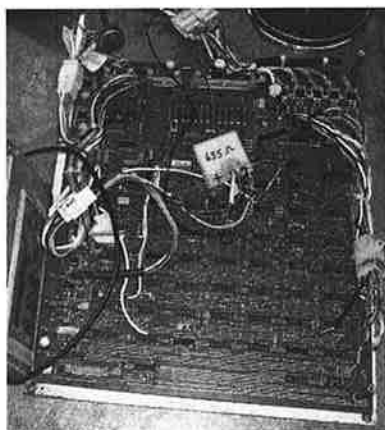
A continuación describiremos los elementos principales del sistema eléctrico que no están contenidos en el tablero principal.

El sensor de desplazamiento empleado para saber la ubicación de la cortina y así mismo el desplazamiento de la cortina al subir o bajar, es un transductor lineal de la marca MICROPULSE modelo BIW1-A310-M0450-P1-S115 con una carrera de 460mm y voltaje de alimentación de 24 VCD. Mediante el modulo EM-231 se acondiciona la señal analógica del sensor de desplazamiento y se transmite al PLC a una salida escalada.



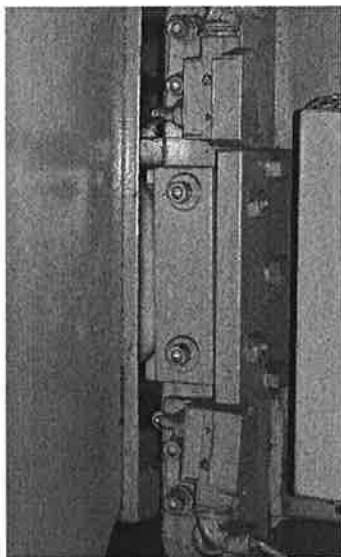
**FIGURA 13. SENSOR DE DESPLAZAMIENTO**

La tarjeta electrónica (Figura 14) se encarga de controlar apagar y encender las electroválvulas así como el tonelaje aplicado en la cortina. Mediante un potenciómetro se ajusta una señal de referencia (nivel de tonelaje) y se compara con el valor proveniente del sensor de tonelaje para detener la cortina cuando se alcance el valor preestablecido con el potenciómetro.

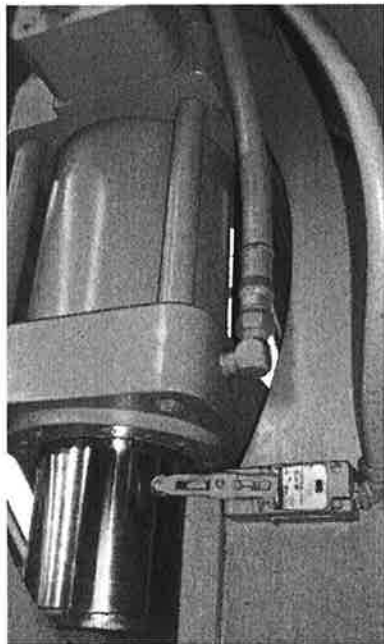


**FIGURA 14. TARJETA ELECTRÓNICA**

Los elementos de protección para la maquina y el operador que el sistema eléctrico contiene son dos interruptores. Los microinterruptores de inclinación (Figura 15), cuya función es activarse cuando la cortina baja o sube ladeada. De este modo se protege a la cortina y los pistones. De igual forma los interruptores de límite (Figura 16) evitan que los pistones se retraigan al máximo evitando una sobrecarga de presión al sistema.



**FIGURA 15. MICROINTERRUPTORES DE INCLINACIÓN**



**FIGURA 16. INTERRUPTOR DE LÍMITE SUPERIOR**

El escantillón (Figura 17) sirve como soporte apoyar las placas de lámina a una distancia durante el proceso de doblado. El equipo dispone de un sistema de control, el CNC 150 AUTOGAUGE (Figura 18).

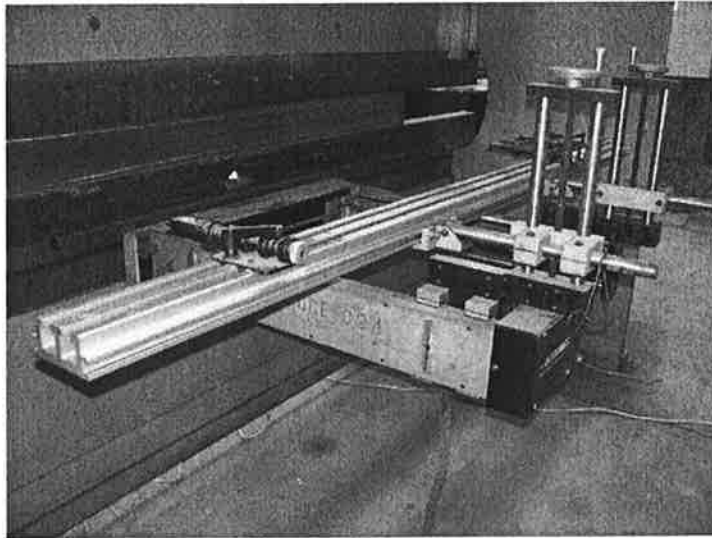


FIGURA 17. ESCANTILLÓN



FIGURA 18. CAJA DE CONTROL DEL ESCANTILLÓN

Por último tenemos el interruptor de pedal (Figura 19). Dentro del mismo hay dos interruptores normalmente abiertos los cuales son usados en acuerdo al modo de operación. Por conveniencia a la activación del interruptor intermedio del pedal se referenciará como switch medio, y para cuando se presiona el pedal hasta el fondo, switch fondo.

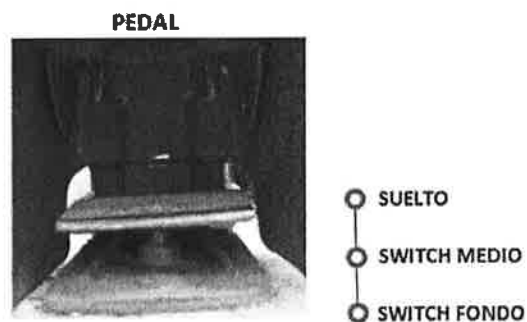


FIGURA 19. INTERRUPTOR DE PEDAL



## MODOS DE OPERACIÓN

Existen dos maneras de operar la dobladora, el modo Cotas y el Autoretorno, ambos modos deben de cumplir un ciclo de trabajo igual, la diferencia entre uno y otro modo radica en las opciones distintas de operación.

Un ciclo completo de trabajo cumple con la siguiente descripción (ver Figura 20): se cuenta con un Punto Muerto Superior (PMS) que es de donde la cortina comienza a bajar según la velocidad programada, llega a cierta altura y hace un cambio de velocidad también se programa esa distancia y por último la cortina llega a un Punto Muerto Inferior (PMI) que es la medida de la altura a la que se quiere hacer el dobles. Al llegar a esa medida inicia el conteo de tiempo requerido para el dobles, cuando termina ese tiempo se regresa la cortina al PMS a la velocidad programada también y así sucesivamente según los pasos requeridos.

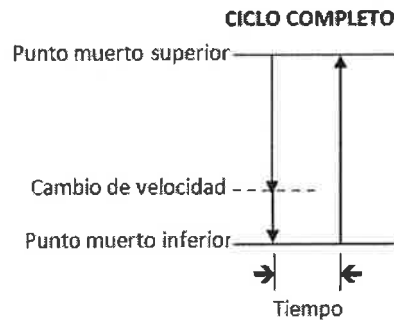


FIGURA 20. CICLO DE TRABAJO DE LA DOBLADORA

### MODO COTAS

Tiene las siguientes características de operación:

1. Oprimir el pedal hasta el fondo corre un ciclo de ascenso y descenso de la cortina.
2. Soltando el pedal la cortina se detiene.
3. Para concluir un ciclo el pedal debe mantenerse oprimido a fondo.
4. Para reiniciar debe soltarse el pedal y volverse a oprimir.

### MODO AUTORETORNO

En este modo de operación se emplean los dos estados que tiene el interruptor de pedal. Al presionar el pedal al fondo la cortina avanza, si se coloca el pedal a la mitad la cortina se detiene y al liberarlo totalmente la cortina regresa al PMS y reinicia el ciclo. El modo de operación es el siguiente.

1. Al oprimir a fondo el pedal la cortina baja.
2. Si en el transcurso de descenso el pedal se coloca a la mitad la cortina se detiene (quedando suspendida).
3. Si se oprime el pedal a fondo el ciclo continúa hasta terminarlo.
4. De igual manera que en el ciclo anterior la cortina se detiene un tiempo predefinido al alcanzar el PMI.

5. Concluido el ciclo hay que liberar el pedal totalmente.

Cabe mencionar que ambos modos de operación son gobernados por el control de tonelaje pues si durante el descenso del PMS al PMI el nivel preestablecido se alcanza, la secuencia de la cortina avanza al siguiente paso, lo que ocasionaría para ambos casos iniciar el conteo de tiempo.

Con esto concluiríamos lo referente a la Dobladora, en el siguiente apartado expone las características principales del PLC.

### 3.2. PLC SIEMENS S700 CPU24

El PLC S7-200 CPU224 incorpora en una carcasa compacta un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y de salida (ver Figura 21). Tras haber cargado el programa en el S7-200, éste contendrá la lógica necesaria para supervisar y controlar los aparatos de entrada y salida de la aplicación. Las características técnicas del PLC se muestran en la Tabla 2.

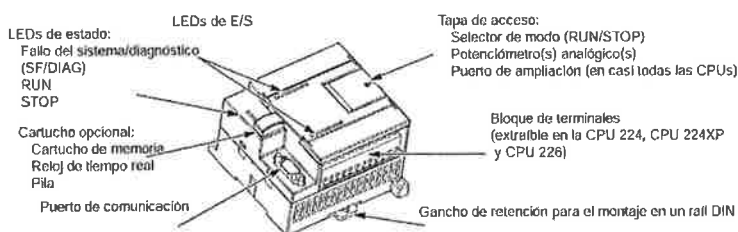


FIGURA 21. PLC S7-200 CPU224

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DEL S7-200 CPU 224

Voltaje de Alimentación	120-240 VAC
Entradas	14 Digitales a 24 VCD
Salidas	10 Analógicas de Relé
Protocolo de comunicación	RS-485

El CPU 224 dispone de 7 módulos expandibles, en este caso el sistema posee uno modelo EM 231. Este es un modulo de ampliación analógico con 4 entradas. Su función es convertir la señal analógica del Sensor de desplazamiento a digital para emplearla en el CPU 224.

#### METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN

El paquete de programación STEP 7-Micro/WIN constituye un entorno de fácil manejo para desarrollar, editar y observar el programa necesario con objeto de controlar la aplicación.

STEP 7-Micro/WIN provee tres editores que permiten desarrollar de forma cómoda y eficiente el programa de control, estos son:

- Lenguaje de contactos (KOP): es el que más similitudes tiene con el utilizado por un electricista al elaborar cuadros de automatismos.

- Lenguaje por lista de instrucciones (AWL): consiste en elaborar una lista de instrucciones.
- Plano de funciones lógicas (FUP): resulta especialmente cómodo de utilizar cuando estamos habituados a trabajar con circuitos de puertas lógicas, ya que la simbología usada en ambos es equivalente.

Cual quiera de estos tres editores puede ser editado usado para la creación del programa. Su programación y manejo se logra mediante el apoyo de manuales y práctica con el equipo. La comunicación con la computadora personal se efectúa con un cable serial RS485 provisto por el fabricante.

### 3.3. INTERFAZ HUMANO MAQUINA

En términos generales el medio que permita la interconexión/comunicación entre dos sistemas de naturaleza distinta con un propósito común, se denomina interfaz.

Para la dobladora y su operador la función de interfaz humano maquina, la realizará la pantalla táctil Weintek modelo MT6070iH (ver Figura 22). Así mediante la utilización de un conjunto de imágenes y objetos pictóricos (iconos, ventanas) además de texto, la pantalla táctil permitirá al usuario interactuar, controlar y supervisar la dobladora.



**FIGURA 22. PANTALLA TÁCTIL WEINTEK MT6070iH**

Las características principales de la HMI son:

Modelo:	MT6070iH
CPU:	32bit RISC 400MHz
I/O:	puertos seriales RS232/RS485
Alimentación:	24 VCD
Software:	EB8000
Pantalla:	7"
Resolución:	800 x 480

La aplicación para el desarrollo de la interfaz grafica de la pantalla es el EasyBuilder 8000. Con este editor de proyectos visuales podremos realizar las siguientes tareas:

- Seleccionar el tipo de PLC a conectar y los parámetros de comunicación.
- Edición de pantallas, inserción de objetos tales como botones, indicadores, textos.
- Compilación del proyecto y su descarga a la pantalla táctil.

El sistema posee un manual del usuario y demostraciones en la red para su programación. Hasta aquí concluye el marco teórico, a continuación se expone el desarrollo realizado para la creación del control de la dobladora.

## CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL

El desarrollo del sistema de control consiste en una serie de pasos que nos llevan desde que analizamos una situación de la vida real, hasta vemos ejecutarse sin errores el programa que automatiza las tareas. El ciclo de desarrollo a realizar abarca las siguientes fases:

- Análisis: se analiza una situación del mundo real, para entenderla a fondo, determinando las especificaciones de operación requeridas.
- Diseño: el desarrollo que traduce los requerimientos del cliente a una forma estandarizada y abstracta que sirva como materia prima para la codificación de aplicaciones.
- Codificación: traduce los documentos de diseño a su representación en código fuente, utilizando un lenguaje de programación determinado.
- Pruebas e implementación: corrobora si los programas cubren las especificaciones de diseño, y si el cliente está satisfecho con la forma en que el programa trabaja y con los resultados que proporciona.

Mediante el seguimiento de estas cuatro fases se desarrolla el sistema de control para la dobladora.

### 4.1. ANÁLISIS

Con base en los requerimientos del cliente, personal de producción y operadores se establecen las especificaciones de operación requeridas: paro y arranque de la bomba, jog, modos de operación, sistemas de seguridad y mantenimiento.

La manera de realizar estas operaciones se define de la siguiente forma:

- Consultando a un Ingeniero especialista en dobladoras hidráulicas (que también participa en el proyecto).
- Consultando el manual de la máquina.
- Consultado a los operadores de otras dobladoras, para conocer su forma de trabajo.

De esta manera se asignan acciones concretas para cada operación, mostradas a continuación:

#### ARRANQUE

Arranque y paro de la bomba hidráulica. Cuando se arranca la maquina por primera vez la cortina debe subir para buscar el punto muerto superior máximo.

#### JOG

Subir y bajar la cortina a voluntad del operador para el cambio de dados, ajustes y mediciones. Esto se define como modo Jog.

#### MODO DE OPERACIÓN

Proporcionar al usuario, dos modos de operación (Normal y Autoretorno) para los cuales sea posible variar la velocidad de ascenso y descenso de la cortina. En páginas anteriores se describe a detalle cada modo de operación.

#### SEGURIDAD

Subir la cortina mediante un pulsador manual en caso de percance con el operador o material.

Detención de la cortina y paro de la bomba hidráulica si existe inclinación en la cortina durante ascenso o descenso. Una vez activado este estado, solamente el personal de mantenimiento podrá reactivar el equipo, teniendo en cuenta se reparo la falla que ocasiono la inclinación.

Controlar el tonelaje aplicado, mediante un control gobernado por el usuario. Si el valor pre ajustado es excedido la cortina detendrá su movimiento.

Paro de emergencia, detener el movimiento de la cortina y apagar la bomba hidráulica.

#### MANTENIMIENTO

Manipulación de la dobladora para servicios de mantenimiento. Conocer el estado de las entradas y salidas del PLC y visualizarlos en la pantalla HMI.

Conocer el estado de los micros de inclinación si es que se activaron. Reactivar la dobladora a partir de este parámetro.

Subir y bajar la cortina sin restricción de los interruptores de límite, teniendo como protección el control de tonelaje y los interruptores de inclinación

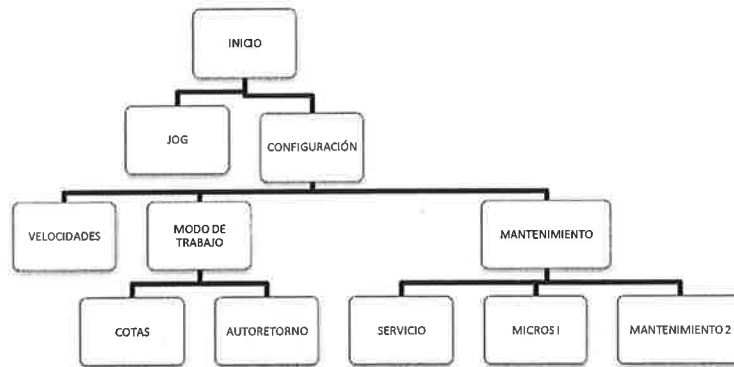
El mando de estas rutinas se efectuara a través de la pantalla HMI y un tablero de control manual. Con estas especificaciones de operación en la siguiente etapa se realiza el diseño del programa para la pantalla HMI y el PLC.

## 4.2. DISEÑO

El diseño se aborda en dos partes, una corresponde a la HMI y la otra a la programación del PLC. Comenzamos con lo referente HMI.

#### HMI

La pantalla HMI efectuar la interfaz entre el operador y la dobladora mediante pantallas con menús. Para asignar la distribución de pantallas y el orden de los menús que debe ofrecer la HMI se realiza una distribución las rutinas, descritas antes, en el organigrama de la Figura 23.



**FIGURA 23. ORGANIGRAMA DE RUTINAS**

Por cada recuadro del organigrama se asigna una pantalla y los submenús que elegidos para cada una de estas se enlistan enseguida:

Pantalla de Inicio:

- Botón de arranque
- Botón de paro
- Vinculo a la pantalla JOG
- Vinculo a la pantalla Configuración

Configuración:

- Botón de arranque
- Botón de paro
- Vinculo al Modo de trabajo
- Vinculo a Velocidades
- Vinculo a Mantenimiento
- Vinculo a JOG
- Retorno a Inicio

JOG:

- Botón para subir cortina
- Botón para bajar cortina
- Indicador numérico de posición
- Botón de arranque
- Botón de paro
- Vinculo a Configuración
- Vinculo a Velocidades
- Retorno Inicio

Velocidades:

- Selección de velocidad de subida en modo de operación
- Selección de velocidad de bajada en modo de operación
- Reset de velocidades
- Botón de arranque
- Botón de paro
- Vinculo a Configuración
- Vinculo a JOG

- Retorno a Inicio

#### Modo de trabajo:

- Selectores de modo de trabajo (Cotas y Autoretorno)
- Vinculo al modo de trabajo cotas
- Vinculo al modo de trabajo autoretorno
- Retorno a Inicio

#### Cotas:

- Ingreso y visualización de valores para el PMI
- Ingreso y visualización de valores para el tiempo de espera en el PMI
- Ingreso y visualización de valores para el PMS (Altura de retorno)
- Ingreso y visualización de número de pasos
- Ingreso y visualización de altura de cambio de velocidad
- Indicador numérico de posición
- Botón de restablecimiento de parámetros
- Retorno a Inicio

#### Autoretorno:

- Ingreso y visualización de valores para el PMI
- Ingreso y visualización de valores para el tiempo de espera en el PMI
- Ingreso y visualización de un único valor para el PMS (Altura de retorno)
- Ingreso y visualización de número de pasos
- Ingreso y visualización de altura de cambio de velocidad
- Indicador numérico de posición
- Botón de restablecimiento de parámetros
- Retorno a Inicio

#### Mantenimiento:

- Identificación de usuario y captura de clave de acceso
- Vinculo a Servicio
- Vinculo a Micros 1
- Vinculo a Mantenimiento 2
- Retorno a Inicio

#### Servicio:

- Botón para subir cortina sin restricciones
- Botón para bajar cortina sin restricciones
- Texto de modo de condiciones de operación

#### Micros I:

- Indicador de micro activado
- Botón de restablecimiento de micros
- Indicador numérico de activaciones

#### Mantenimiento 2:

- Conocer el estado de las salidas del PLC
- Indicador numérico de entrada del Sensor de desplazamiento escalada y sin escalar
- Retorno a la pantalla de mantenimiento



Con esto podemos asignar el contenido a las pantallas, ahora el siguiente paso es transferirlo al entorno de la HMI mediante la creación de las pantallas con el Easy Builder 8000.

Hasta aquí se concluye la parte de diseño de la HMI y continuamos con el PLC.

#### PLC S7-200 CPU224

El esquema de trabajo para el PLC se desarrolla con el siguiente diagrama de flujo.

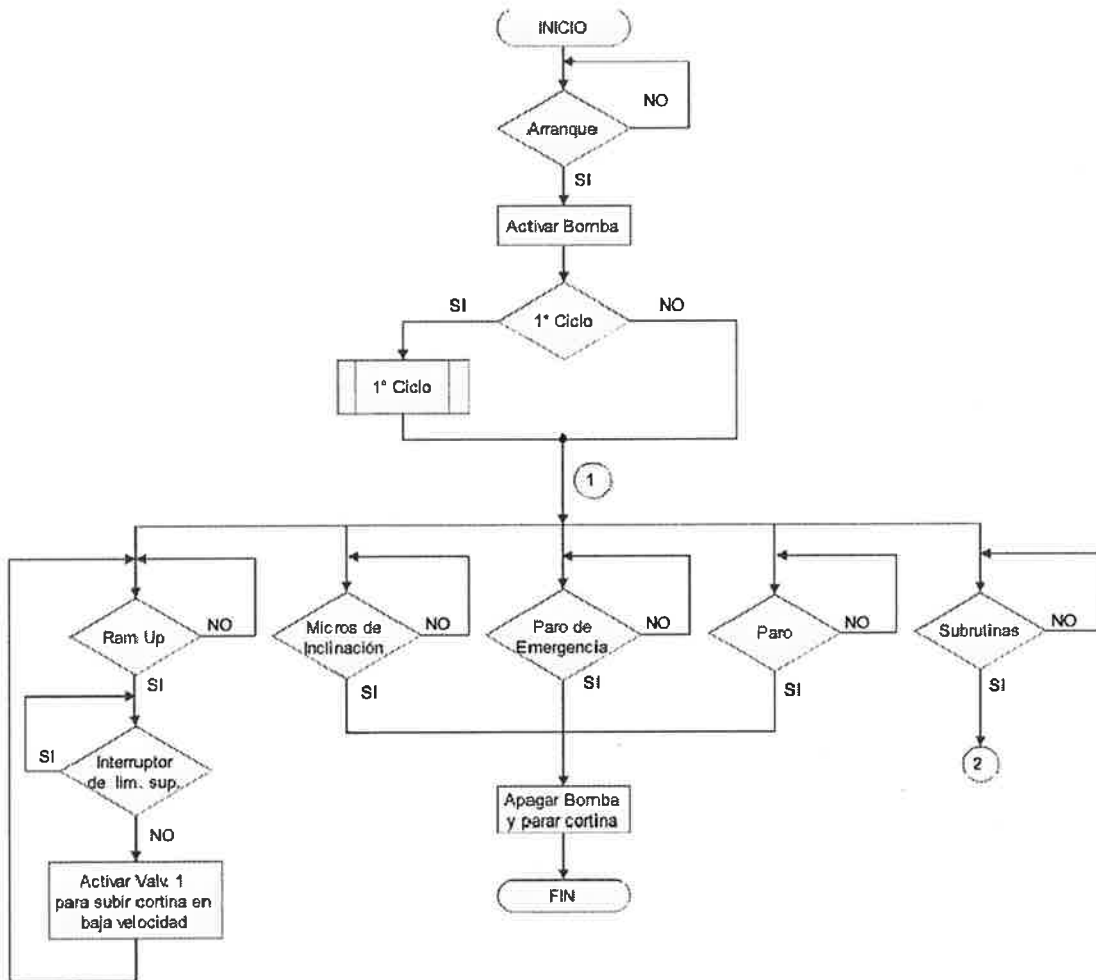


FIGURA 24. DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DEL PLC

#### DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DEL PLC

El arranque de la bomba lo ejecuta el operador en panel de control (botón o HMI). Si es la primera vez que se activa la bomba, después de desenergizar el sistema, la secuencia de primer ciclo se ejecuta. Esta consiste en que la cortina localice el PMS. De lo contrario la cortina permanece inmóvil. En seguida se presentan cinco rutinas:

1. Ram Up: Subir la cortina con la botonera del tablero hasta alcanzar los Interruptores de límite superior.
2. Micros de inclinación: se activarán si es que la cortina sube o baja ladeada y por lo tanto desactivan la bomba.
3. Paro de emergencia: este botón detiene la cortina y apaga la bomba.
4. Paro: este es un botón que detiene la cortina y apaga la bomba.
5. Subrutinas: Con este se ingresa a las distintas subrutinas del programa.

Las cuatro primeras rutinas pueden activarse en cualquier momento, puesto que son de seguridad, indistintamente del estado de trabajo del PLC. La última rutina es el ingreso a subrutinas, donde se ejecutan las especificaciones restantes. Para concluir el ciclo del diagrama de flujo se detiene la bomba con el botón de paro y se da fin al ciclo.

### SUBROUTINAS

Las subrutinas que se derivan del diagrama anterior son mostradas (Figura 25) y descritas a continuación.

- JOG: permite subir y bajar la cortina para distintas maniobras de medición y colocación de herramienta (ver Figura 26).
- Velocidades: dentro de esta se establece la velocidad de subida y bajada de la cortina durante el modo de operación (ver Figura 27).
- Servicio: en esta subrutina se sube y baja la cortina, sin restricción de los interruptores de límite superior o el tonelaje esto para maniobras de mantenimiento (ver Figura 28).
- Cotas y Autoretorno: aquí ingresamos a los modos de trabajo previamente descritos. Un ejemplo de estos se desarrolla desde la Figura 29 hasta la Figura 32.

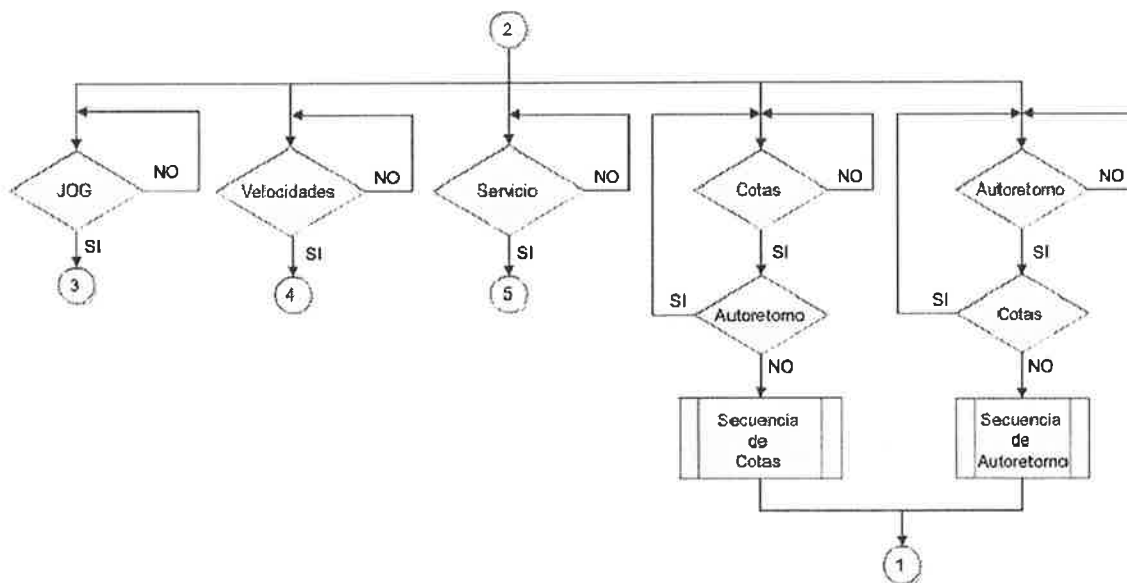


FIGURA 25. DIAGRAMA DE FLUJO DE SUBROUTINAS

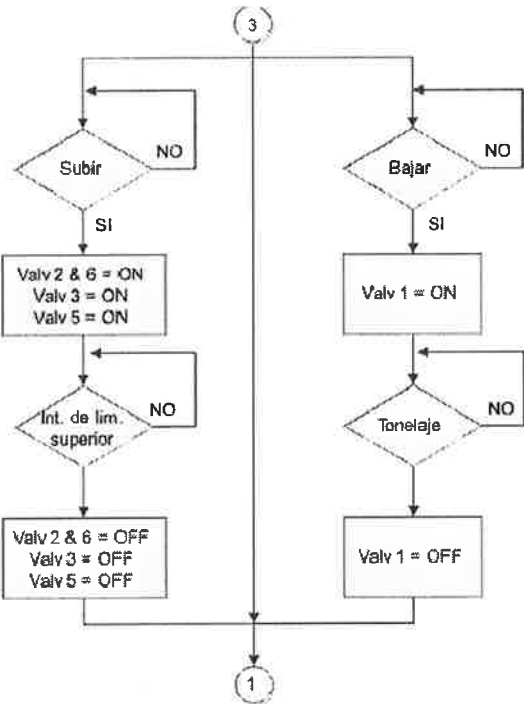


FIGURA 26. SUBROUTINA JOG

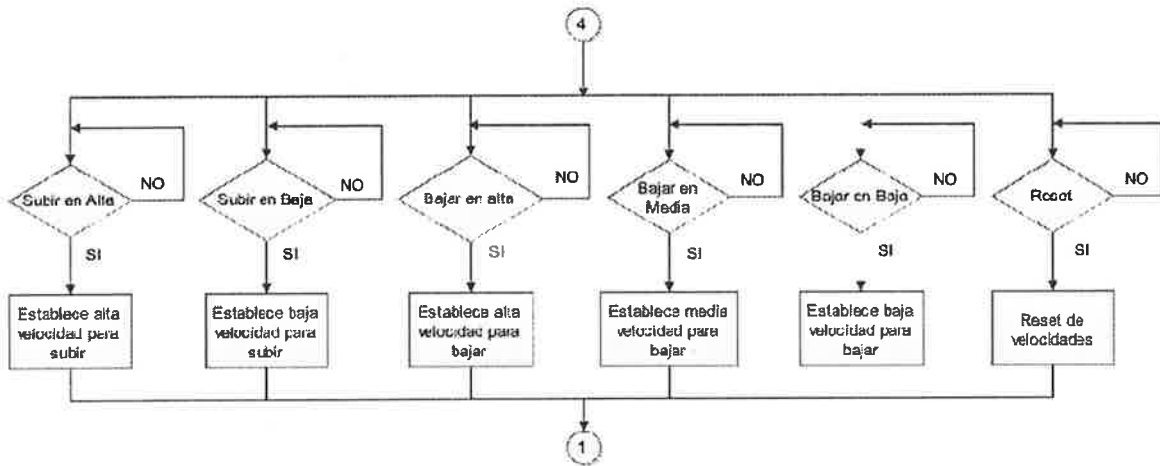


FIGURA 27. SUBROUTINA VELOCIDADES

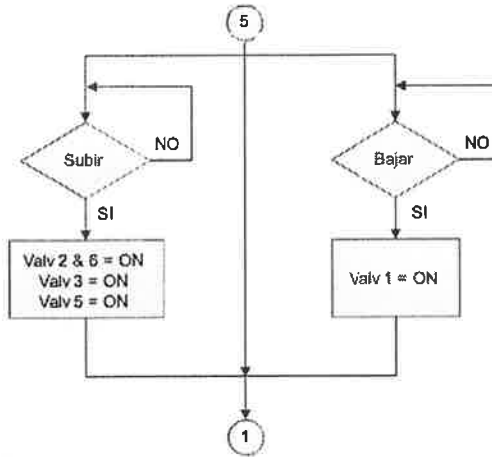


FIGURA 28. SUBRUTINA DE SERVICIO

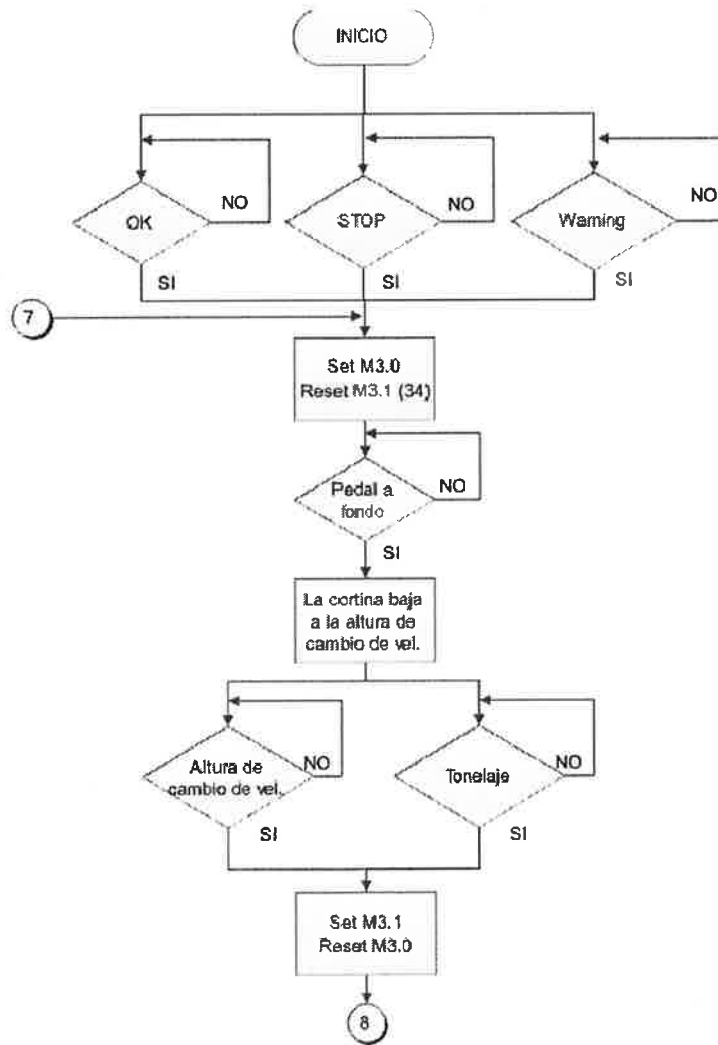


FIGURA 29. SECUENCIA DE TRABAJO POR COTAS 1 DE 4

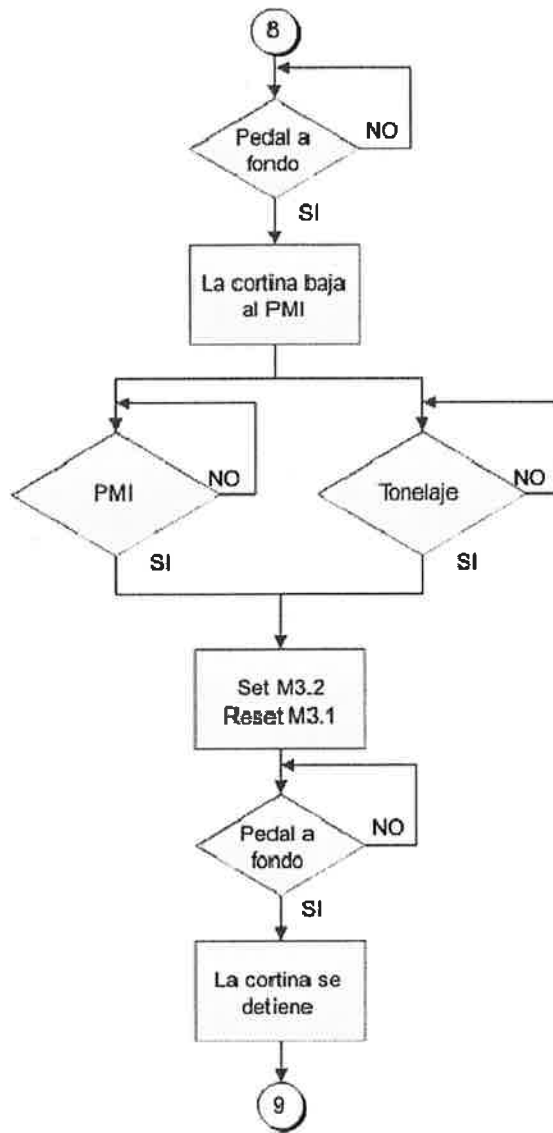


FIGURA 30. SECUENCIA DE TRABAJO POR COTAS 2 DE 4

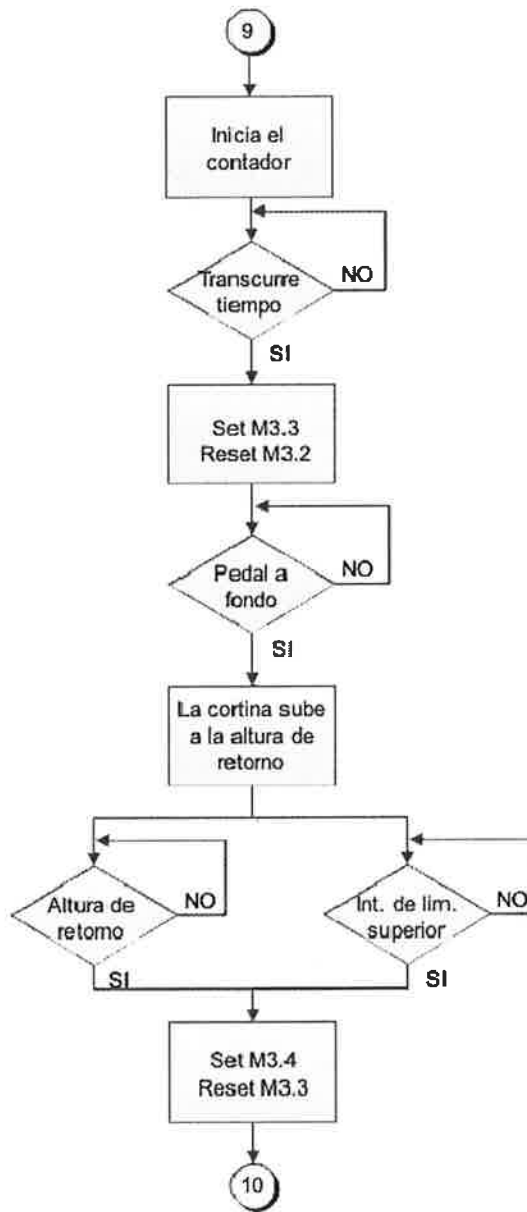


FIGURA 31. SECUENCIA DE TRABAJO POR COTAS 3 DE 4

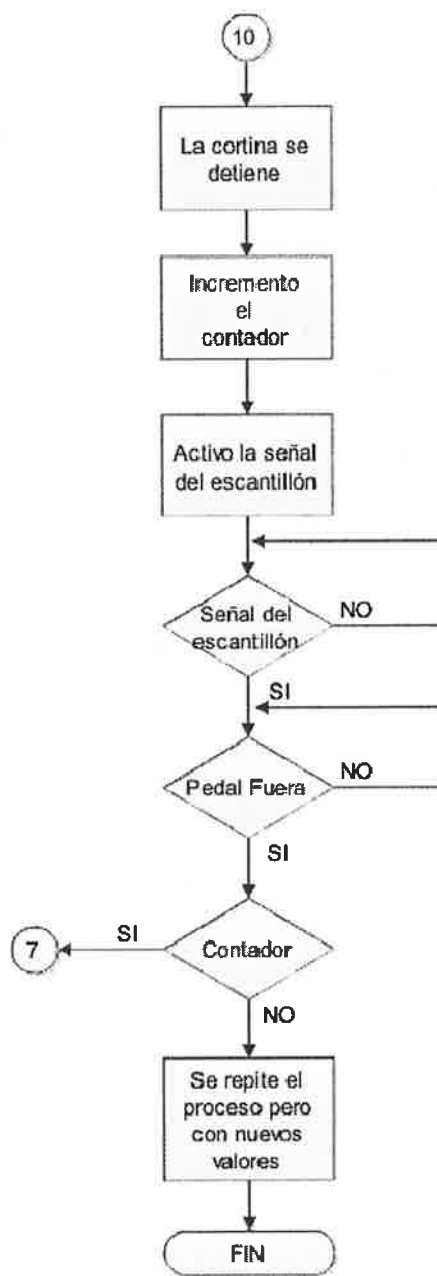


FIGURA 32. SECUENCIA DE TRABAJO POR COTAS 4 DE 4

La distribución de las operaciones o rutinas dentro del programa del PLC se presentan de manera condensada en la siguiente tabla. El lenguaje de programación a usar es el lenguaje de contactos KOP, tarea que se lleva a cabo en la etapa de codificación.

**TABLA 3. OPERACIONES DEL PLC**

Programa principal	Subrutinas	Operaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arranque de la bomba hidráulica</li> <li>▪ Paro de la bomba hidráulica</li> <li>▪ Paro de emergencia</li> <li>▪ Localización del punto de referencia en el primer ciclo</li> <li>▪ Subir cortina con botón de tablero (Ram up)</li> <li>▪ Ingreso a subrutinas</li> <li>▪ Paro de bombas si se activan micros de inclinación</li> <li>▪ Contador de eventos para los micros de inclinación</li> <li>▪ Restablecimiento de los micros de inclinación</li> <li>▪ Escalamiento del Sensor de desplazamiento</li> <li>▪ Cargar valores de PMI</li> <li>▪ Cargar valores de tiempo de espera en PMI</li> <li>▪ Cargar valores de altura de cambio de velocidad</li> <li>▪ Cargar valores de altura de retorno</li> <li>▪ Cargar valores de número de pasos</li> <li>▪ Restablecimiento de valores</li> </ul>	JOG	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Subir cortina en baja velocidad</li> <li>▪ Bajar cortina en baja velocidad</li> </ul>
	Velocidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Establecer velocidad de subida</li> <li>▪ Establecer velocidad de bajada</li> <li>▪ Reset de velocidades</li> </ul>
	Servicio	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Subir cortina sin restricción más que la de los micros de inclinación</li> <li>▪ Bajar cortina sin restricción más que la de los micros de inclinación</li> </ul>
	Cotas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ejecutar secuencia de modo cotas</li> </ul>
	Autoretorno	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ejecutar secuencia de modo autoretorno</li> </ul>



## 4.3. CODIFICACIÓN

### CODIFICACIÓN DE LA HMI

Con el esquema y las listas desarrolladas para la HMI la primera codificación es mediante el EasyBuilder 8000, se conforman 11 pantallas. Las miniaturas se muestran enseguida.

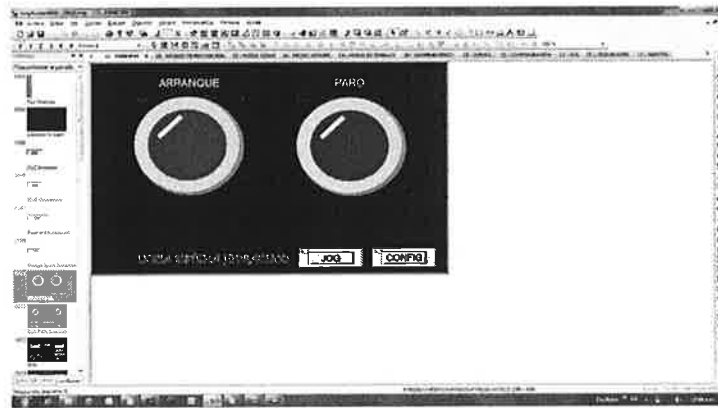


FIGURA 33. PANTALLA DE INICIO

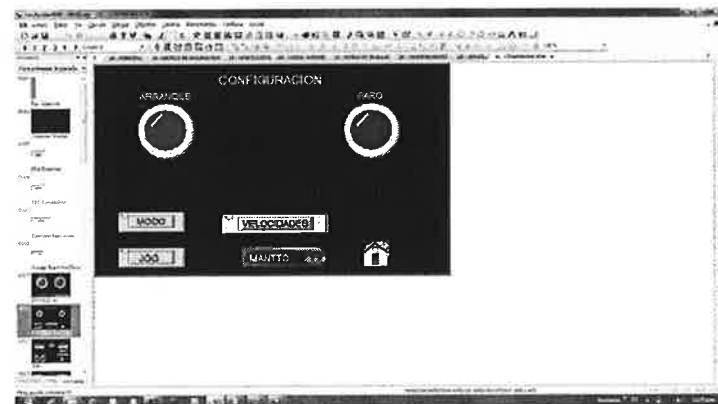


FIGURA 34. PANTALLA DE CONFIGURACIÓN



FIGURA 35. PANTALLA DE JOG

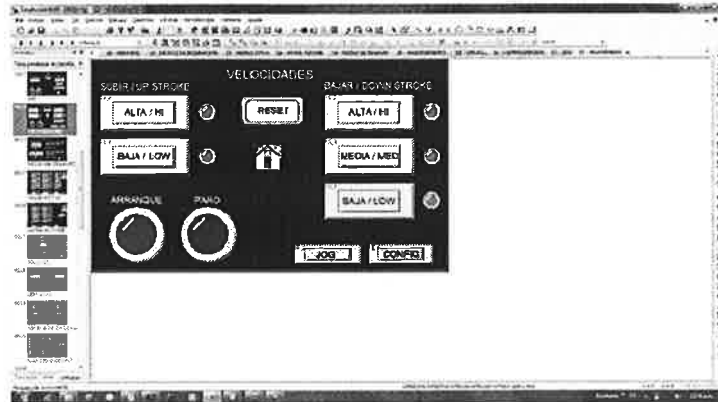


FIGURA 36. PANTALLA VELOCIDADES

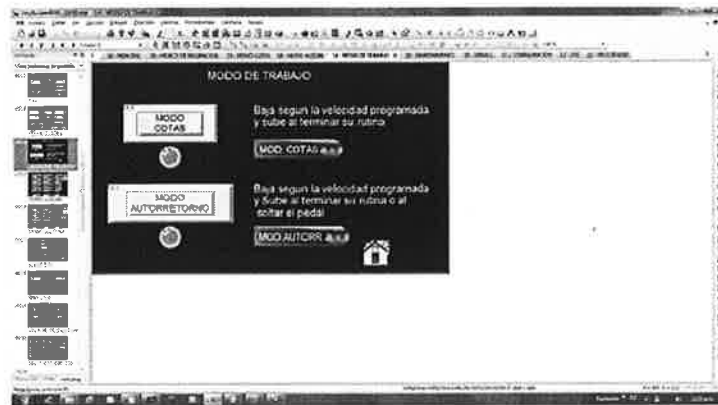


FIGURA 37. PANTALLA MODO DE TRABAJO

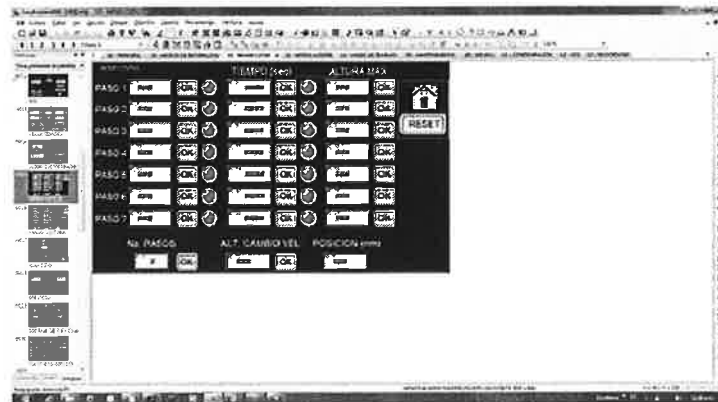


FIGURA 38. PANTALLA MODO COTAS

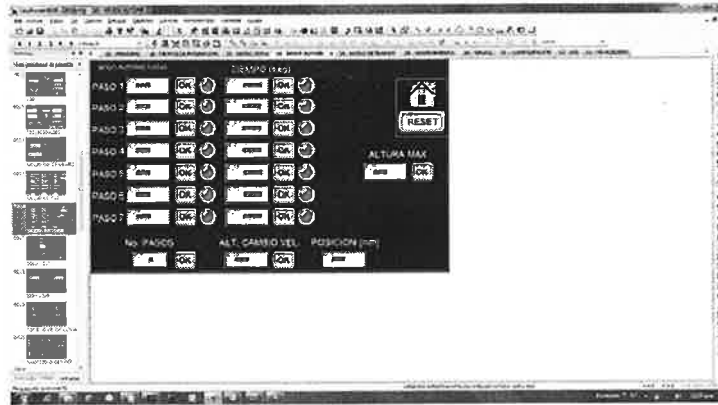


FIGURA 39. PANTALLA MODO AUTORETORNO

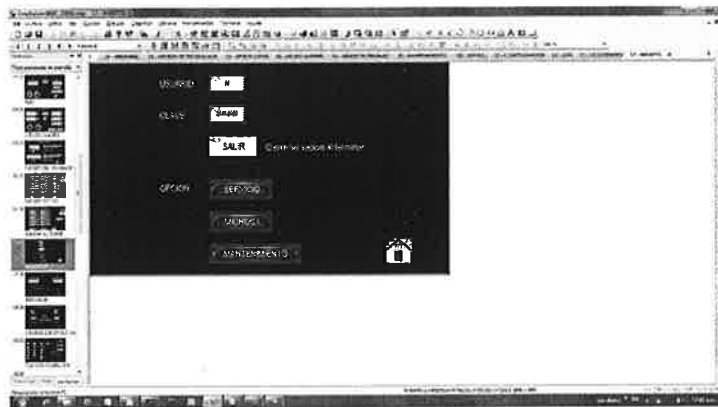


FIGURA 40. PANTALLA MANTENIMIENTO

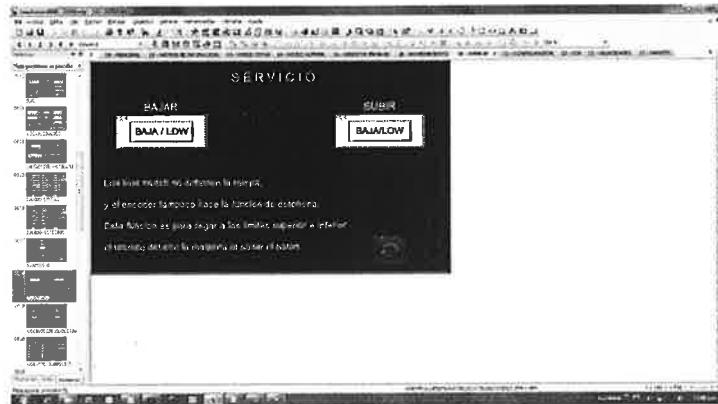


FIGURA 41. PANTALLA SERVICIO



FIGURA 42. PANTALLA MICROS DE INCLINACIÓN



FIGURA 43. PANTALLA MANTENIMIENTO 2

## CODIFICACIÓN DEL PLC

En las siguientes figuras se muestra el código para el arranque, paro y paro de emergencia de la bomba hidráulica de la dobladora.

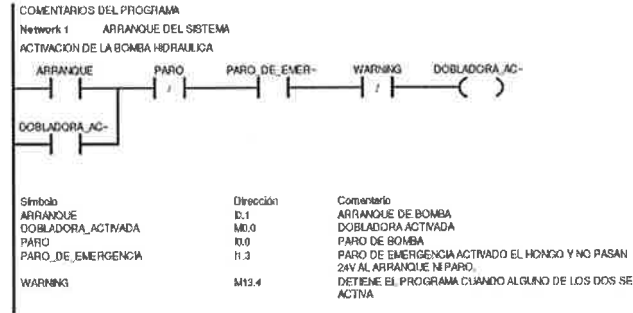


FIGURA 44. ARRANQUE DE LA BOMBA HIDRÁULICA

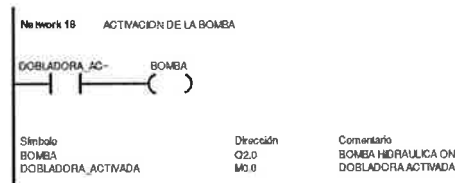


FIGURA 45. ACTIVACIÓN DE LA BOMBA HIDRÁULICA

El siguiente código muestra la secuencia del modo de operación cotas. Esta secuencia corresponde al mando y avance de la secuencia.

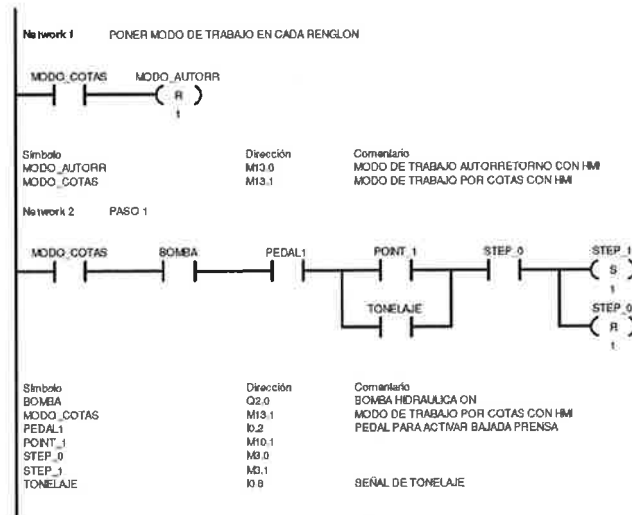


FIGURA 46. PASO UNO DE SECUENCIA DE MODO COTAS

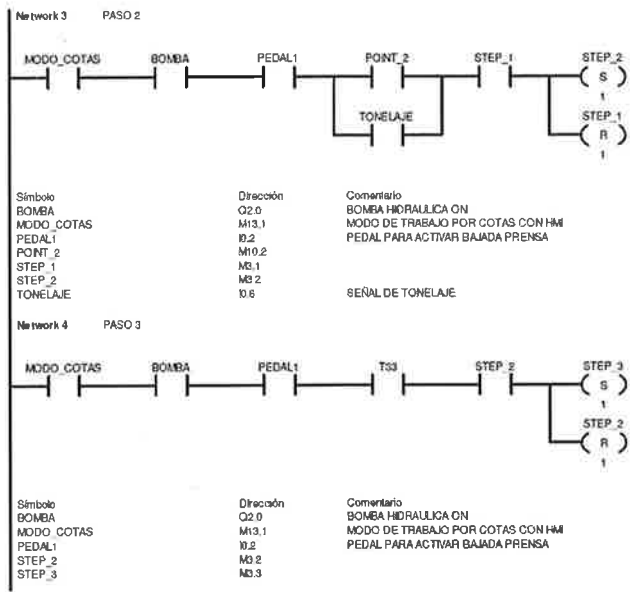


FIGURA 47. PASOS DOS Y TRES DE SECUENCIA MODO COTAS

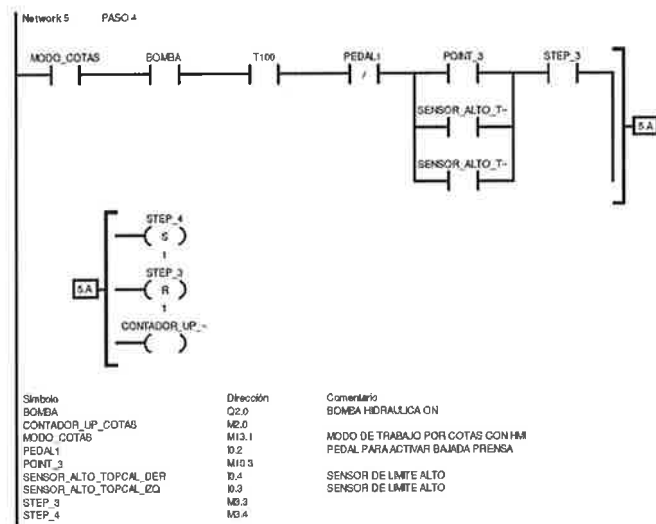


FIGURA 48. PASO CUATRO DE SECUENCIA MODO COTAS

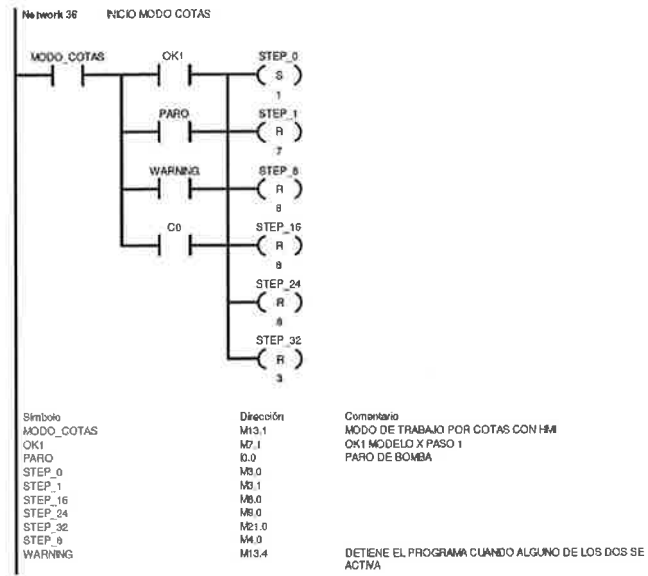


FIGURA 49. PASO CERO DE SECUENCIA MODO COTAS

Y por ultimo vemos de la Figura 50 a la Figura 53, tenemos la sección de mando de salida

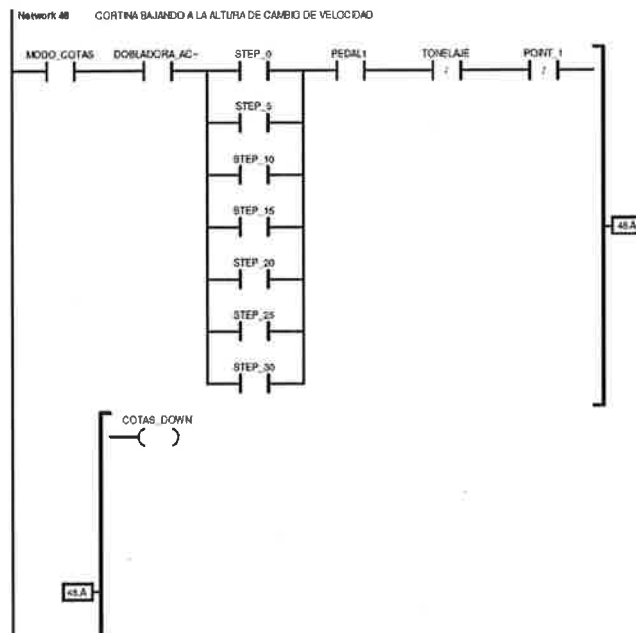


FIGURA 50. MANDO DE SALIDA, BAJANDO CORTINA A ALTURA DE CAMBIO DE VELOCIDAD

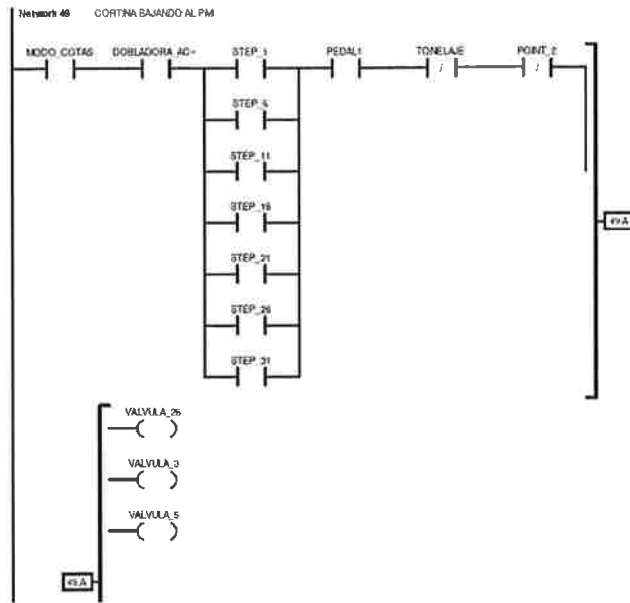


FIGURA 51. MANDO DE SALIDA, BAJANDO CORTINA AL PMI

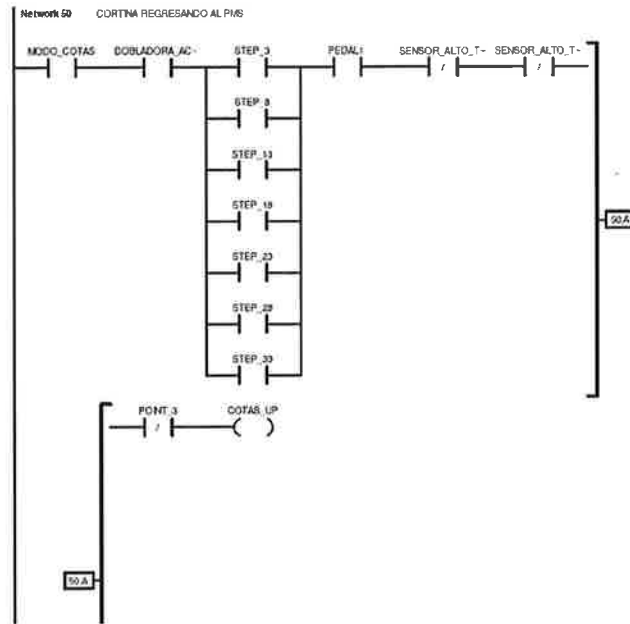


FIGURA 52. MANDO DE SALIDA, SUBIENDO CORTINA AL PMS



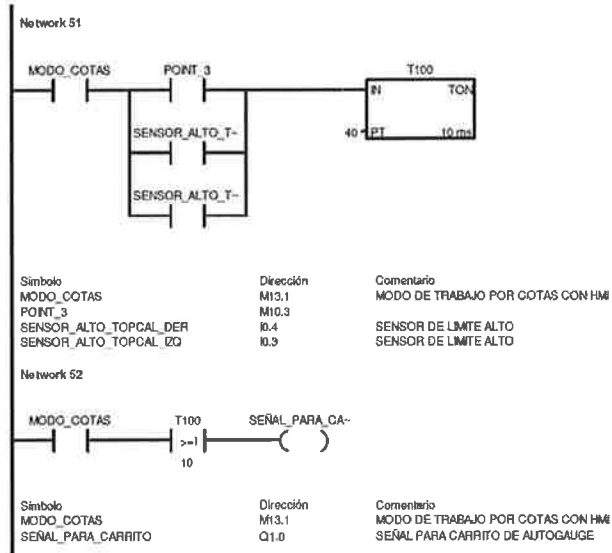


FIGURA 53. MANDO DE SALIDA, ACTIVANDO SEÑAL PARA EL ESCANTILLÓN

## CAPÍTULO 5. RESULTADOS E IMPLEMENTACIÓN

### 5.1. IMPLEMENTACIÓN

Se programaron la HMI y el PLC conforme a lo descrito, fue necesario acondicionar un tablero para instalar la pantalla HMI junto con una serie de botones de control (ver Figura 56). El sensor de desplazamiento fue reubicado en una placa del bastidor de la máquina, una posición más estable que la anterior. El escantillón fue acoplado al control para activarse en sincronía con la cortina a través del PLC, ya que anteriormente su accionamiento era mecánico. Los interruptores de límite superior y micros de inclinación fueron limpiados y recalibrados. La banda de ajuste de la servoválvula fue limpiada. La tarjeta electrónica del sensor de tonelaje fue colocada en un gabinete aparte.

Como se definió al principio los Ingenieros encargados reacondicionaron el sistema eléctrico y efectuaron un mantenimiento general.

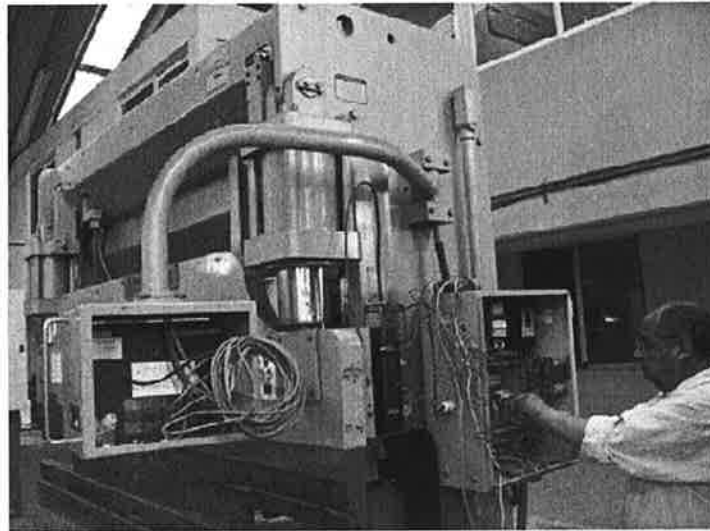


FIGURA 54. PERSONAL DE INGENIERÍA EN RECABLEADO EL SISTEMA

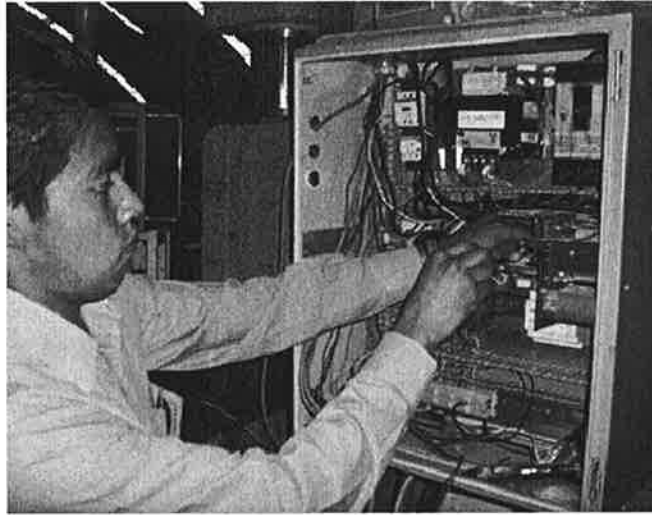


FIGURA 55. PERSONAL DE INGENIERÍA CONECTANDO EL PLC

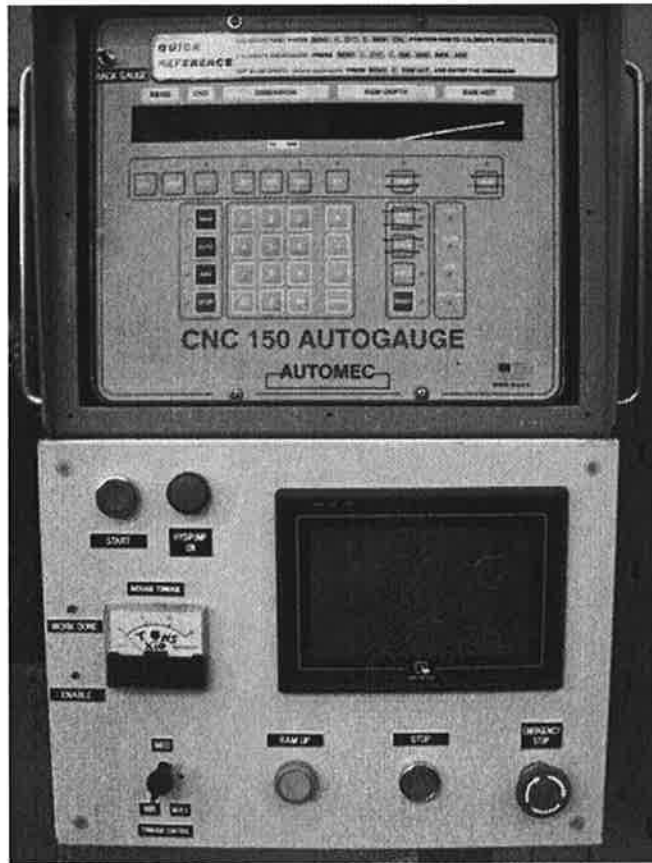


FIGURA 56. TABLEROS DE CONTROL DE LA DOBLADORA Y HMI

## 5.2. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Para determinar la funcionalidad del control sobre la dobladora en primera instancia se determino si el equipo está en condiciones de trabajo realizando las siguientes operaciones:

- Prueba de todos los botones del tablero y de la pantalla táctil.
- Activación de sistemas de seguridad (ajuste de tonelaje, interruptores de límite superior; funcionamiento de botones: Ram up, paro y paro de emergencia).
- Correr ciclos de trabajo sin carga.
- Comparar la longitud de avance de cortina con la referencia numérica de la pantalla.
- Activación del escantillón al término de cada paso.
- Conseguir herramientas en buen estado

Cumpliendo con estos previos se procede a realizar doblado de Scrap que se tiene en la empresa para así:

- Ajustar parámetros
- Dominar la operación de la dobladora
- Verificar el estado de la herramienta (matriz y dados)
- Nivelación de la cortina
- Linealidad de la cama.

Enseguida se elaboran probetas de igual longitud y espesor (en calibres 14, 12 y 10), aproximadamente veinte muestras por cada espesor. El equipo se opera en ambos modos de trabajo (cotas y autoretorno) y se comienzan a doblar las probetas. Con esto verificamos la repetitividad del dobles y la capacidad máxima de la maquina. Los resultados obtenidos de este procedimiento fueron:

- La capacidad máxima de la maquina se ubica en lamina calibre 12 con longitud de 100 cm mediante dobles al aire.
- Las probetas de longitud menor a 50 cm tienen uniformidad y repetitividad. En longitudes mayores hay repetitividad pero no uniformidad de los dobles debido a las malas condiciones de los herramientas de mayor tamaño y a la deflexión de la cama. Este problema se soluciona con la sustitución de dados en mejores condiciones y la colocación de laines entre la cama y la matriz.

Con estos resultados se procede a capacitar a un operador para que comience con la producción de piezas de tamaño menor a 50 cm mientras se consiguen los herramientas grandes en buenas condiciones.

También se elabora un manual de operación de la dobladora y se entrega al gerente de planta.

## CONCLUSIONES

Se realizó la programación e implementación del PLC y la HMI para la puesta en marcha de la dobladora.

La dobladora puede ejecutar dobleces repetitivamente y con exactitud aceptable.

Las especificaciones de operación se cumplieron.

El apoyo del Ingeniero especialista de área y el Operador fue trascendental ya que la experiencia en el manejo de la dobladora facilitó obtener resultados satisfactorios.

Para el rediseño de este control una de las bases principales fue el manual de la dobladora, pues es una base sólida y evita hacer suposiciones sobre el funcionamiento del equipo.

Dentro de los principales retos al implementar el sistema fue diagnosticar la necesidad de incrementar el valor de 2.4 mm en el valor de desplazamiento al bajar la cortina al PMI, esto para compensar el error provocado por la inercia de la cortina al desplazarse.

Otro aspecto significativo al buscar la repetibilidad del sistema fue el sensor de desplazamiento, cuya fijación se afectaba por el desplazamiento de la cortina. Además los cambios de temperatura durante el día afectaban su desempeño, esta situación no se pudo mejorar ya que requiere sustituir este elemento.

También las herramientas de la máquina también juegan un papel importante en la búsqueda de repetibilidad. En este caso el desgaste disperejo que presentaban no permitía tener buenas referencias al doblar probetas.

Se desarrolló un Manual de operación para el sistema de control (ver anexo 2).

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Carlos Vila Pastor, Tecnología Mecánica: Metrología y procesos de conformado de metales sin arranque de viruta. Castellón: Publicaciones Universidad Jaime I, N°233.*
- [2] *"Press Brake Bending: Methods and Challenges," Metalforming magazine, Precision Metalforming Association, August, 2008.*
- [3] *Tool and Manufacturing Engineers Handbook (TMEH), Volume 2, Forming. Society of Manufacturing Engineers, 1984.*
- [4] *Basic of PLC's, SIEMENS.*
- [5] *Manual del Sistema de Automatización S7-200, SIEMENS, 2008.*
- [6] *Mandado Pérez Enrique, Autómatas Programables y Sistemas de Automatización. Alfaomega, 2010.*
- [7] *Canal PLC, <http://personales.ya.com/canalPLC/index.htm>,*
- [8] *EasyBuilder8000 Manual*
- [9] *Operation and Maintenance Manual for Cincinnati Autoshape CNC Forming Center, Cincinnati.*

## ANEXO 1 CÓDIGO KOP DEL PLC S7-200

## ANEXO 2 MANUAL DE OPERACIÓN DE LA DOBLADORA