



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:**

**INGENIERO/A EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES**

**TEMA:**

**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL DEL DOBLADO DE  
BARRAS DE COBRE DE LA EMPRESA INASEL CIA. LTDA.**

**AUTOR/A:**

**SILVIO SANTIAGO SÁNCHEZ AMAGUA**

**TUTOR/A:**

**ING. RENE ERNESTO CORTIJO LEYVA. MG**

**QUITO- ECUADOR**

**AÑO: 2018**



## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación “Sistema Automatizado para el control del doblado de barras de cobre de la empresa INASEL CIA. LTDA.” presentado por Silvio Santiago Sánchez Amagua, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito 3 de Septiembre del 2018

**EL TUTOR**

Ing. Rene Ernesto Cortijo Leyva, Mg

## **AGRADECIMIENTOS**

Antes que a todos quiero agradecer a Dios por darme las fuerzas necesarias en los momentos en que más las necesité.

Gracias a mi familia, quienes supieron entenderme, guiarme, acompañarme y brindarme todo su apoyo durante mi etapa académica, que sin la cual no hubiera sido posible dar este paso tan importante en mi vida.

Eterna gratitud a todos mis maestros por el apoyo, guía, consejos y ayuda desinteresada que me brindaron.

Gracias también a todos mis queridos compañeros, que me apoyaron y me permitieron entrar en su vida durante estos años de convivir dentro y fuera del salón de clase.

Gracias a todos.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	i
Antecedentes .....	i
Planteamiento del problema.....	i
Formulación del problema .....	ii
Justificación .....	ii
Objetivos .....	ii
Objetivo general .....	ii
Objetivos específicos.....	iii
Alcance .....	iii
CAPÍTULO I.....	1
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	1
1.    Introducción .....	1
1.1.    Clasificación de los sistemas de control.....	2
1.2.    Sensores.....	3
1.3.    Autómata programable industrial (PLC).....	6
1.4.    Encoders .....	10
1.5.    Automatización hidráulica .....	11
1.6.    Diseño y ciclo de vida de una máquina eléctrica .....	17
1.7.    PLC Siemens Simatic S7-1200 AC/DC/relé CPU 1212C .....	18
1.8.    Encoder rotativo HE50B .....	20
1.9.    Válvula solenoide chelic 220 VAC 6102.....	21
CAPÍTULO II .....	23
MARCO METODOLÓGICO.....	23
2.    Introducción .....	23
2.1.    Metodología .....	23

2.1.1.	Etapa de revisión .....	24
2.1.2.	Etapa de modelación del sistema de control .....	24
2.1.3.	Etapa de diseño .....	25
2.1.4.	Etapa de implementación .....	25
2.1.5.	Etapa de evaluación.....	25
2.1.6.	Formulación de hipótesis e identificación de variables dependientes e independientes .....	26
CAPÍTULO III.....		27
PROPUESTA.....		27
3.	Introducción .....	27
3.1.	Diagnóstico y evaluación de la dobladora de barras de cobre .....	27
3.2.	Propuesta de automatización de máquina dobladora .....	28
3.3.	Diagrama eléctrico general.....	34
3.4.	Especificación de equipos .....	34
3.5.	Costos del proyecto .....	44
3.6.	Ventajas del desarrollo del proyecto .....	45
CAPÍTULO IV.....		47
IMPLEMENTACIÓN.....		47
4.	Introducción .....	47
4.1.	Implementación del subsistema mecánico .....	47
4.2.	Implementación del subsistema eléctrico o tablero de control .....	48
4.3.	Implementación del programa de control.....	50
4.4.	Implementación de la interfaz HMI .....	53
4.5.	Pruebas de funcionamiento .....	59
4.6.	Análisis de resultados.....	60

CONCLUSIONES .....62

RECOMENDACIONES .....64

REFERENCIAS .....65

ANEXOS .....69

## LISTA DE TABLAS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1.1 Características técnicas del PLC S7-1200 CPU 1212C.....	19
Tabla 1.2. Características técnicas del panel básico Simatic HMI KTP 600.....	20
Tabla 1.3 Características técnicas del encoder rotativo HE50B. ....	21
Tabla 1.4 Características técnicas de la válvula solenoide MFB1-5.5yc 220 VAC. ....	22
Tabla 3.1 Características técnicas de la bomba hidráulica.....	32
Tabla 3.2. Equipos eléctricos seleccionados.....	40
Tabla 3.3 Entradas y salidas utilizadas en el PLC. ....	42
Tabla 3.4. Características técnicas CPU PLC SIEMENS S7-1200 .....	42
Tabla 3.5 Características pantalla HMI KTP600 .....	43
Tabla 3.6. Selección de equipos electrónicos .....	44
Tabla 4.5.1. Toma de datos ángulo de doblado modo manual.....	59
Tabla 4.5.2. Toma de datos ángulo de doblado modo automático.....	60
Tabla 4.6.1 ECM de la máquina .....	61

## LISTA DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura 1.1. Diagrama de bloque de un sistema de control en lazo abierto .....	2
Figura 1.2. Sistema de control en lazo cerrado.....	2
Figura 1.3. Componentes básicos de un sensor.....	3
Figura 1.4. Señal analógica .....	4
Figura 1.5. Ejemplo de señal digital .....	5
Figura 1.6. Estructura interna de un PLC.....	9
Figura 1.7. Estructura de un encoder incremental .....	11
Figura 1.8. Estructura de un encoder absoluto.....	11
Figura 1.9. Cálculo del avance de un cilindro.....	13
Figura 1.10. Cilindro actuador a pistón de accionamiento simple a resorte .....	13
Figura 1.11. Cilindro tipo pistón de doble actuador desequilibrado o doble vástago.....	14
Figura 1.12. Estructura básica de un motor de corriente continua.....	16
Figura 1.13. Electroválvula 2/2 vías NC.....	16
Figura 1.14. Electroválvula de 3/2 vías NC .....	16
Figura 1.15. Electroválvula 3/2 vías NO con accionamiento manual auxiliar.....	17
Figura 1.16. Ciclo de vida de una máquina eléctrica .....	18
Figura 2.1.1 Metodología para automatización de máquina dobladora .....	24
Figura 3.1. Máquina dobladora de barras de cobre.....	27
Figura 3.2. Esquema de partes de la dobladora hidráulica.....	28
Figura 3.3. Etapas de diseño de la automatización de la dobladora.....	29
Figura 3.4. Diagrama esquemático del sistema propuesto .....	30
Figura 3.5. Sistema mecánico de montaje del encoder .....	31
Figura 3.6. Diagrama de entradas/salidas del controlador electrónico PLC .....	33
Figura 3.7. Diagrama de fuerza.....	33
Figura 3.8. Diseño de pieza para fijar encoder.....	34
Figura 3.9. Diseño de pieza para acople y lectura para encoder. ....	35
Figura 3.10. Diagrama eléctrico del sistema.....	36
Figura 3.11. Dobladora con barra de cobre y pieza transmisora del ángulo de doblaje ..	37
Figura 3.12. Diseño sistema de acoplamiento encoder .....	37



Figura 3.13. Diagrama unifilar de distribución de la energía eléctrica.....	38
Figura 3.14. Conexión encoder a PLC .....	41
Figura 3.15. Costos de materiales usados en el proyecto.....	45
Figura 4.1.Subsistemamecánico de acople del encoder .....	48
Figura 4.2. Diseño de la disposición de los equipos en el tablero .....	49
Figura 4.3. Disposición de los equipos en el tablero .....	49
Figura 4.4. Cableado del tablero de control .....	50
Figura 4.5. Colocación de pantalla HMI, selector y paro de emergencia. ....	50
Figura 4.6. Colocación de tablero de control en pedestal telescópico .....	51
Figura 4.7. Algoritmo de control para doblado de barras .....	52
Figura 4.8. Diagrama UML de actividad del HMI .....	55
Figura 4.9. Pantalla de inicio .....	56
Figura 4.10. Modo automático.....	57
Figura 4.11. Modo manual .....	58

## RESUMEN

La implementación del sistema permite automatizar el proceso de doblado de barras de cobre de la empresa INASEL CIA. LTDA. Normalmente el operario procedía a realizar el doblado de forma manual, colocando la barra de cobre en la máquina, luego activaba la bomba hidráulica, y esta controlaba el recorrido del pistón hidráulico, obteniendo el ángulo de doblado esperado. Al terminar el proceso, se activa una electroválvula la cual permite el retorno del pistón hidráulico a su posición inicial, para poder retirar la barra de cobre de la máquina. Para iniciar nuevamente otro doblado, se realiza el mismo proceso con la siguiente barra de cobre. Este proceso la empresa incurría en la realización de producto de diferentes medidas, pérdida de tiempo, dinero y calidad por el uso inadecuado del material.

Para dar solución a todos estos inconvenientes, se ha implementado un sistema que permita controlar automáticamente el proceso, para el recorrido del pistón hidráulico, se diseñó un sistema de lectura de ángulo para la activación y desactivación del pedal de control de la bomba hidráulica, la cual iniciará el recorrido y retroceso a su posición inicial mediante una orden enviada desde la pantalla táctil. El ángulo de doblado es ingresado por el operario a través de una pantalla táctil de 6", puede ir desde 1° hasta 90°, que es el rango máximo de dobles permitido. Con este proceso logramos obtener productos de igual medida, forma, evitando desperdicio de material, su fácil uso permite realizar el doblado en menos tiempo.

**Palabras Claves:** Bomba Hidráulica, electroválvula, material, pistón.

## **ABSTRACT**

The implementation of the system allows to automate the process of bending of copper bars of the company INASEL CIA. LTDA. Normally the operator proceeded to do the bending manually, placing the copper bar in the machine, then activated the hydraulic pump, and this controlled the hydraulic piston travel, obtaining the expected bending angle. At the end of the process, a solenoid valve is activated, which allows the return of the hydraulic piston to its initial position, in order to remove the copper rod from the machine. To start another bending again, the same process is performed with the next copper bar. This process the company incurred in the realization of product of different measures, loss of time, money and quality due to the improper use of the material.

To solve all these problems, a system has been implemented that allows automatic control of the process, for the hydraulic piston stroke, an angle reading system was designed for the activation and deactivation of the control pedal of the hydraulic pump, the which will start the travel and return to its initial position by an order sent from the touch screen. The angle of bending is entered by the operator through a touch screen of 6", can go from 1° to 90°, which is the maximum range of angles allowed. With this process we obtain products of equal measure, shape, avoiding waste of material, its easy use allows to do the folding in less time.

**Keywords:** Hydraulic pump, solenoid valve, material, pistons.

# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes**

INASEL (INSTALACIÓN ASESORÍA Y SUMINISTROS ELÉCTRICOS) Cía. Ltda. Distribuidor Autorizado y Solution Partner SIEMENS es una empresa ecuatoriana dedicada a proveer soluciones de ingeniería especializadas en automatización y control. Además se encarga de realizar montajes y puesta en marcha de proyectos industriales con énfasis en la optimización de recursos y responsabilidad ambiental. La misión de INASEL Cía. Ltda., es suministrar materiales y quipos eléctricos de alta calidad, además diseña e implementa proyectos de automatización para el sector industrial a nivel nacional, satisfaciendo las necesidades de los clientes dentro de un estricto cumplimiento de las normas legales vigentes.

Si bien INASEL es una de las empresas con más prestigio a nivel nacional, el automatizar sistemas que puedan realizar procesos de doblaje de barras de cobre ha sido una innovación que se desea llevar a cabo, es por ello, que es indispensable tener en cuenta que en la actualidad las dobladoras de barras de cobre funcionan manualmente ejerciendo la fuerza suficiente desde una palanca que hace girar la barra con una forma deseada y previamente establecida con un determinado ángulo. El proceso puede durar un tiempo aproximado de 10 segundos, mismo que con la implementación del presente proyecto se desea mejorar y mejorar la productividad de la empresa en mención.

## **Planteamiento del problema**

En el departamento de ensamblaje de la empresa INASEL se desarrolla la construcción y ensamblaje de tableros eléctricos de distribución y control industrial como transferencias automáticas, bancos de condensadores para el control del factor de potencia, tableros de distribución principal, tableros de control de motores, entre otros. Por lo que para el ensamblaje de dichos tableros un elemento primordial son los juegos de barras de cobre para conexión y distribución de las cargas. Se utilizan barras de cobre de diferentes dimensiones dependiendo la capacidad y el diseño del tablero a ensamblarse. Además, los breakers y las barras de cobre se acoplan a un barraje principal, en este proceso el tablerista debe doblar la barra en diferentes ángulos para lograr un acople óptimo que mantenga la capacidad conductora del barraje.

Actualmente se dispone de una dobladora de barras hidráulica manual, el ángulo de doblaje se lo ajusta visualmente causando que el mismo no sea simétrico en cada barra, no se obtienen productos de igual medida los cuales se deben rectificar causando pérdidas de tiempo de producción, existen también pérdidas económicas por el desperdicio del material que no se puede volver a doblar, provocando disminución en la calidad del producto final. La empresa INASEL carece de una máquina dobladora de barras de cobre automatizada que permita obtener productos de igual forma, medida y tamaño en su doblado.

### **Formulación del problema**

¿Con La implementación de un sistema automatizado para el control del doblado de barras de cobre de la empresa INASEL Cía. Ltda. se logrará conseguir productos de igual forma, tamaño y medida en su doblado?

### **Justificación**

El presente proyecto introduce al país el uso de nueva tecnología en el proceso de control de doblado de barras de cobre en forma automatizada, aplicado en la empresa INASEL. La implementación del sistema automatizado para el proceso de control del doblado de barras de cobre en la empresa INASEL Cía. Ltda., permite obtener productos de igual forma, medida y tamaño, ganancia de tiempo en la realización del doblado, mayor cantidad de productos en menor tiempo, ahorro de material.

El equipo es de fácil uso, permite obtener productos de excelente calidad, dando como resultado la satisfacción del consumidor, y permitiéndole a la compañía INASEL posicionarse en el mercado al ofertar productos de calidad. Las limitantes de este proyecto es el espacio físico ya que esta máquina no dispone de una mesa de trabajo definida y en campo no se posee un espacio definido para la máquina.

### **Objetivos**

#### **Objetivo general**

Desarrollar el sistema automatizado para el control del doblado de barras de cobre.

## **Objetivos específicos**

- Establecer la tecnología a utilizar para el sistema de automatizado de doblado de barras de cobre.
- Definir los elementos que conforman el sistema automatizado para el control del doblado de barras de cobre.
- Programar el PLC´s S7-1200 SIEMENS mediante el uso del software TIA PORTAL STEP 7, para elaborar un sistema automatizado de doblado de barras de cobre.
- Realizar el diseño mecánico para el control automático de la máquina dobladora de barras.
- Diseñar el interfaz HMI en el panel táctil KTP600 con la finalidad de que el operador pueda ingresar el ángulo de doblaje deseado de una manera sencilla y amigable con el usuario.
- Direccionar las variables del HMI al sistema de control del S7-1200.
- Programar el PLC S7-1200 con las funciones adecuadas para el sistema automático de control del ángulo de doblado de barras que cumpla con los requerimientos del proyecto.
- Construir el sistema automatizado para el control de doblado de barras de cobre.
- Elaborar los planos, pruebas de funcionamiento del sistema y validación del sistema.

## **Alcance**

El presente proyecto de titulación iniciará con la recaudación de información en la cual la investigación de fuentes debidamente acreditadas será de suma importancia, una vez que se obtenga la información necesaria con respecto a temas de automatización y control con Controladores Lógicos Programables (PLC), el siguiente procedimiento es determinar el esquema general que se va a llevar a cabo para poder cumplir con el objetivo principal, en este se puede ya determinar que se utilizará un PLC de la marca SIEMENS modelo S7-1200, con su respectiva CPU, una pantalla HMI, una bomba hidráulica, un tablero de protección para la bomba, un encoder y la dobladora.

Entonces, conocidos los equipos a utilizarse mediante el esquema de diseño general se puede verificar que la bomba hidráulica, el encoder y la dobladora tendrán procesos que estarán

descritos en diagramas de flujo, para luego estos ser embebidos en el PLC mediante su interpretación de lenguaje de programación, luego de esta programación es importante mencionar que a la par se determinará la programación para la pantalla HMI mediante el *software Wincc*, en la cual se segmentara la pantalla principal para seleccionar si se desea que el doblaje se lo realice de forma manual o automática, las funciones de la pantalla estarán sujetas a las necesidades del cliente y por ello se diseñará flujogramas que permitan entender de mejor manera al sistema.

Una vez finalizado el proceso de programación que a su vez estará interactuando con el *hardware* apropiado se realizará las pruebas necesarias, en las cuales el tiempo de ejecución del programa y del dobles como tal serán las más importantes y con las cuales se puede definir la eficiencia, eficacia y rendimiento de nuestra implementación. Para así dar paso a las conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros.

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El presente capítulo resume los conceptos teóricos fundamentales para la automatización de la máquina dobladora de barras. Actualmente, el proceso de doblado de las barras de cobre es manual, dependiendo del usuario como medida del error del ángulo de deflexión. Al automatizar el proceso de doblaje, se podrá garantizar la repetitividad y la exactitud del doblado obteniendo un producto final que tenga unos ángulos de doblado iguales y una producción serializada, lo que beneficiará los procesos productivos de la empresa INASEL Cía. Ltda.

### 1. Introducción

La producción industrial requiere de obtener productos de calidad elaborados que minimicen el tiempo de elaboración de los mismos y maximicen la cantidad producida. Esta necesidad requiere de controladores automáticos que permiten alcanzar los objetivos de producción antes mencionados con el mínimo de intervención humana ya que a través de algoritmos de control y la medida de las variables involucradas en el proceso es automatizado (Bartelt, 2006; Kuo & Aranda Pérez, 1996).

De manera general y conceptual se da a conocer los dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos, como actuadores, sensores y sus diferentes tipos, autómata programable (PLC), su estructura, funcionamiento, ventajas, su utilización, aplicaciones, etc., utilizados para la realización de este proyecto.

#### 1.1.1. Automatización industrial

El concepto de automatización industrial en forma general hace referencia al uso de sistemas o elementos computarizados para controlar diferentes tipos de maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo o asistiendo a operadores humanos para la realización de dichos procesos.

#### 1.1.2. Sistemas de control automático

Un sistema de control automático es un conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera que regulen, dirijan su actuación por sí mismos y además corrijan posibles errores que se presenten en su funcionamiento (Castro, S. G., 1998).

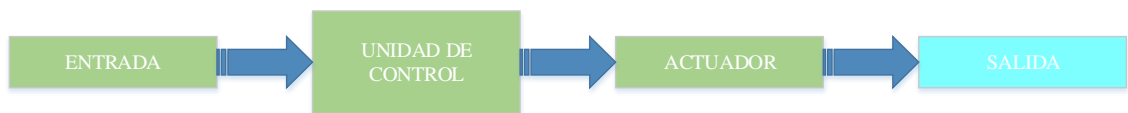


## 1.1. Clasificación de los sistemas de control

Los sistemas de control se clasifican en 2 categorías:

- Sistema de control de lazo abierto.

Es un sistema en el que la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. La exactitud de estos sistemas depende de su calibración, de tal manera que al calibrar se establece una relación entre la entrada y la salida con el propósito de obtener la exactitud deseada en el sistema. La Figura 1.1 muestra el diagrama de bloque de un sistema de control de lazo abierto (veleztecno, 2018).

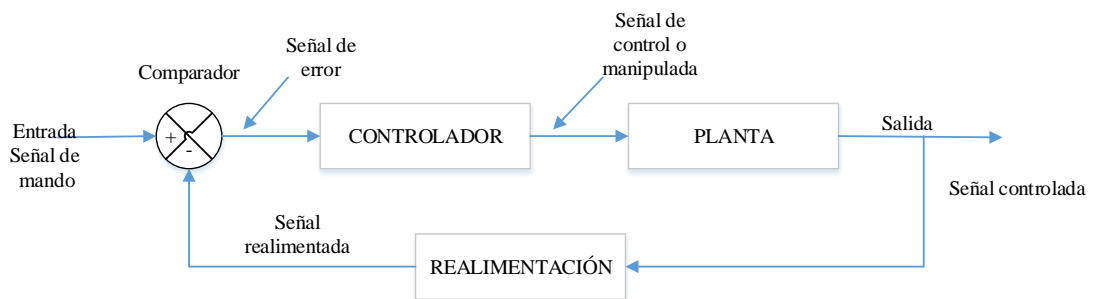


**Figura 1.1. Diagrama de bloque de un sistema de control en lazo abierto**

**Fuente: Elaboración propia**

- Sistema de control de lazo cerrado.

Es aquel sistema en el que la acción de control es dependiente de la salida. La señal de salida influye en la señal de entrada. Para esto la señal de entrada tiene que ser modificada en cada momento en función de la señal de salida. Esta modificación se consigue por medio de lo que se llama realimentación o retroalimentación. La realimentación es una propiedad del sistema en lazo cerrado por la cual la señal de salida se compara con la señal de entrada del sistema, de manera que la acción de control se establezca como una función de las dos señales. La Figura 1.2 muestra el diagrama de bloque de un sistema de control de lazo cerrado (veleztecno, 2018).



**Figura 1.2. Sistema de control en lazo cerrado.**

**Fuente: Elaboración propia**

La selección y diseño de una técnica de control adecuada para un problema de automatización, es un desafío para el ingeniero de control (Hung, n.d.). En el artículo presentado por Hung se detallan diversas técnicas de control clásicas y modernas que se citan a continuación.

- Control ON-OFF.
- Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID).
- Control Lead / Lag.
- Control Lineal Cuadrático.
- Control Lineal Cuadrático Gaussiano.
- Técnicas del Dominio de la Frecuencia.
- Control Dinámico.
- Control Difuso y por Red Neuronal Artificial.

## 1.2. Sensores

Son dispositivos con capacidad de medir de manera automática variables, como magnitudes físicas o químicas, estas pueden detectar presencia de objetos, niveles de agua, de temperatura, posicionamientos, etc. Estas señales son transformadas en señales eléctricas. La Figura 1.3 esquematiza este proceso (Wikipedia, 2015).

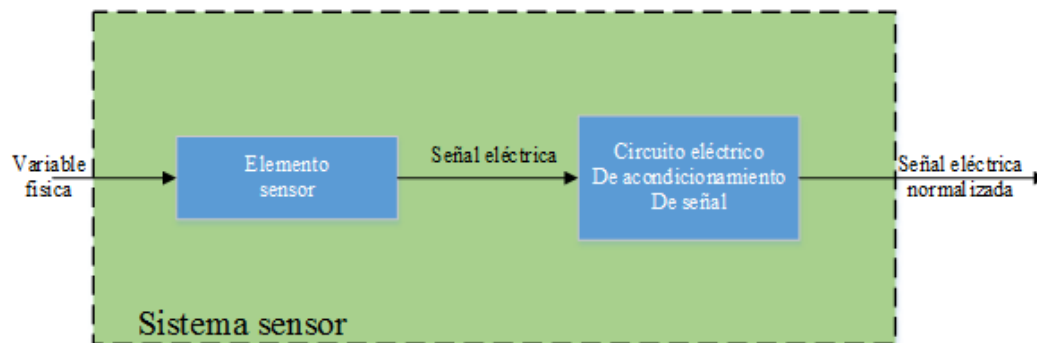


Figura 1.3. Componentes básicos de un sensor.

Fuente: Elaboración propia

### 1.2.1. Características de los sensores

A continuación se destacan las diferentes características técnicas de un sensor.

- Rango de medida.

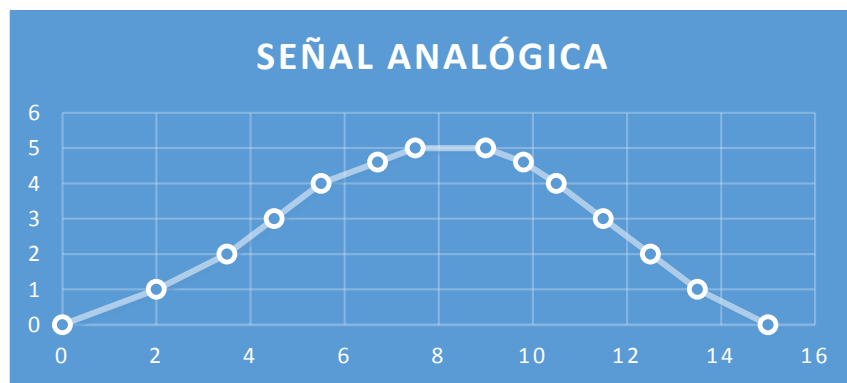
- Precisión.
- Offset o desviación de cero.
- Linealidad o correlación lineal.
- Sensibilidad de un sensor.
- Resolución.
- Rapidez de respuesta.
- Derivas.

### 1.2.2. Por su principio de funcionamiento

- **Activo.-** Estos sensores poseen fuente de energía propia, pueden operar en diferentes tipos de condiciones, como en la noche, penetrar nubes, etc. Un ejemplo de un sensor activo es el radar.
- **Pasivo.-** Son sensores que registran luz reflejada, emisión termal.

### 1.2.3. Por el tipo de señal eléctrica que generan

- **Analógicos.-** Es un dispositivo que varía su valor en la salida dependiendo de la intensidad de luz en el caso de una fotorresistencia, es decir, su valor puede ser 0 voltios o 5 voltios como su valor máximo. La Figura 1.4 presenta un ejemplo de señal analógica.



**Figura 1.4. Señal analógica**

**Fuente: Elaboración propia**

- **Digitales.-** Es un dispositivo que varía en la entrega de la señal de salida pero en pequeños pasos preestablecidos dentro de un rango determinado de valores. La Figura 1.5 representa el comportamiento de una señal digital en el tiempo. Un ejemplo de sensor digital es un *switch* o llaves, un *microswitch*, entre otros

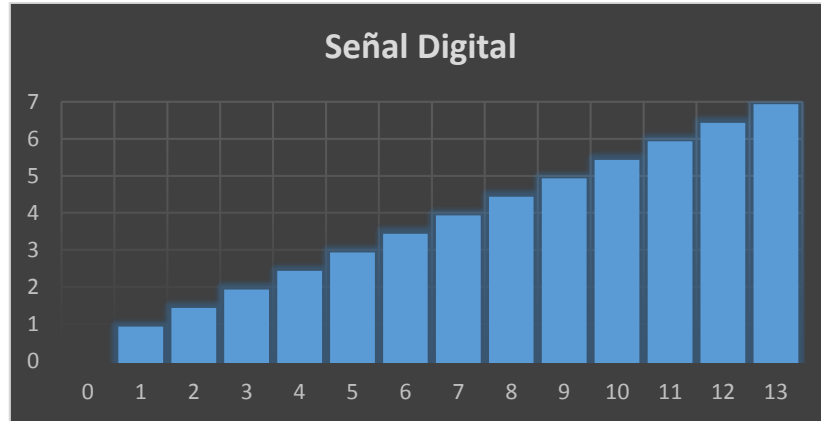


Figura 1.5. Ejemplo de señal digital

Fuente: Elaboración propia

#### 1.2.4. Según el tipo de magnitud física a detectar

Se clasifican según la magnitud física medida.

- **Sensores de posición lineal o angular.-** Son sensores utilizados en una aplicación para determinar la posición de un objeto tomando un punto como referencia. En el punto 1.4 se revisa el funcionamiento de los encoders.
- **Sensores de temperatura.-** Este tipo de sensores son utilizados en cualquier tipo de proceso en el que intervenga la temperatura, puede ser para indicación o control, un ejemplo de sensores de temperatura son las termocuplas y termoresistencias.
- **Sensores de presencia o proximidad.-** se clasifican en:
  1. **Sensores inductivos.-** Son sensores utilizados para detectar materiales de metales ferrosos, es decir, detectar la presencia de elementos metálicos dependiendo de su posicionamiento.
  2. **Sensores capacitivos.-** son sensores los cuales sirven para sensar elementos metálicos y no metálicos, estos sensores son empleados en aplicaciones que se requiere identificar objetos, funciones en las que se necesita de conteo, controles, entre otros.

3. **Sensores fotoeléctricos.-** Son dispositivos que se utilizan cuando existe el cambio de la intensidad luminosa, están diseñados para la detección, clasificación, posicionamiento, este tipo de sensor puede trabajar bajo condiciones extremas.
4. **Sensores de efecto *hall*.**- Son sensores utilizados para la medición de campos magnéticos o corrientes o en su caso determinación de la posición de objetos, basándose en el efecto hall.
5. **Sensor infrarrojo.-** Es un dispositivo con la capacidad de medir la radiación electromagnética infrarroja de un cuerpo.
6. **Sensores de caudal.-** Son dispositivos que están diseñados para realizar una actividad en una determinada circulación de flujo, como puede ser líquido o gas.
7. **Sensores de nivel.-** Los sensores de nivel son dispositivos utilizados para la indicación y continuo monitoreo de todo tipo de líquidos, el sensor está compuesto por un tubo de medición en el cual el flotador que está equipado con un imán, activa los contactos que están montados en el tubo. Este tipo de sensores se los puede aplicar en:
  - Plantas de aguas servidas.
  - Plantas de clarificación.
  - Tanques de alimentación.
  - Tanques de medición.
  - Tanques de agua potable.
  - Ríos.
  - Canales.
  - Reservorios.

A continuación se estudia las características y aplicaciones del Controlador Lógico Programable (PLC, por sus siglas en inglés), el cual es utilizado para la regulación de procesos automáticos.

### **1.3. Autómata programable industrial (PLC)**

Es un dispositivo electrónico, diseñado para controlar procesos industriales en tiempo real (Aragones, 1993).

### **1.3.1. Campos de aplicación**

Por sus características de diseño su utilización es fundamental en aplicaciones donde es necesario realizar maniobras, control, etc., su tamaño, la facilidad de montaje, la facilidad de almacenamiento de programas y modificación de los mismos, son características esenciales por lo que se utilizan en procesos en los cuales se dispone de un espacio reducido, en procesos de producción cambiantes, procesos industriales consecutivos, máquinas que realizan varios procesos, aplicaciones en procesos complejos, maniobra de diferente tipo de maquinaria, chequeo de procesos, etc.

### **1.3.2. Ventajas**

Para demostrar algunas de las ventajas que el uso de los PLC, es necesario determinar características que emplean su valor positivo al sistema de control. (Automatización Industrial mediante PLC, 2009)

- Control más preciso.
- Mayor rapidez de respuesta.
- Flexibilidad Control de procesos complejos.
- Facilidad de programación.
- Seguridad en el proceso.
- Empleo de poco espacio.
- Fácil instalación.
- Menos consumo de energía.
- Mejor monitoreo del funcionamiento.
- Menor mantenimiento.
- Detección rápida de averías y tiempos muertos.
- Menor tiempo en la elaboración de proyectos.
- Posibilidad de añadir modificaciones sin elevar costos.
- Menor costo de instalación, operación y mantenimiento.
- Posibilidad de gobernar varios actuadores con el mismo autómatas.

### 1.3.3. Funciones básicas de un PLC

La tecnología programable industrial (API), es programable en lenguaje no informático y dentro de este sistema se encuentran algunas funciones básicas(Vasco, 2001).

- **Detección.-** Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.
- **Mando.-** Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.
- **Diálogo hombre máquina.-** Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.
- **Programación.-** Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómeta. El diálogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómeta controlando la máquina.

### 1.3.4. Estructura interna de un PLC

Un autómeta está conformado por elementos como se puede ver en la Figura 1.6:

- **CPU**

Es una parte del sistema, la cual interpreta las instrucciones del programa y a su vez consulta en qué estado se encuentran las entradas para activar las salidas.

El CPU cumple diferentes tipos de funciones como las siguientes:

- Vigila el tiempo de ejecución del programa, esta función se denomina *watchdog*.
- Realiza la ejecución del programa.
- Chequea el estado del sistema.

- **Entradas**

Adaptan y codifican señales de dispositivos de entrada o captadores para la CPU. Existen 2 tipos de entradas:

**Entradas digitales.-** Las cuales permiten conectar al PLC captadores como finales de carrera, pulsadores etc., este tipo de entradas trabajan con señales de tensión.

**Entradas analógicas.-** Permiten que el PLC trabaje con acondicionadores analógicos, convierten una señal analógica en un número que se deposita en una variable interna del autómeta.

- **Salidas**

Trabajan de manera inversa a las entradas, decodifica las señales que van desde el CPU.

- **Salidas digitales.-** Permiten actuar sobre preaccionadores y accionadores.
- **Salidas analógicas.-** Estas permiten que el valor de una variable en forma numérica del interior del PLC se convierta en tensión o en intensidad, se realiza con precisión y cada cierto intervalo de tiempo.

- **Fuente de alimentación**

Es aquella que brinda tensiones necesarias para el correcto funcionamiento del sistema. La alimentación del CPU puede ser continua a 24 Vcc y alterna a 110/220 Vca. La alimentación a los circuitos puede realizarse en alterna a 48/110/220 Vca y en continua a 12/24/48 Vcc.

La fuente de alimentación del autómatas puede tener una batería para evitar daños o pérdidas del programa cuando este se apague o falle la fuente de alimentación.

### 1.3.5. Unidad de programación

Es el conjunto de software y hardware por los cuales el programador realiza e introduce las instrucciones que constituyen el programa.

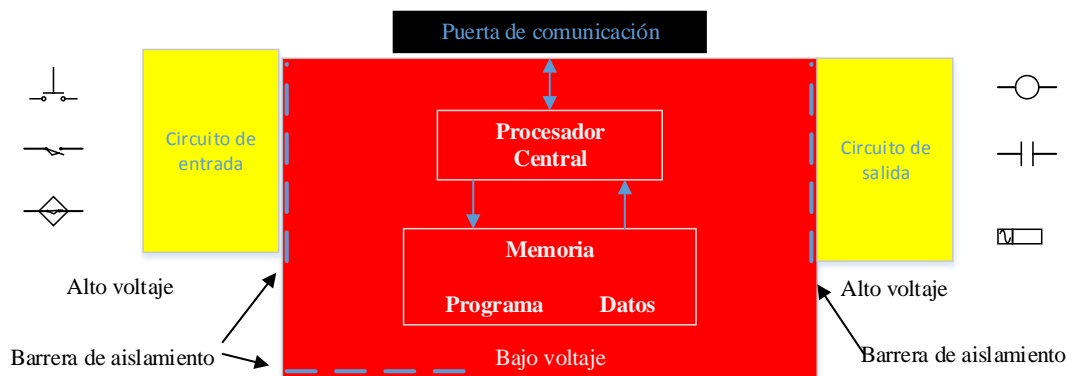


Figura 1.6. Estructura interna de un PLC

Fuente: Elaboración propia



## **1.4. Encoders**

Son dispositivos electrónicos que generan señales digitales en respuesta al movimiento.

Los encoders se clasifican en dos tipos:

- Encoder Incremental.
- Encoder Absoluto.

### **1.4.1. Encoder incremental**

Todo movimiento rotatorio conectado a un encoder es procesado en él, y a su vez este transforma la señal recibida en una señal eléctrica (mcbtec, 2008).

El movimiento angular se registra mediante un disco de impulsos, el cual tiene en su interior un específico número de incrementos por cada revolución generada. Por ejemplo se produce una secuencia de 400 pulsos de salida cuando un encoder de 400 pulsos de resolución genera una revolución.

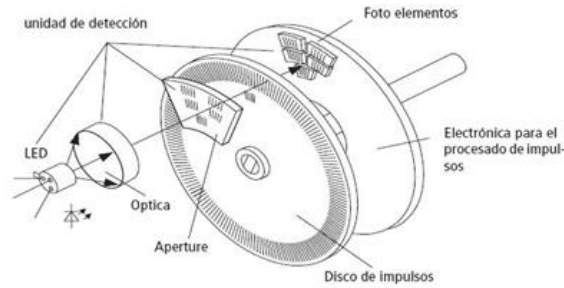
Para evaluar la dirección del giro se dispone de una señal desfasada 90° para el sistema de control.

### **Aplicaciones**

Los encoders incrementales son muy conocidos por su sencilla construcción y gran robustez, que permiten obtener resultados confiables. La Figura 1.7 muestra las partes constitutivas de un encoder incremental.

Debido a la alta exactitud en sus mediciones, los encoders incrementales permiten diseñar soluciones económicas de automatización en aplicaciones como:

- Manipuladores.
- Instalaciones de producción flexible.
- Máquinas de procesamiento de madera.
- Embalaje.
- Alineación.



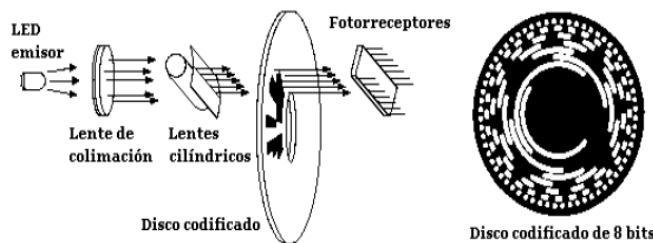
**Figura 1.7. Estructura de un encoder incremental**

**Fuente: (mcbtec, 2008)**

### 1.4.2. Encoder absoluto

Este tipo de codificador convierte la posición angular en un número codificado digitalmente, puede ser binario, BCD o gray, en caso que ocurra una falla en la fuente de alimentación, la información se guarda sobre la posición que se encuentra, para cuando se reanude el suministro la lectura no se altere y siga el proceso normalmente.

Las partes constitutivas de un encoder absoluto se indican en la Figura 1.8. Se puede observar que el disco está formado de bandas en forma de coronas circulares, de tal forma que según su posición, la luz emitida por cada uno de los emisores se enfrentará a un sector opaco, en el cual la luz se refleja y el receptor recibe la señal o a un sector transparente en el que la luz no se refleja y el receptor no recibe la señal.



**Figura 1.8. Estructura de un encoder absoluto**

**Fuente: (mcbtec, 2008)**

## 1.5. Automatización hidráulica

La automatización hidráulica es el proceso que se realiza usando como principal elemento fluidos hidráulico.

### 1.5.1. Conceptos básicos de mecánica de fluidos

A continuación, se describen los siguientes conceptos fundamentales de mecánica de fluidos:

**Presión.-** La presión que ejerce un fluido sobre una superficie y viceversa es el cociente entre la fuerza y la superficie que recibe la acción.

$$P=F/S$$

Donde:

P: Presión

F: Fuerza

S: Superficie que recibe la acción

**Presión atmosférica.-** Es igual al peso por unidad de superficie de la columna de aire comprimida entre esta superficie y la última capa de la atmósfera. El valor normal en la primera aproximación de la presión atmosférica se la puede tomar como 1 bar.

Presión absoluta y relativa.- Resulta del cociente de toda la fuerza ejercida sobre los elementos de la superficie por el valor de la superficie.

Debido a que todos los cuerpos están sometidos a la presión atmosférica, conviene referirse a la presión relativa, que es la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica.

Para poder comprender la aplicación de la presión relativa se debe fijar en el siguiente hecho:

- En la Figura 1.9 se muestra el cálculo de la fuerza de avance de un cilindro. Se debe restar al producto  $P_{abs} \times S$  el producto  $P_{atm} \times S$  que representa la fuerza que le opone la presión atmosférica.

$$F = P_{abs} \times S - P_{atm} \times S = (P_{abs} - P_{atm}) \times S = P_t \times S$$

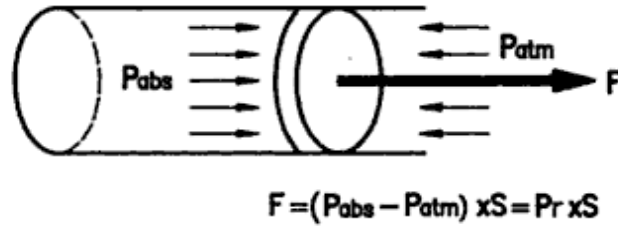


Figura 1.9. Cálculo del avance de un cilindro

Fuente: (Danfoss, 2015)

### 1.5.2. Elementos hidráulicos

- **Actuadores hidráulicos**

Son los más antiguos, pueden clasificarse según la manera de operación, funcionan en base a fluidos a presión. Existen tres grandes grupos:

- **Cilindro hidráulico.-** Según su función se clasifica en cilindros de simple efecto como el que se muestra en la Figura 1.10; en los cuales se utiliza una fuerza hidráulica para empujar y una fuerza externa para que vuelva a su posición inicial, y los cilindros de acción doble como el de la Figura 1.11Figura 1.7, donde se utiliza de igual manera una fuerza hidráulica, tanto para empujar como para contraer.

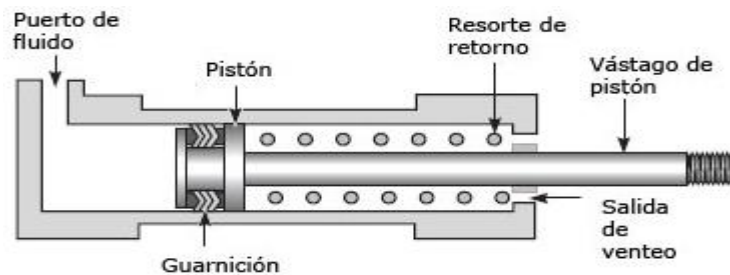
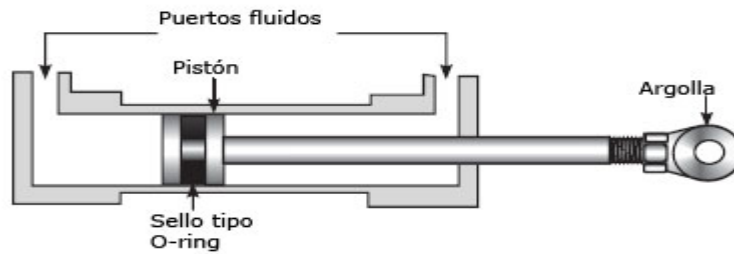


Figura 1.10. Cilindro actuador a pistón de accionamiento simple a resorte

Fuente: (Danfoss, 2015)



**Figura 1.11. Cilindro tipo pistón de doble actuador desequilibrado o doble vástago**

**Fuente: (Danfoss, 2015)**

**Motor hidráulico.**- En este tipo de motores el movimiento es generado por la presión, son empleados porque entregan un par de torsión muy alto a una velocidad de giro muy pequeña en comparación con los tipos de motores eléctricos. Se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- Motor de engranaje.
- Tipo rotatorio motor de veleta.
- Motor de hélice.
- Motor hidráulico, motor de leva excéntrica.
- Pistón axial.
- Tipo oscilante motor con eje inclinado.

**Motor hidráulico de oscilación.**- Su función es absorber cierta cantidad de fluido a presión y devolverlo al sistema en el momento que éste lo necesite.

- **Actuadores eléctricos**

Son dispositivos cuya principal función es proporcionar una fuerza para mover otro dispositivo mecánico, la fuerza que provoca este tipo de actuadores puede ser por medio de presión neumática, presión hidráulica y por fuerza motriz. Dependiendo de la fuerza proporcionada por el actuador, este puede ser eléctrico, neumático o hidráulico.

Las ventajas de usar un actuador eléctrico en comparación con otro tipo de actuador, es su fácil utilización, es ideal cuando se requiere generar una fuerza rápidamente y se logra un posicionamiento con gran precisión.

Este tipo de actuadores son muy utilizados en procesos industriales, generación de movimientos para diferentes tipos de aplicaciones en líneas de producción, entre otros. A continuación se mencionan también otro tipo de actuadores:

**Motores de pasos.-** Son dispositivos electromecánicos que convierten los impulsos eléctricos en desplazamientos angulares. Este tipo de motores avanzan cierta serie de grados dependiendo de las entradas de control.

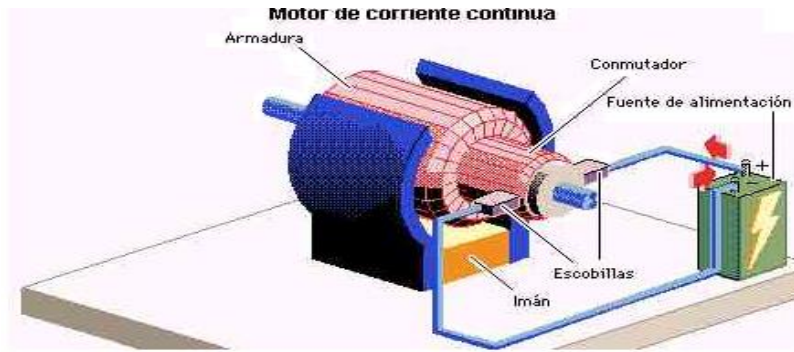
**Motores de corriente alterna.-** Son motores que funcionan con corriente alterna, convierte la energía eléctrica en fuerzas de giro. Se clasifican en dos tipos:

**Motores síncronos.-** El cual se lo puede definir como un alternador trifásico que funciona normalmente a la inversa, una de las características de un motor síncrono es que la velocidad del campo magnético del estator es igual a la velocidad de giro del motor.

El funcionamiento de este tipo de motor se basa en los imanes de campo, los cuales se montan sobre un rotor y se produce una excitación mediante corriente continua, las bobinas de la armadura están divididas en tres partes y la alimentación es dada mediante corriente alterna trifásica. La variación de las tres ondas de corriente en la armadura provoca una reacción magnética variable con los polos de los imanes del campo y provoca que el motor gire a una velocidad constante, esta velocidad es ventajosa en algunos aparatos, estos motores no pueden ser utilizados en aplicaciones industriales en la que la carga mecánica sobre el motor llega a ser muy grande.

**Motor de inducción de caja de ardilla.-** Es usado mediante alimentación trifásica, es el más simple de los motores eléctricos, su armadura consiste en tres bobinas fijas, el elemento rotatorio consta de un núcleo en el que van una serie de conductores de gran capacidad.

**Motores de corriente continua.-** Es una de las máquinas más versátiles para aplicaciones en la industria, de fácil control de posición, paro y velocidad, una de las características principales de este motor es la posibilidad de regular su velocidad desde vacío a plena carga. El esquema constructivo de un motor de corriente continua se muestra en Figura 1.12. El motor está compuesto principalmente de un estator el cual da un soporte mecánico al aparato, con un hueco en el centro de forma cilíndrica, el estator está compuesto por imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre el núcleo de hierro, el rotor tiene forma cilíndrica, devanado y núcleo al que llega la corriente por medio de dos escobillas.



**Figura 1.12. Estructura básica de un motor de corriente continua**

**Fuente: (Juan Luis Hernández, 2018)**

### 1.5.3. Electroválvulas

Son utilizadas para controlar automáticamente el caudal de un fluido, es decir, liberan, bloquean o desvían el paso de un fluido en función del cierre o apertura del circuito eléctrico, están controladas a través de una bobina.

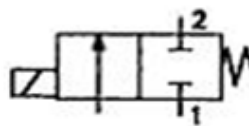
Una de las principales características de las electroválvulas es la tensión a la que trabaja la bobina, existen electroválvulas que trabajan con bobina a 220, 24 y 12 voltios tanto en corriente alterna como en corriente continua.

#### Funciones

Se pueden dividir tomando en consideración lo siguiente:

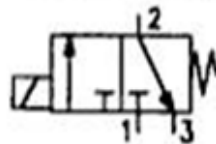
Su forma de accionamiento o sistema de mando.

Como ejemplo de este tipo de electroválvula tenemos una de 2/2 vías normalmente cerrada, lo que se indica en la Figura 1.13.



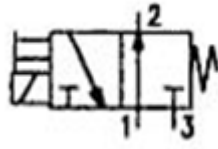
**Figura 1.13. Electroválvula 2/2 vías NC**

**Fuente: (Danfoss, 2015)**



**Figura 1.14. Electroválvula de 3/2 vías NC**

**Fuente: (Danfoss, 2015)**



**Figura 1.15. Electroválvula 3/2 vías NO con accionamiento manual auxiliar**

**Fuente: (Danfoss, 2015)**

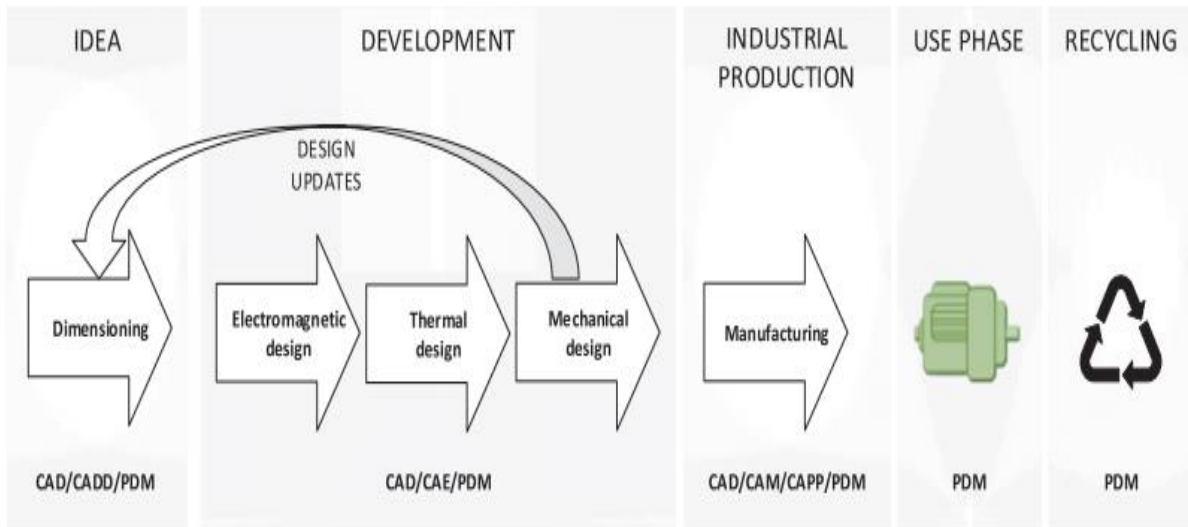
### **Aplicación**

- Cierre de la conducción de agua cuando se detecta una inundación.
- Cierre de la conducción de gas cuando se detecta un escape.
- Apertura o cierre de un sistema de riego automático de forma programada.

### **1.6. Diseño y ciclo de vida de una máquina eléctrica**

En la Figura 1.16 se muestra el ciclo de vida de una máquina eléctrica como se muestra en la publicación “*A review of electrical machine design processes from the standpoint of software selection*”(Daukaev, Rassolkin, Kallaste, Vaimann, & Belahcen, 2017). Este ciclo empieza con la idea de diseño que son los requerimientos del cliente final. Aplicado al caso presentado, se trata de doblar la barra de cobre un ángulo determinado con la suficiente precisión y de manera automática sin necesidad de correcciones del operario. La segunda etapa es la del desarrollo del diseño que tienen que ver con la integración de los componentes eléctricos, térmicos y mecánicos. Esta segunda etapa se retroalimenta con la primera hasta obtener los resultados más adecuados para las especificaciones del cliente. Una vez integrados los diferentes sistemas de la máquina, se pasa a la etapa de producción o manufactura. Las dos fases finales son las de utilización, y la de reciclaje.





**Figura 1.16. Ciclo de vida de una máquina eléctrica**

Fuente: (Daukaev et al., 2017)

## 1.7. PLC Siemens Simatic S7-1200 AC/DC/relé CPU 1212C

El controlador S7-1200 es modular, compacto y de aplicación versátil, ideal para una amplia gama de aplicaciones. Su configuración se realiza con el *software* Simatic Step Basic S7-1200 en un ambiente agradable y fácil de usar. La CPU Simatic S7-1200 puede ampliarse hasta con 3 módulos, posee funciones tecnológicas integradas como: Entradas de alta velocidad; tiene 3 entradas de 100 KHz y 3 entradas de 30 KHz para funciones de conteo y medición. Salidas de alta velocidad; de 100 KHz Posee una interfaz profinet integrada que garantiza una comunicación perfecta, formada por una conexión RJ45.

### 1.7.1. Características técnicas del PLC

En la Tabla 1.1 se puede observar algunas de las características más importantes que posee este controlador.

**Tabla 1.1.**

**Características técnicas del PLC S7-1200 CPU 1212C.**

Descripción	Característica
Tensión de alimentación	85 - 264 V AC
Tensión de entrada	24 V DC
Tensión de salida	5 - 30 VDC
	5 - 250 V AC
Intensidad de salida	2 A; 30 W DC / 200 W AC
Memoria	25 Kbytes
Entradas digitales	8
Entradas analógicas	2
Salidas digitales	6
Número de módulos máx.	3
Tipo de interfaz	Profinet
Interfaz física	Ethernet
Número de contadores rápidos	4
Rango de temperatura admisible	0°C - 55°C
Ancho	90 mm
Alto	100 mm
Fondo	75 mm
Peso aproximado	425 gr

**Fuente:** (SIEMENS, 2009)

Se puede observar las especificaciones técnicas de este controlador en el Anexo 1.

### **1.7.2. Panel básico simatic HMI KTP 600**

El panel básico es utilizado desde hace muchos años para numerosas aplicaciones, especialmente para aplicaciones de HMI sencillas. Las principales características de este tipo de panel son:

- Es ideal para tareas de visualización de pequeño alcance.
- La pantalla posee funciones táctiles para su manejo.

- Teclas de libre configuración táctil.
- Se la puede configurar en el sistema de ingeniería Simatic Step Basic 7.

### **Características técnicas del panel básico**

En la Tabla 1.2 se puede observar algunas de las características más importantes que posee este panel.

**Tabla 1.2.**

**Características técnicas del panel básico Simatic HMI KTP 600**

Descripción	Característica
Pantalla	6", táctil, cristal líquido
Resolución en pixeles	320 x 240
Dimensión frontal	214 x 158 mm
Elementos de mando	Pantalla táctil y 6 teclas
Memoria de usuario	1 Mbyte
Interfaz	Profinet (ethernet)
Software de Ingeniería	Win CC Basic

**Fuente:** (Siemens, 2015)

## **1.8. Encoder rotativo HE50B**

El encoder es un dispositivo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales.

Las aplicaciones principales de este tipo de dispositivo es en:

- Máquinas herramienta.
- Elaboración de materiales.
- Sistemas de motores.
- Aparatos de medición y control.

### **1.8.1. Características técnicas del encoder incremental**

En la Tabla 1.3 se puede observar algunas de las características más importantes que posee este encoder.

**Tabla 1.3.**

**Características técnicas del encoder rotativo HE50B.**

Descripción	Característica
Modelo	HE50B
Voltaje	12 - 24 V DC
Medio de conexión	Cable
Revolución máxima	5000 RPM
Temperatura de operación	10-°C / 60°C
Tipo de protección	IP 50
Peso aproximado	200 gr

**Fuente:** (Electricas BC, 2010)

Se puede observar las especificaciones técnicas de este encoder en el Anexo 3.

### **1.9. Válvula solenoide chelic 220 VAC 6102**

Es una válvula diseñada para controlar el paso de algún tipo de flujo por medio de un conducto, en este caso manguera de aceite, posee dos partes fundamentales que son: la válvula y el solenoide, es controlada por corriente eléctrica por medio de una bobina.

Las válvulas se pueden clasificar de acuerdo a su aplicación, construcción y forma.

Clasificación por su aplicación:

- De acción directa.
- Operadas por piloto.

Clasificación por su construcción:

- Normalmente cerradas.
- Normalmente abiertas.
- De acción múltiple.

#### **Características técnicas de la válvula solenoide.**

En la Tabla 1.4 se puede observar algunas de las características más importantes que posee esta válvula solenoide.

**Tabla 1.4.****Características técnicas de la válvula solenoide MFB1-5.5yc 220 VAC.**

Descripción	Característica
Nombre del producto	AC Válvula De Solenoide Húmeda
modelo No.	MFB1-5.5YC
Tensión nominal	AC 220 V
Succión nominal	5.5Kg (55N)
Carrera nominal	4mm
Tamaño de la placa	55x55mm/2.2 " x 2.2 " (L * W)
Diámetro de Orificio de montaje	5.5mm/0.22 "
Longitud Del cable	115mm/4.5 "
Tamaño total (Aprox.)	96x55x97mm/3.8 " x 2.2 " x 3.8 " (L * W * H)
Material	De Hierro fundido

**Fuente:** (AliExpress, 2014)

## CAPÍTULO II

### MARCO METODOLÓGICO

#### 2. Introducción

La automatización de una máquina es un proceso que puede llegar a ser muy complejo en función de las variables involucradas y las especificaciones propuestas por el cliente. En el caso particular de esta tesis se busca automatizar la máquina de doblado de barras de cobre que utiliza la empresa INASEL para la elaboración de tableros eléctricos.

Al no disponer de un dispositivo de medición del doblado de la barra, el producto final depende enteramente de la habilidad y experiencia del operador. Esto implica equivocaciones de origen humano y por tanto acciones correctivas que consumen tiempo y a su vez afectan la calidad del producto (de la barra en sí misma).

La metodología por su parte se define como el conjunto de procedimientos racionales que permiten alcanzar un objetivo (Wikipedia, 2018c). Al ser un conjunto de procedimientos, una característica fundamental de la metodología es la posibilidad de repetir los resultados experimentales documentados. De aquí que será importante para alcanzar el objetivo general propuesto en esta tesis formular una serie de procedimientos que permitan dividir el problema en etapas.

#### 2.1. Metodología

Para automatizar la máquina dobladora de barras de cobre se propone realizar la secuencia de pasos indicada en la Figura 2.1.2.1. Se plantean 5 etapas que son: etapa de revisión, etapa de modelamiento u abstracción, etapa de diseño, etapa de implementación y finalmente etapa de evaluación. Las etapas mencionadas guardan relación con el ciclo de vida de una máquina eléctrica revisado en el Capítulo 1. Sin embargo, aquí se propone una metodología que permita derivar los pasos de diseño de la automatización. Como punto de partida metodológico es esencial plantear una relación entre variables dependientes e independientes a través de una hipótesis de trabajo.

### 2.1.1. Etapa de revisión

Esta etapa consiste en la revisión de las características de la máquina. Por tanto se realizan preguntas relacionadas sobre sus partes constitutivas fundamentales, su modo de operación, etc. De lo que conocemos de la máquina original de INASEL, podemos decir que está conformada por partes mecánicas y eléctricas. Las partes mecánicas tienen relación con el sistema hidráulico que es el que permite hacer el trabajo de doblar la barra de cobre. Este sistema como se analizará más adelante está conformado por una bomba hidráulica que es el corazón de la parte mecánica. A su vez la bomba hidráulica depende de un motor monofásico por lo que la máquina también dispone de un sistema eléctrico que es el pedal que cierra una serie de contactos eléctricos encendiendo el motor.

### 2.1.2. Etapa de modelación del sistema de control

En una inspección de la máquina y por las características del problema sabemos que la misma no dispone de ningún medio para asegurar que el ángulo doblado es el deseado. De la revisión de literatura realizada en el Capítulo 1 sabemos que los sistemas de control pueden ser de lazo abierto, cuando no existe ningún sensor o de lazo cerrado, cuando existe una retroalimentación.

En esta etapa se definirá un mecanismo u aparato que sea capaz de devolver una medición adecuada del ángulo en que se dobla la barra de cobre.

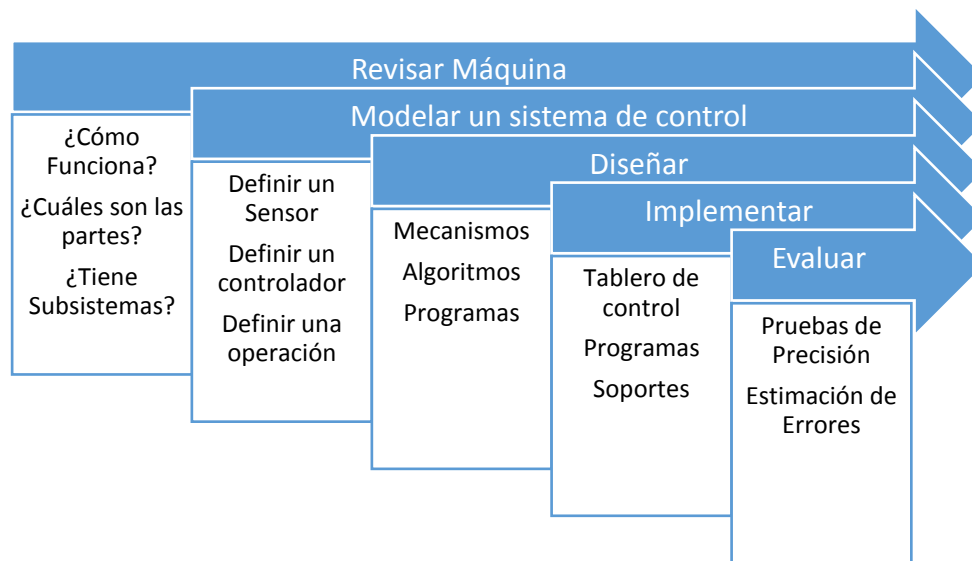


Figura 2.1.2.1 Metodología para automatización de máquina dobladora

Fuente: Elaboración propia

### **2.1.3. Etapa de diseño**

La anterior etapa indica la necesidad de crear un lazo de control cerrado. Esto obliga a hacer cambios mecánicos, eléctricos y electrónicos en la máquina en función de la naturaleza de los equipos involucrados en la misma. Se habla de cambios electrónicos, porque se conoce que los PLCs y otros tipos de controladores de esta naturaleza han sido utilizados en proyectos similares de automatización con resultados adecuados.

En esta etapa se proponen los cambios a los que se someterá la máquina para poder alcanzar el objetivo principal. Es decir, las piezas mecánicas que sean necesarias serán diseñadas, los planos eléctricos serán esquematizados y la algoritmia de control puede ser propuesta.

Para sustentar los diseños que se propongan a la máquina se realizará una revisión de literatura científica en la que se disponga de propuestas o modelos en los que se pueda basar el diseño de la automatización de la máquina. Uno de los repositorios más utilizados es la IEEE.

### **2.1.4. Etapa de implementación**

Con los cambios propuestos en la anterior etapa se pasa a la elaboración de piezas mecánicas, el montaje de equipos en el tablero de control así como su cableado. La programación del PLC y el diseño de las interfaces para el usuario.

La programación del PLC por su parte requiere la familiarización con el entorno de desarrollo del equipo que se utilice como controlador. Uno de los criterios de diseño puede ser que el IDE permita integrar de manera fácil tanto la interfaz humano - máquina como el desarrollo del programa de control.

### **2.1.5. Etapa de evaluación**

Una vez que el sistema quede elaborado, este se someterá a pruebas que evalúan la exactitud con la que una barra de cobre es doblada. En este caso se deberá considerar ecuaciones de la estadística como el error cuadrático medio u otras similares para evaluar el grado de precisión de la ejecución de la máquina automatizada.



### **2.1.6. Formulación de hipótesis e identificación de variables dependientes e independientes**

En el planteamiento del problema se pregunta si la automatización de una máquina hidráulica dobladora de barras permitirá conseguir el doblado de barras de manera replicable. Dado que la empresa ha venido desarrollando la tarea del doblado de barras de manera manual, se propone estudiar y validar el uso de un control electrónico que mida el desplazamiento angular de la barra y por medio de esta señal se actúa sobre el pistón para doblar la barra al ángulo deseado. Por tanto, la hipótesis planteada es: el algoritmo de control on-off es capaz de doblar la barra de cobre al ángulo deseado y de manera replicable.

Las variables dependientes e independientes que presenta la hipótesis son: el ángulo en el que se dobla la barra (independiente) y el encendido o apagado del contactor que opera la bomba hidráulica que actúa sobre el pistón (dependiente).

## CAPÍTULO III

### PROPUESTA

#### 3. Introducción

Este capítulo hace referencia a la propuesta de diseño de un sistema automatizado para el proceso de doblado de barras de cobre de la empresa INASEL Cía. Ltda. Primero se realiza un análisis de la máquina dobladora original sus partes y su funcionamiento. Luego se hace una propuesta de automatización que permita mejorar la operación de la máquina en función de la formulación del problema. El siguiente paso será la modelación, selección y dimensionamiento de los equipos tecnológicos necesarios para automatizar la dobladora de barras. Finalmente se diseña los algoritmos de control que rijan el proceso de doblado de barras.

#### 3.1. Diagnóstico y evaluación de la dobladora de barras de cobre

La máquina dobladora de barras de cobre fue adquirida por la empresa INASEL aproximadamente en el año 2003, siendo una de las dobladoras actuales de ese entonces. La máquina se encuentra en operativa, contando con sus piezas y partes móviles completas y originales como se muestra Figura 3.1.



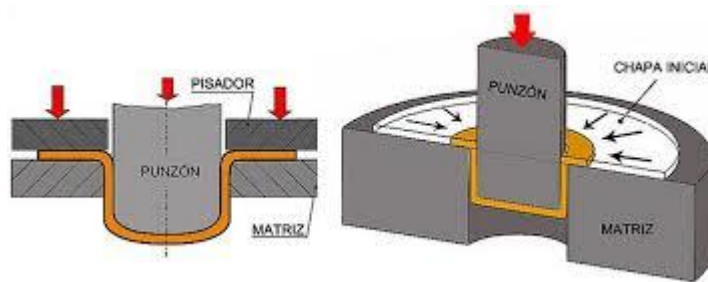
Figura 3.1. Máquina dobladora de barras de cobre.

Fuente: Elaboración propia

La revisión de la máquina dobladora muestra que esta está conforma por:

- Bomba Hidráulica
- Un pistón hidráulico que dobla la barra de cobre
- Un pedal de 3 posiciones con las acciones: bajar pistón, detener pistón y regresar pistón.

La operación original de la máquina dobladora consiste en colocar la barra de cobre sobre la matriz. En la Figura 3.2 se puede observar una representación esquemática de la dobladora y las partes matriz y punzón o pistón. Se presiona el pedal y este activa la bomba hidráulica que presuriza el sistema haciendo que el pistón descienda sobre la barra y la empiece a doblar. El operario visualmente por experiencia opera el pedal hasta alcanzar el ángulo deseado aproximadamente. Para esto se presiona el pedal alternativamente entre las posiciones de bajar pistón y soltar. Una vez alcanzado el ángulo, se presiona el pedal en la opción de regresar pistón.



**Figura 3.2. Esquema de partes de la dobladora hidráulica**

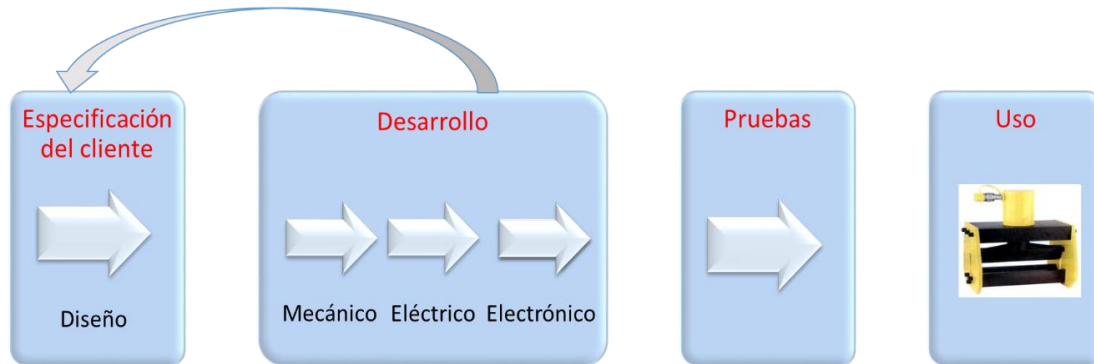
**Fuente: (Wikipedia, 2018a)**

Dado que el proceso de doblado manual depende enteramente de la experiencia del operario, los usuarios manifiestan errores por rebase del ángulo deseado que obligan a sacar la barra, desdoblarla manualmente y volverla a doblar con la máquina hidráulica.

### **3.2. Propuesta de automatización de máquina dobladora**

El funcionamiento original de la máquina dobladora acarrea problemas en la precisión del doblado y demanda tiempo y esfuerzo adicional por parte del trabajador para realizar la tarea de doblado de barras de cobre.

El objetivo principal es rediseñar la máquina de tal manera que se puedan producir barras con el mismo ángulo de doblado y con una precisión que no dependa del operador. Para alcanzar el objetivo principal se utiliza el esquema indicado en la Figura 3.3 como metodología. Los pasos indicados en la Figura 3.3 permiten enfocar los esfuerzos de diseño para solventar el problema de automatización.



**Figura 3.3. Etapas de diseño de la automatización de la dobladora**

**Fuente: Elaboración propia**

### **3.2.1. Especificaciones y requerimientos generales**

El requisito principal es la producción serializada de barras de cobre dobladas. Esto implica que la máquina debe estar en la facultad de producir barras de idéntico ángulo de doblado. Para esto es fundamental realizar la medición del ángulo de doblado de la barra por medio de un sensor. Dado que el doblado de la barra es un desplazamiento angular, éste se puede medir a través de un encoder que devuelve un valor digital proporcional al ángulo de giro de su eje.

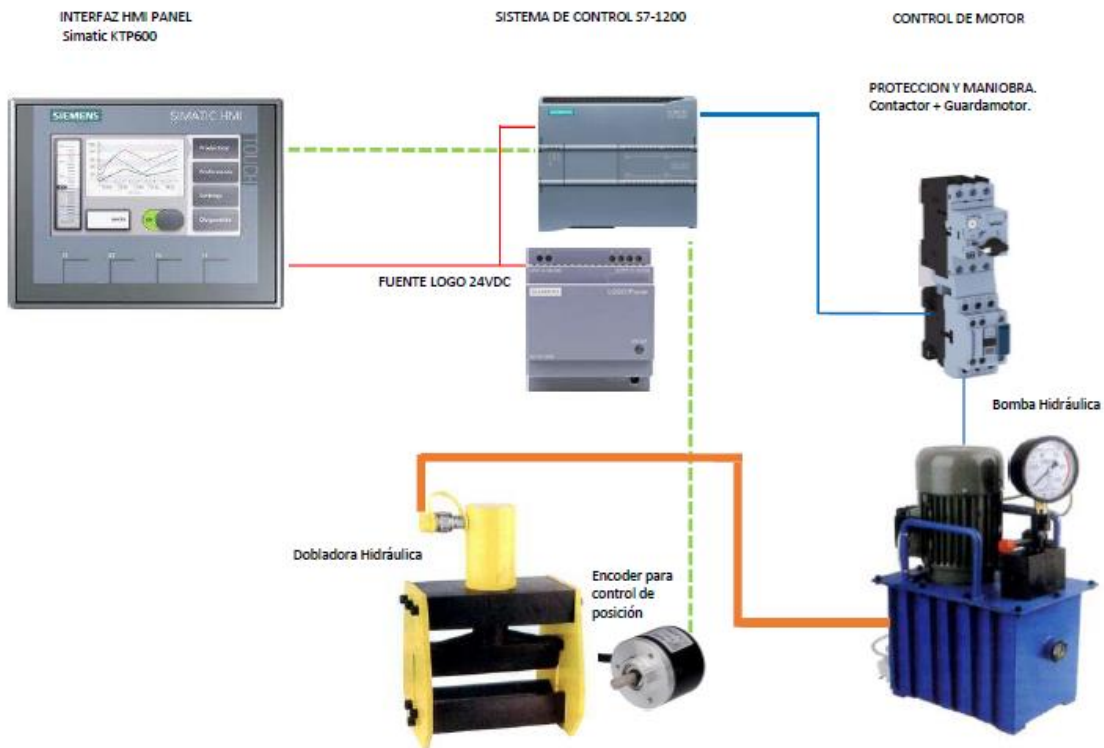
Al ser el valor devuelto por el encoder un número digital se necesita un equipo que pueda procesar dicho valor y realizar operaciones aritméticas o lógicas sobre el mismo. Un equipo capaz de resolver esta tarea es el PLC, el cual obrará como controlador del sistema.

De acuerdo al esquema general de control de lazo cerrado que se estudió en el Capítulo 1, el controlador deberá actuar sobre el sistema para realizar la compensación del mismo. En este caso, se estudia el funcionamiento del pedal original de control de la dobladora hidráulica y se

determina que se puede obrar directamente sobre el contactor que activa la bomba de presurización y sobre la electroválvula de reposicionamiento del pistón. Estas señales son de naturaleza también digital de tipo on-off por lo que pueden ser activadas desde el PLC.

Finalmente, para que el operador interactúe con la máquina debe existir un dispositivo físico o virtual que permita la interacción humano- máquina de manera sencilla. En la industria existen paneles táctiles que permiten una manipulación sencilla además de una visualización adecuada del proceso con el uso de colores, indicadores y otros recursos visuales.

En la Figura 3.4 se muestra la propuesta general de diseño que se utilizará para automatizar el doblado de barras de cobre. El sensor para medir será un encoder. El controlador es un PLC que lee los pulsos girados por el encoder y controla la bomba hidráulica y la electroválvula. Por tanto la tecnología de automatización que se propone es de tipo electrónico.



**Figura 3.4. Diagrama esquemático del sistema propuesto**

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.2.2. Etapa de desarrollo y diseño

El desarrollo lo podemos dividir en tres partes que son el diseño mecánico, el diseño eléctrico y el diseño electrónico. Esta etapa permite determinar las necesidades de la máquina a un nivel conceptual desde donde se partirá para determinar los equipos mecánicos, eléctricos y electrónicos así como sus diagramas necesarios para pasar a la parte de implementación que se estudia en el CAPÍTULO IV.

- **Diseño mecánico**

Se analizó la manera de acoplar el encoder de tal forma que se transmita el doblado de la barra al eje del encoder. De esta manera el encoder convertirá el ángulo girado por la barra en un número digital procesable por el PLC.

En la Figura 3.5 se muestra el sistema de sujeción del encoder diseñado para acoplarse adecuadamente a la máquina dobladora y recibir el desplazamiento angular de la barra de cobre.

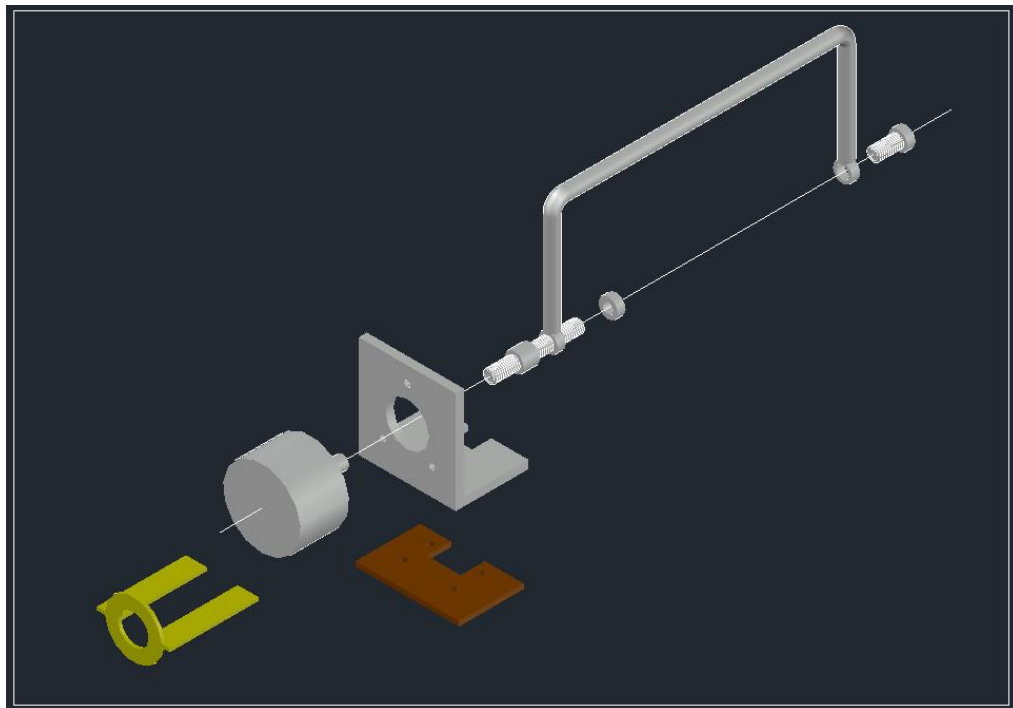


Figura 3.5. Sistema mecánico de montaje del encoder

Fuente: Elaboración propia

- **Diseño eléctrico**

Para el control del encendido de la bomba hidráulica se puede utilizar un arranque directo, ya que la potencia de la misma es menor a 5 hp; siendo esta consideración una regla utilizada

en la industria para discriminar entre arranque directo y otros tipos de arranques como: el arranque estrella triángulo, por inversor y por *soft starter*. Para el dimensionado de los componentes del arranque directo es necesario conocer las características eléctricas de la bomba, las mismas que se indican en la Tabla 3.1.

Dado que el circuito que controla el encendido y apagado de la bomba hidráulica es el más significativo en cuanto a su potencia, se le denominará como diagrama de fuerza y se muestra en la. Figura 3.7

**Tabla 3.1.**

**Características técnicas de la bomba hidráulica.**

Característica técnica	Especificación técnica
Potencia nominal (KW)	0.90
Potencia nominal (HP)	1
Voltaje nominal (V)	220
Corriente nominal (A)	5.2
Velocidad (rev/min)	1400
Eficiencia (%)	71
Factor de potencia	0.92
Locked rotor current	6
Locked rotor torque	1.8
Max torque	1.7

**Fuente:** (Zhejiang Yitong Machinery & Electronics Co., 2017)

- **Diseño electrónico**

El diseño electrónico tiene relación a seleccionar un dispositivo compatible con la señal del encoder que es un tren de pulsos de alta frecuencia y que puede ser de tipo NPN o PNP. Para procesar esta señal, un dispositivo viable es el PLC. Sin embargo, debe considerarse que la naturaleza de la señal del encoder es diferente de la señal de un pulsador o de un fin de carrera en su característica de frecuencia. Por esta razón el PLC debe disponer de entradas rápidas que permita contar los pulsos que emitirá el encoder al ser el sensor de posición propuesto para el sistema. La Figura 3.6 esquematiza el funcionamiento del sistema de control, en donde se puede observar que recibe como entradas la señal encoder y otras señales digitales, las procesa y produce señales de salida que modifican la respuesta de la máquina.

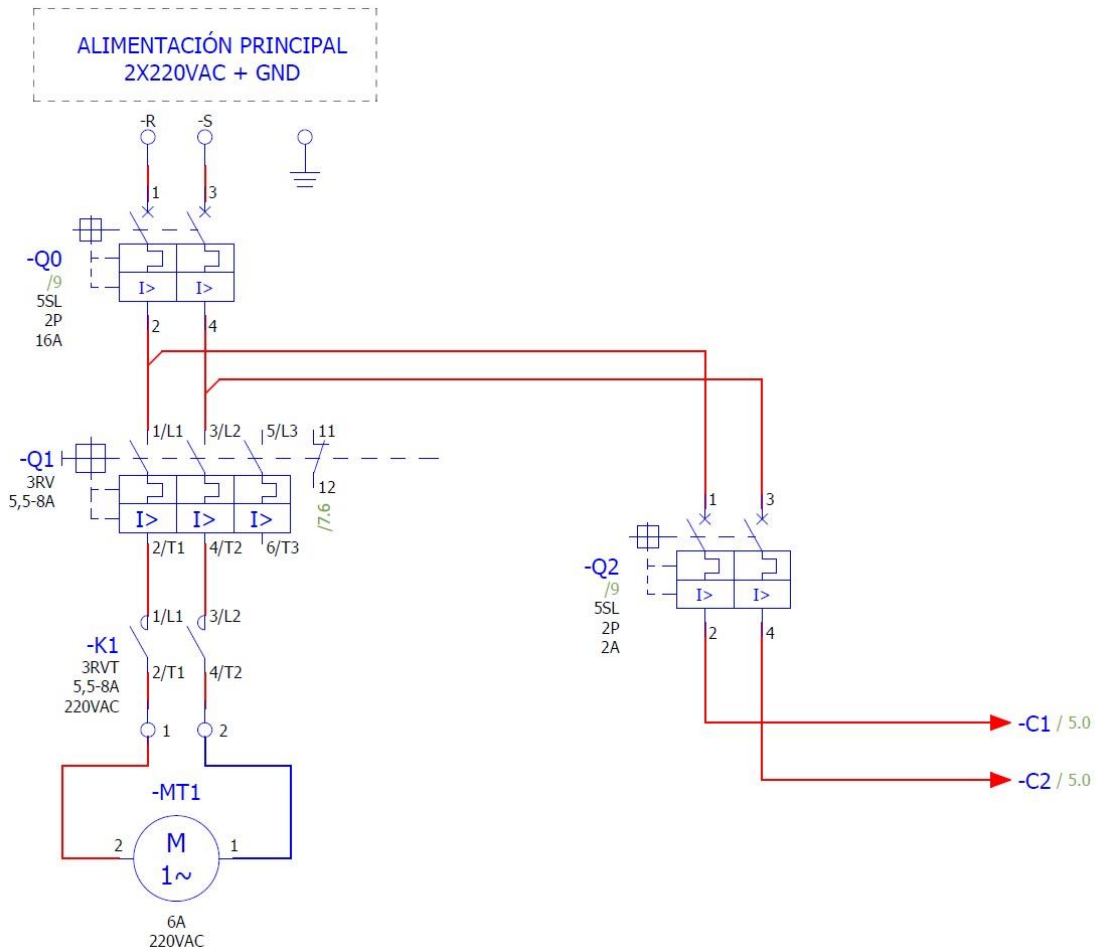


**Figura 3.6. Diagrama de entradas/salidas del controlador electrónico PLC**

**Fuente: Elaboración propia**

Como complemento indispensable del sistema está la interfaz HMI (*Human Machine Interface*) que es un dispositivo de visualización y manipulación que permite al operario tanto observar el estado actual del sistema, como configurarlo y operar sobre él.

Para el funcionamiento del PLC y del HMI es necesario realizar un programa de control en el primero y un programa de interacción en el segundo.



**Figura 3.7. Diagrama de fuerza**

**Fuente: Elaboración propia**



### **3.3. Diagrama eléctrico general**

La máquina dobladora tiene tres partes que son: el actuador, el sensor de posición y el controlador. El actuador tiene relación con las características mecánicas que permiten hacer el trabajo sobre la barra de cobre y como se analizó en la sección 3.1 de este capítulo está formada por el pistón, la matriz y la electroválvula. Por su parte, el sistema de control tiene naturaleza electrónica y eléctrica. Electrónica, debido al tipo de señal que emite un encoder. Eléctrica debido a que el motor que presuriza el sistema para activar el pistón es un motor eléctrico de dos fases. Por tanto para realizar el automatismo de la máquina dobladora se requiere un diagrama eléctrico de conexiones como se muestra en la Figura 3.10.

### **3.4. Especificación de equipos**

#### **3.4.1. Equipos y materiales mecánicos**

Para poder fijar al encoder a la estructura se diseñó una placa con una arandela metálica a la cual se le soldaron 2 pedazos de metal como se puede ver en la Figura 3.8, para que sirva como soporte del encoder. Las piezas se elaboraron manualmente en función de las medidas tomadas de la máquina.



**Figura 3.8. Diseño de pieza para fijar encoder.**

**Fuente: Elaboración propia**

La transmisión del desplazamiento angular de la barra de cobre al eje del encoder se obtiene mediante una pieza en forma de tornillo la cual se acopló con la estructura de la máquina. La pieza mencionada se muestra en la Figura 3.9. En la Figura 3.11 se puede observar esta pieza colocada sobre una barra de cobre.



**Figura 3.9. Diseño de pieza para acople y lectura para encoder.**

**Fuente: Elaboración propia**

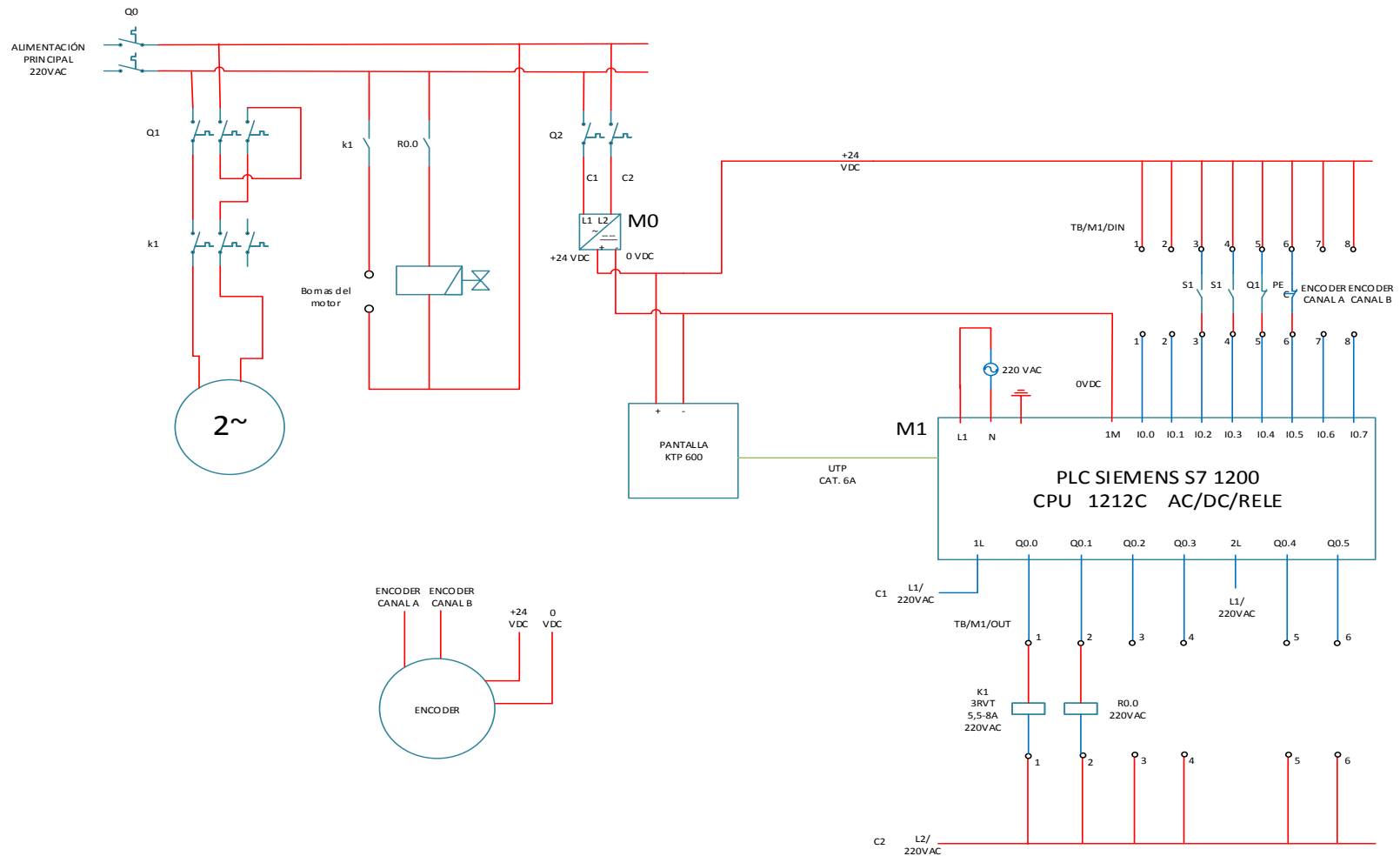


Figura 3.10. Diagrama eléctrico del sistema

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.11. Dobladora con barra de cobre y pieza transmisora del ángulo de doblaje**

**Fuente: Elaboración propia**

Se unieron las diferentes partes y se obtuvo el sistema de acoplamiento del encoder como se ve en la Figura 3.12.



**Figura 3.12. Diseño sistema de acoplamiento encoder**

**Fuente: Elaboración propia**

### **3.4.2. Equipos y materiales eléctricos**

La selección de materiales eléctricos consta de los equipos para el arranque directo del motor y los equipos de protección eléctrica tanto del circuito de fuerza como del circuito de control. Para el arranque directo del motor se requiere de un contactor y un elemento de protección termomagnética que se active por cortocircuito y por sobrecalentamiento del motor, a fin de conseguir una larga vida útil del mecanismo. Los elementos de protección restantes

serán un breaker principal, que desconecta la energía de todo el circuito, y otro breaker para el seccionamiento de la tensión del circuito de control, como se muestra en la Figura 3.13.

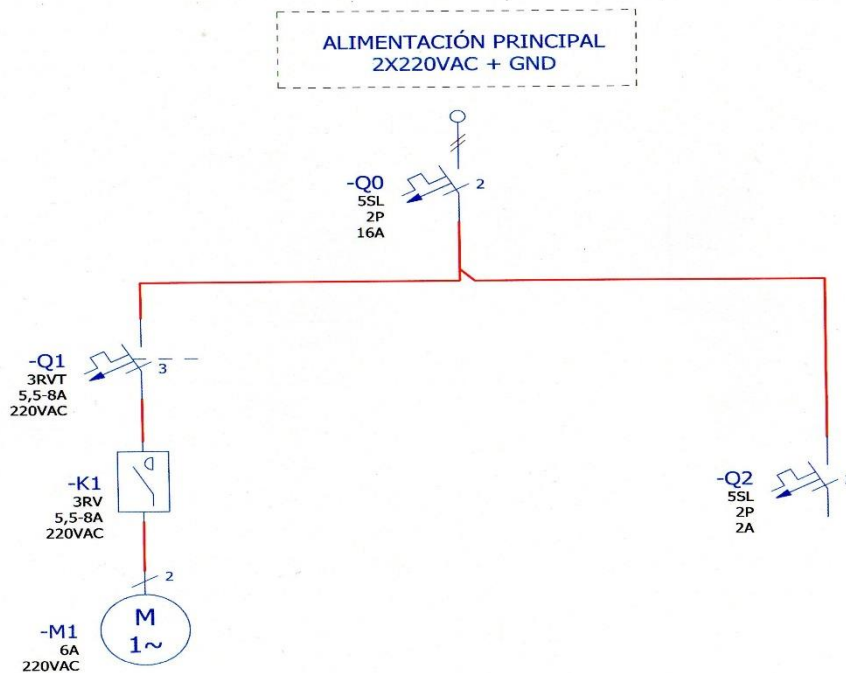


Figura 3.13. Diagrama unifilar de distribución de la energía eléctrica

Fuente: Elaboración propia

### Dimensionamiento de los equipos eléctricos

El motor monofásico de la bomba hidráulica tiene una potencia de 0.90kW, opera a una tensión de 220vac, frecuencia de 60Hz y tiene una corriente nominal de 6.0A. Datos adicionales se pueden revisar en la Tabla 3.1.

El cálculo de la protección electromagnética o de cortocircuito para el motor de la bomba hidráulica se realiza mediante la Ecuación1. Fórmula de protección electromagnética Ecuación1, donde  $k$  es una constante de protección con valores entre 1.8 y 2.1, y  $I_N$  es la corriente nominal del motor.

$$I_F = k * I_N$$

**Ecuación1.** Fórmula de protección electromagnética para fusible

$$I_F = 1,8 * 6.0 A$$

$$I_F = 10,8 A$$

Para seleccionar los fusibles, se debe considerar el estándar comercial del valor calculado; para este caso, el valor comercial más próximo es 12 A. Por lo tanto:

$$I_F \approx 12 A$$

Para el cálculo para protección electromagnética o de cortocircuito con breaker se utiliza Ecuación2, donde  $C$  toma valores entre 2 y 3.

$$I_P = C * I_N$$

**Ecuación2.** Fórmula de protección electromagnética para breaker

$$I_P = 3 * 6.0 A$$

$$I_P = 18.0 A$$

Para seleccionar el breaker, se debe considerar el estándar comercial; es decir, en este caso el valor comercial más cercano, es:

$$I_P \approx 20 A$$

Para la protección térmica o de sobrecarga del motor de la bomba hidráulica se utiliza la Ecuación3 donde  $C$  es una constante que depende del factor de servicio.

$$I_S = C * I_N$$

**Ecuación3.** Fórmula de protección térmica

$$C = 1,15 \text{ cuando } f_S < 1,15$$

$$C = 1,25 \text{ cuando } f_S > 1,15$$

Realizan con  $f_S < 1,15$

$$I_S = 1,15 * 6.0 A$$

$$I_S = 6,9 A$$

Seleccionando la protección con un valor comercial existente, tenemos que:

$$I_P \approx 10 A$$

Para la selección del contactor se debe considerar la corriente nominal del motor que es de 6.0 Amperios por lo que la selección de este equipo se realiza en función de fichas de catálogo de productos.

Como criterio de diseño es recomendable utilizar una tensión independiente para control. En este caso se decide utilizar una tensión de 24Vdc que suministrará de corriente a la pantalla, el PLC, las señales digitales y el encoder. Por esta razón es necesario en el circuito de control dispone de una fuente que se dimensiona según la cantidad de carga a soportar. Dado que las

cargas son pequeñas y comercialmente la fuente de menor amperaje disponible es la de 2.5A, ésta se selecciona para alimentar el circuito de control e independizarlo del circuito de fuerza.

Sintetizando los resultados obtenidos mediante los cálculos mostrados, se muestra en la Tabla 3.2 los equipos seleccionados para el circuito eléctrico de fuerza.

**Tabla 3.2.**

**Equipos eléctricos seleccionados**

Descripción	Número de artículo	Cantidad	Denominación (IME)	Esquema/posición
		0		/1.b
CONTAC,AC,4KW/400V,1N A+1NC,AC 220V 50/60HZ	3RT2023-1AN20	1	-K1	/1
LOGO POWER 24V,2,5 A	SIE,6EP133 2-15M43	1	-M0	/3.2
CPU 1212C, AC/DC/RELES, DBI/6DO/2AI	SIE,6ES721 2-1BE31-0XB0	1	-M1	/3
AUTOM MAGNETOTERMICO 400V 4,5kA, 3 POLOS, C , 16 <sup>a</sup>	CHNT	1	-Q0	/1.5
INTERRUPTOR AUT, BORNES TORNILLO 8 <sup>a</sup>	SIE,3RV201 1-1HA10	1	-Q1	/1.3
AUTOM, MAGNETOTERMICO 400V 4,5kA, 2 POLOS, C, 2A	5SL3202-7	1	-Q2	/1.6

**Fuente:** Elaboración propia

**3.4.3. Equipos electrónicos:**

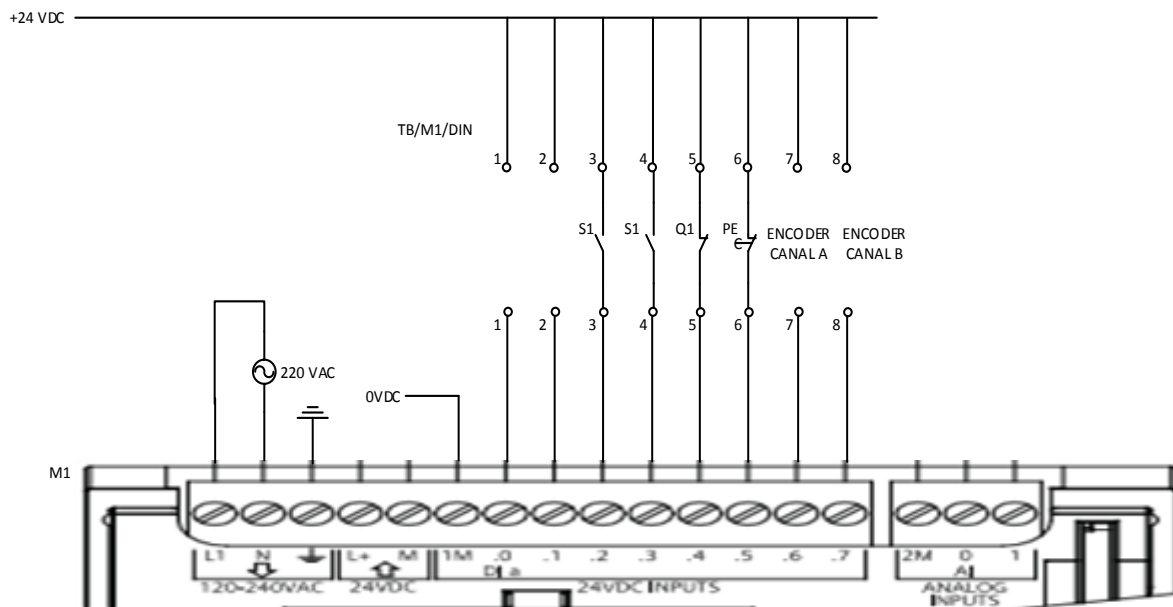
Los equipos electrónicos se dividen en 2: el equipo de control y el equipo de visualización e interfaz del usuario.

**Sensor de posición o desplazamiento angular encoder.-** Los encoders, como se revisó en el CAPÍTULO I son dispositivos ópticos que generan dos señales pulsantes desfasadas. Estas señales son de tipo onda cuadrada y presentan una frecuencia variable pero superior al de señales digitales convencionales como son por ejemplo los pulsadores, los finales de carrera y los selectores. Los encoder son utilizados para estimar la posición, el desplazamiento angular e inclusive la frecuencia o rapidez angular con la que un mecanismo opera. Para que el encoder pueda medir el desplazamiento angular es necesario la etapa de diseño mecánico que resuelve

el problema del montaje del encoder a la máquina así como la transmisión del movimiento angular al eje del mismo.

En el caso de la máquina dobladora a automatizar se seleccionó un encoder de marca Hanyoun de 1024 pulsos por revolución, con alimentación de 12 a 24 Vdc y salidas A, B, Z. Información adicional del equipo se encuentra en los anexos.

En la Figura 3.14 se muestra la conexión de las señales del encoder al canal de contador rápido del PLC Simatic S7-1200.



**Figura 3.14. Conexión encoder a PLC**

**Fuente: Elaboración propia**

**Controlador PLC.-** Como se discutió en la sección 3.2.2 en diseño electrónico, el PLC debe ser capaz de procesar la señal del encoder. Esto sugiere que el equipo debe disponer de contadores rápidos de tal manera que pueda obtenerse la conversión del tren de pulsos en un valor digital escrito a la memoria interna de trabajo del PLC. Adicionalmente a este requisito fundamental, se debe considerar el número de entradas y salidas digitales necesarias para operar la máquina. Estas dos características orientan la selección del PLC como equipo. En Tabla 3.3 se muestra las variables de entrada y salida que se utilizan en el PLC para automatizar la máquina. Por su parte, en la Tabla 3.4 se indican las características del PLC en donde se constata que dispone de 4 contadores rápidos de hasta 100kHz. Por estas especificaciones técnicas la CPU1212 AC/DC/Relé fabricada por Siemens se adscribe a los requerimientos de la aplicación.



**Tabla 3.3.****Entradas y salidas utilizadas en el PLC.**

Entradas	Designación	Salidas	Designación
I 0.0	Libre	Q 0.0	Bobina del contactor
I 0.1	Libre	Q 0.1	Electroválvula
I 0.2		Q 0.2	Libre
I 0.3	Señal selector modo automático	Q 0.3	Libre
I 0.4	Señal estado del guarda motor	Q 0.4	Libre
I 0.5	Señal paro emerg.	Q 0.5	Libre
I 0.6	Señal A encoder		
I 0.7	Señal B encoder		

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.4.****Características técnicas CPU PLC SIEMENS S7-1200**

Función	Característica principal
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75
	Memoria de trabajo
	25 KB
Memoria de usuario	Memoria de carga
	1 MB
	Memoria remanente
	2 KB
E/S integradas	Digitales
locales	Analógicas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	6 Entradas/ 4 Salidas
Área de marcas (M)	2 Entradas
Signal Board	1024 bytes
Módulos de comunicación	4096 bytes
Contadores rápidos	1
	3
	Fase Simple
	3 a 100 KHz
	Fase en cuadratura
	1 a 80 KHz
Salidas de impulsos	2

Memory card	SIMATIC memory card
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	6 días a 40°C
PROFINET	1 puerto Ethernet
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 microsegundos/instrucción
Velocidad de ejecución booleana	0,1 microsegundos/instrucción

**Fuente:** Elaboración propia

**Interfaz HMI:** Para la visualización del proceso y la configuración del mismo se utiliza una pantalla táctil con una resolución de 480 x 272 píxeles como se detalla en la Tabla 3.5. El equipo seleccionado es del mismo fabricante que el PLC, lo que garantiza una fácil y rápida integración de las variables utilizadas internamente entre los dos dispositivos, mediante la comunicación Ethernet que está integrada tanto en el PLC como en la pantalla. El equipo seleccionado es la pantalla KTP600 que es programada al igual que el PLC en el entorno de desarrollo de TIA PORTAL.

**Tabla 3.5.**

**Características pantalla HMI KTP600**

Modo de Operación	Característica principal
Pantalla	Tamaño (pulgadas) 4,3”
	Resolución (píxeles) 480 x 272
	Dimensiones (mm) 141 x 116
Elementos de mando	Teclas de función (programables) 4
	Memoria de usuario 10 MB
Memoria útil	Memoria para opciones/recetas -/256 Kbytes

**Fuente:** (Siemens, 2015)

Los equipos electrónicos seleccionados para automatizar la máquina dobladora son los indicados en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6.**

**Selección de equipos electrónicos**

Descripción	Número de artículo	Cantidad	Denominación (IME)	Esquema/posición
		0		/1.b
CPU 1212C, AC/DC/RELES, DBI/6DO/2AI	SIE,6ES721-2-1BE31-0XB0	1	-M1	/3
SIMATIC BASIC PANEL KTP600 COLOR 5,7" TACTIL	6AV6647-0D11-3AX0	1		
ENCODER HE50B-8-1024-3-N-24	HE50B-8-1024-3-N-24	1		

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.5. Costos del proyecto

En la Sección 3.4 se especificaron los equipos a utilizar en el proyecto de automatización. La presenta el costo de los materiales principales utilizados en la elaboración del presente proyecto de automatización. El costo más significativo está en los valores relacionados al PLC y al HMI.

ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	PRECIO	DESC.	TOTAL
1	1	SIMATIC BASIC PANEL KTP600 COLOR 5,7" TACTIL 6AV6647-0D11-3AX0	1315,00	25%	986,25
2	1	CPU 1212C AC/DC 85-264VAC 6ES7212-1BE40-0XB0	497,00	25%	372,75
3	1	SELECTOR 3 POSICIONES 3SB3210-2DA11 SIEMENS	15,55	25%	11,66
4	1	PULSADOR DE PARO DE EMERGENCIA GIRO 3SU1100-1HB20-1CG0 SIRIUS ACT	29,80	25%	22,35
5	1	CANAleta RANURADA 25 X 40	6,45	25%	4,84
6	5	BORNERA DE PASO DOBLE PISO 28-14AWG	3,94	25%	14,78
7	1	RELE INTERFACE 1 CONTACTO 10A.220/230 AC LED	6,00	25%	4,50
8	1	BREAKER 2P 16AMP P/RIEL 5SL3216-7 SIEMENS	19,70	25%	14,78
9	1	GUARDAMOTOR 5.5-8.0A 3RV2011-1HA10	62,23	25%	46,67
10	1	BREAKER 2P 2AMP P/RIEL 5SL3202-7 SIEMENS.	28,75	25%	21,56
11	1	FUENTE PARA LOGO POWER 24VDC /2.5A 6EP1332-1SH43	118,00	25%	88,50
12	1	CPU 1212C AC/DC 85-264VAC 6ES7212-1BE40-0XB0	497,00	25%	372,75
13	1	CONTACTOR 16 A 1NO+NC 220V 3RT2025-1AN20	46,39	25%	34,79
14	1	RIEL DIN ( 1MTR)	2,50	25%	1,88
15	1	ROLLO CABLE FLEXIBLE # 18 AWG NEGRO	21,00	25%	15,75
16	1	TERMINAL PUNTERA 18AWG AMARILLO	4,00	25%	3,00
17	25	MTRS. CABLE THHN # 14 AWG NEGRO	0,32	25%	6,00
18	1	ENCODER HE50B-8-1024-3-N-24	189,00	25%	141,75
19	1	CONECTOR 4 PINES WEIDMULLER	34,00	25%	25,50
20	1	CABLE CONCENTRICO 3 X 14 AWG 600V	1,40	25%	1,05
21	4	TOMA DOBLE CHINO POLARIZADO	3,60	25%	10,80
22	2	BORNERA TIERRA 4 MM2 RIEL #12 AWG	2,97	25%	4,46
23	1	GABINETE METALICO 30/30/20 CM	36,09	25%	27,07
			<b>SUBTOTAL</b>		2233,43
			<b>IVA 12%</b>		268,01
<b>TIEMPO DE ENTREGA:</b>	Inmediato previa orden		<b>TOTAL</b>		2501,44
<b>FORMA DE PAGO:</b>	CONTADO				
<b>VIGENCIA DE LA OFERTA:</b>					

**Figura 3.15. Costos de materiales usados en el proyecto**

**Fuente: Depto. Ventas INASEL**

### 3.6. Ventajas del desarrollo del proyecto

El proyecto de automatización de doblado de barras de cobre para la empresa INASEL aporta con varias ventajas entre las que podemos enumerar:

- Permite mejorar el proceso de fabricación de tableros eléctricos de la empresa INASEL porque no requiere de la experiencia del operador para determinar el

ángulo de doblado de la barra, ya que se utiliza un encoder incremental que mide con precisión el ángulo de doblado.

- Se optimiza el tiempo empleado por el trabajador en el ensamblado de tableros eléctricos ya que se disminuye la posibilidad de errores por exceso de doblado que obligan a realizar un trabajo intermedio de desdoblado y doblado para corregir el error. Esta situación la ha experimentado la empresa con anterioridad.
- La automatización de la máquina de doblado de barras de cobre permitirá un uso adecuado de la barra de cobre al evitar que esta sea doblada y desdoblada innecesariamente. Una manipulación excesiva de la barra afecta la calidad de la misa y puede obligar a tener que cortarla lo que a su vez afecta la longitud y la conductividad de la misma y consume más tiempo de fabricación del producto final.
- El operario obtiene una mejora significativa tanto de la manipulación del proceso así como de la visualización del mismo por medio del panel HMI. Al ser táctil permite un manejo intuitivo sencillo para el operario sin requerir de mayor entrenamiento. El idioma de los botones y texto general de las pantallas es español con lo que facilita la usabilidad del sistema. Finalmente, la configuración del sistema es sencilla constando de pocos pasos como se detalla en el diagrama UML de operación del HMI en la Sección 3.2.2.
- El programa de control del PLC permite un funcionamiento estable y robusto del sistema ya que sustituye el funcionamiento electromecánico del pedal por un funcionamiento electrónico basado en la ejecución de un algoritmo de control ON-OFF. En caso de que ocurra un funcionamiento inadecuado o extraño, el PLC tiene la ventaja de presentar un diagnóstico en línea usando el propio *software* de programación. Esto permite disponer de mensajes entendibles por el usuario para poder tomar decisiones adecuadas sobre la falla y su origen.

## CAPÍTULO IV

### IMPLEMENTACIÓN

#### 4. Introducción

En el CAPÍTULO III se realizó la propuesta del sistema de automatización de la máquina dobladora de barras considerando el ciclo de vida general de una máquina eléctrica. De ahí se dividió la automatización de la máquina dobladora de barras de cobre en 3 sub-diseños que son el mecánico, el eléctrico y el electrónico. El capítulo anterior termina con la especificación de los equipos a utilizar.

En el presente capítulo se detalla el proceso de implementación de la solución. Esto es, el proceso para integrar los subsistemas mecánico y eléctrico a través del control electrónico seleccionado para que la máquina dobladora de barras de cobre pueda realizar su tarea de forma automática, con suficiente exactitud y de manera replicable.

La implementación se la divide en tres etapas que son: implementación mecánica, eléctrica y algorítmica o electrónica.

#### 4.1. Implementación del subsistema mecánico

Consiste en la fabricación de las piezas de sujeción y acople del encoder. El diseño de las piezas se derivó de las medidas de la máquina hidráulica. El encoder se soporta a través de una arandela y un perno hexagonal de ½ pulgada que se encuentra en la estructura de la máquina. Para mitigar la vibración transmitida al encoder se diseñó un soporte de duralón<sup>1</sup>. La Figura 4.1. muestra las diferentes partes que conforman el mecanismo de acople del encoder a la máquina dobladora.

---

<sup>1</sup> Ver glosario de términos



**Figura 4.1. Subsistema mecánico de acople del encoder**

**Fuente: elaboración propia**

## **4.2. Implementación del subsistema eléctrico o tablero de control**

Los circuitos eléctricos de control y fuerza diseñados en el Capítulo 3 se implementan en un tablero de control en el que los diferentes equipos especificados son montados y cableados de acuerdo a los planos.

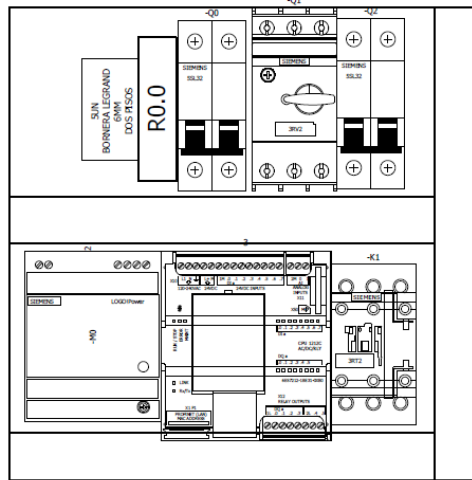
El tablero de control utilizado tiene unas dimensiones de 30x30x20 cm, con doble fondo de marca Beacoup. Debido a que la máquina dobladora es móvil, fue necesario utilizar un gabinete o tablero de dimensiones convenientes para que el sistema disponga de portabilidad.

En la Figura 4.2 y la Figura 4.3 se observa la disposición de los equipos a ser montados sobre el doble fondo del tablero. Para la colocación de los dispositivos como breakers, fuente de voltaje y PLC se utiliza riel din fijado sobre el doble fondo con tornillos auto-perforantes.

La canaleta plástica ranurada de 25x25 cm es utilizada para facilitar el cableado entre los diferentes dispositivos de acuerdo con los planos elaborados, como se indica en la Figura 4.4.

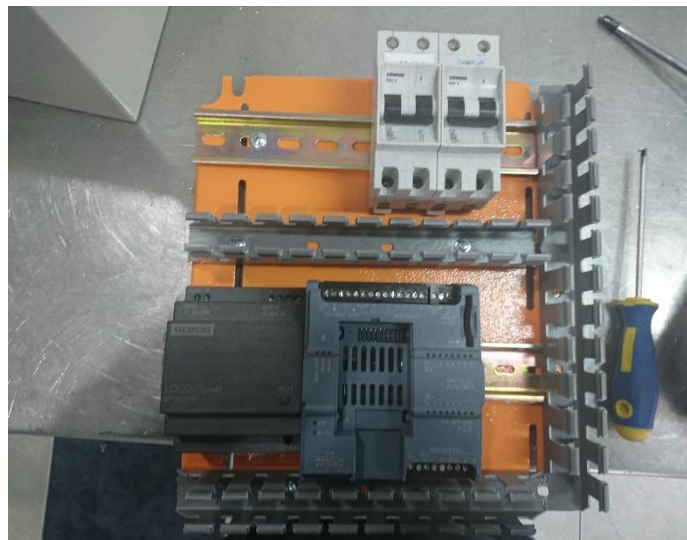
Para montar el HMI se realiza una perforación adecuada sobre la tapa del tablero de control. Adicional se montan: el selector de 3 posiciones (Automático, Apagado, Manual) y un paro de emergencia tipo Hongo de conexión normalmente cerrado, como se muestra en la Figura 4.5.

Para la sujeción y transporte del gabinete metálico disponemos de un pedestal telescópico, el mismo que se indica en la Figura 4.6.



**Figura 4.2. Diseño de la disposición de los equipos en el tablero**

**Fuente: elaboración propia**



**Figura 4.3. Disposición de los equipos en el tablero**

**Fuente: Elaboración propia**





**Figura 4.4. Cableado del tablero de control**

**Fuente: elaboración propia**



**Figura 4.5. Colocación de pantalla HMI, selector y paro de emergencia.**

**Fuente: elaboración propia**

### **4.3. Implementación del programa de control**

El funcionamiento original de la máquina dobladora de barras de cobre utiliza un pedal de tres posiciones para activar la bomba hidráulica y mover el pistón o punzón sobre la barra. Un sistema de lazo cerrado de control, como los estudiados en el Capítulo 1, comparan la diferencia entre un valor de consigna y un valor medido, con lo que se obtiene un valor de error que será

compensado por medio de otra variable que obra sobre el actuador del sistema modificándolo convenientemente para disminuir el error.



**Figura 4.6. Colocación de tablero de control en pedestal telescópico**

**Fuente: elaboración propia**

Existen varias técnicas de control, como el control ON-OFF, PID, control dinámico, entre otras. Sin embargo, dado que la máquina originalmente utiliza un pedal para su control que enciende y apaga la bomba hidráulica, se deduce que la técnica de control original de la máquina es de lazo abierto tipo on-off. En la presente tesis, se utilizará este tipo de control como la primera aproximación para resolver el problema considerando que, a diferencia del diseño original, disponemos de un elemento de medición del ángulo girado por la barra de suficiente precisión.

El algoritmo de control utilizado por el programa PLC es el indicado en la Figura 4.7. El PLC recibe una señal de alta frecuencia emitida por el encoder. La señal es decodificada en el contador rápido integrado del PLC Simatic S7-1200, escogido fundamentalmente por disponer de hasta 4 contadores rápidos, y convertida en un número entero doble. Este valor es convertido utilizando la Ecuación 4., misma que se obtuvo experimentalmente observando el valor que el contador rápido del PLC devuelve para una revolución completa. Obtenido el cálculo para convertir las lecturas del contador rápido del PLC en valores angulares sexagesimales, se realiza la comparación entre el ángulo deseado y el ángulo actual.

$$\phi_{actual} = ValorContador \frac{698.1818}{1024}$$

**Ecuación 4.** Conversión del ángulo actual

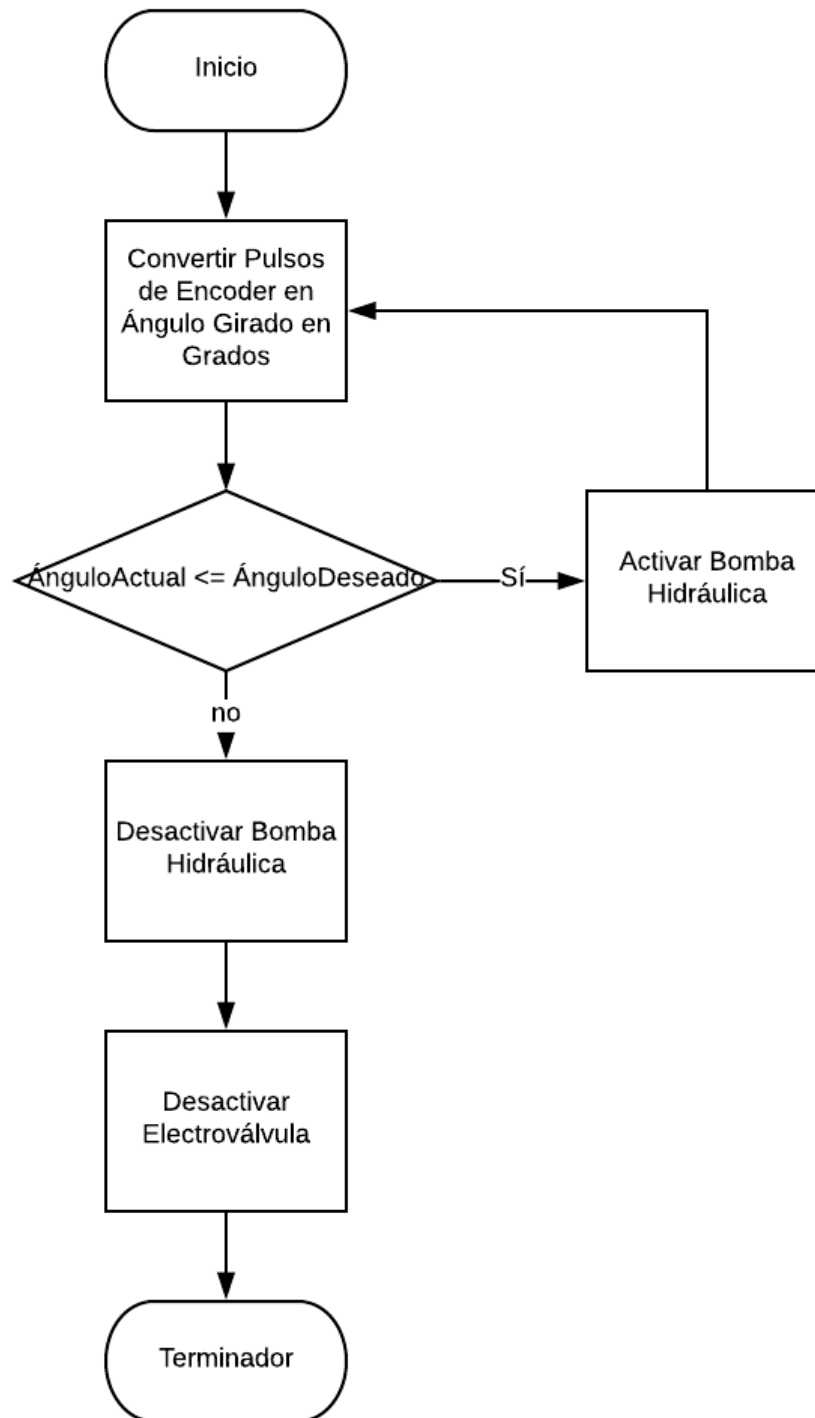


Figura 4.7. Algoritmo de control para doblado de barras

Fuente: elaboración propia

Dado que el encoder utilizado es incremental y no absoluto, se puede utilizar desplazamientos angulares relativos. Sin embargo, experimentalmente se nota que al colocar la barra de cobre sobre la máquina dobladora hay que hacer un proceso de ajuste del ángulo inicial, lo cual no solo mejora la precisión de la medida durante el proceso, sino también permite iniciar el mismo desde el ángulo de 0°. Para esto se utiliza la función CTRL\_HSC que se encuentra en la librería de instrucciones del Simatic S7-1200 en el entorno de desarrollo de TIA PORTAL.

El programa desarrollado se puede revisar en la sección de anexos.

#### **4.4. Implementación de la interfaz HMI**

La interacción entre los seres humanos y las máquinas es un área de estudio e investigación en la actualidad. Un panel HMI es un dispositivo electrónico similar a un computador. Es más el sistema operativo sobre el que corre el programa de interfaz, denominado *runtime* en inglés, en los equipos Siemens es de tipo *Windows*. Por esta razón, se puede decir que los criterios de diseño de una interfaz HMI industrial se pueden relacionar con los de **usabilidad** en la relación humano – computador. De acuerdo a Gong Chao, los diseñadores deben proponer interfaces que se supediten al objetivo de la aplicación haciendo uso de funciones, formatos y acciones que enriquezcan esta experiencia (Gong, 2009). El autor revisa varios principios de diseño de la usabilidad de las interfaces humano – computador como son: de seguridad y estabilidad, de consistencia, de hábito, concisión, flexibilidad, predictibilidad, emocional entre otros. De estos criterios el más adecuado para el caso presentado en el problema de automatización de la máquina dobladora de barras de cobre es el de concisión.

El principio de concisión indica que el diseño de una interfaz computador – humano “poco significa mucho”. Es decir, no es necesario llenar la interfaz de una gran cantidad de botones y de información. Esta sobrecarga de elementos afecta negativamente la interacción entre la persona y la máquina. Por tanto, el diseño debe satisfacer las necesidades del usuario de una forma flexible dinámica y sencilla. Donde sencillez no significa simplicidad. La información que debe disponer el usuario debe ser la suficiente y necesaria. También, los elementos utilizados en la interfaz deben ser de fácil comprensión por parte del usuario final.

El diseño de la interfaz HMI para la máquina dobladora sigue los lineamientos generales presentados en el principio de concisión y de flexibilidad. Por tanto se determinan las necesidades del usuario como sigue:

#### 4.4.1. Necesidades del usuario

Las necesidades del usuario son: ingresar el ángulo deseado de doblaje de la barra, iniciar y detener el proceso a voluntad, visualizar el estado de doblado de la barra a través de la variable de ángulo actual.

Al disponer del PLC y el algoritmo de control que se implementa en él, la tarea de doblado se realiza automáticamente mediante la ejecución del programa en el bloque de organización principal OB1. Sin embargo, por consideraciones de flexibilidad, se diseña un modo de operación *manual mejorado*, en el cual el usuario puede usar la máquina dobladora a través de un botón virtual en la pantalla táctil. Esto le permite doblar manualmente la barra de cobre como si utilizara el pedal original. Sin embargo, dado que el PLC conoce en todo tiempo el valor actual del ángulo de doblado, el PLC asiste al usuario al interrumpir el doblado una vez superado el ángulo deseado.

El modo automático por su parte le permite ingresar al usuario el valor deseado de doblado y arrancar la operación de la máquina. Dado que el usuario dispone de la información constante del estado de la barra en pantalla, el usuario puede encerrar y manipular con facilidad el sistema.

#### 4.4.2. Diagrama UML del HMI

Para diseñar el funcionamiento del HMI se ha utilizado el **lenguaje unificado de modelado** o **UML**, por sus siglas en inglés. El cual es un lenguaje gráfico que permite documentar, visualizar y especificar un sistema. UML es muy aplicado en el diseño de sistemas de *software*, lo cual guarda relación con el programa de la pantalla HMI que es un *software* de interacción entre el usuario y el proceso; permitiendo que el usuario pueda manipular el sistema y obtener información relevante y útil del mismo (Wikipedia, 2018b).

El tipo de diagrama utilizado para diseñar el interfaz HMI se conoce como **diagrama de actividad**. Este tipo de diagrama UML ilustra el funcionamiento dinámico de un sistema como un flujo de información. Permite ilustrar la secuencia de estados entre una actividad y otra, además de permitir visualizar tareas en paralelo o ramificadas (Tutorialspoint, n.d.).

En la Figura 4.8, se presenta el diagrama UML de actividades para el HMI de la máquina de doblar barras de cobre. Se observa que se divide en dos procesos que son la operación en modo manual y la operación en modo automático. Si bien los dos procesos son muy similares inclusive en sus pantallas para el usuario la experiencia es intuitiva y satisface su necesidad

operativa, permitiendo que sea el PLC quien ejecute el doblado de la barra o el propio usuario de manera manual.

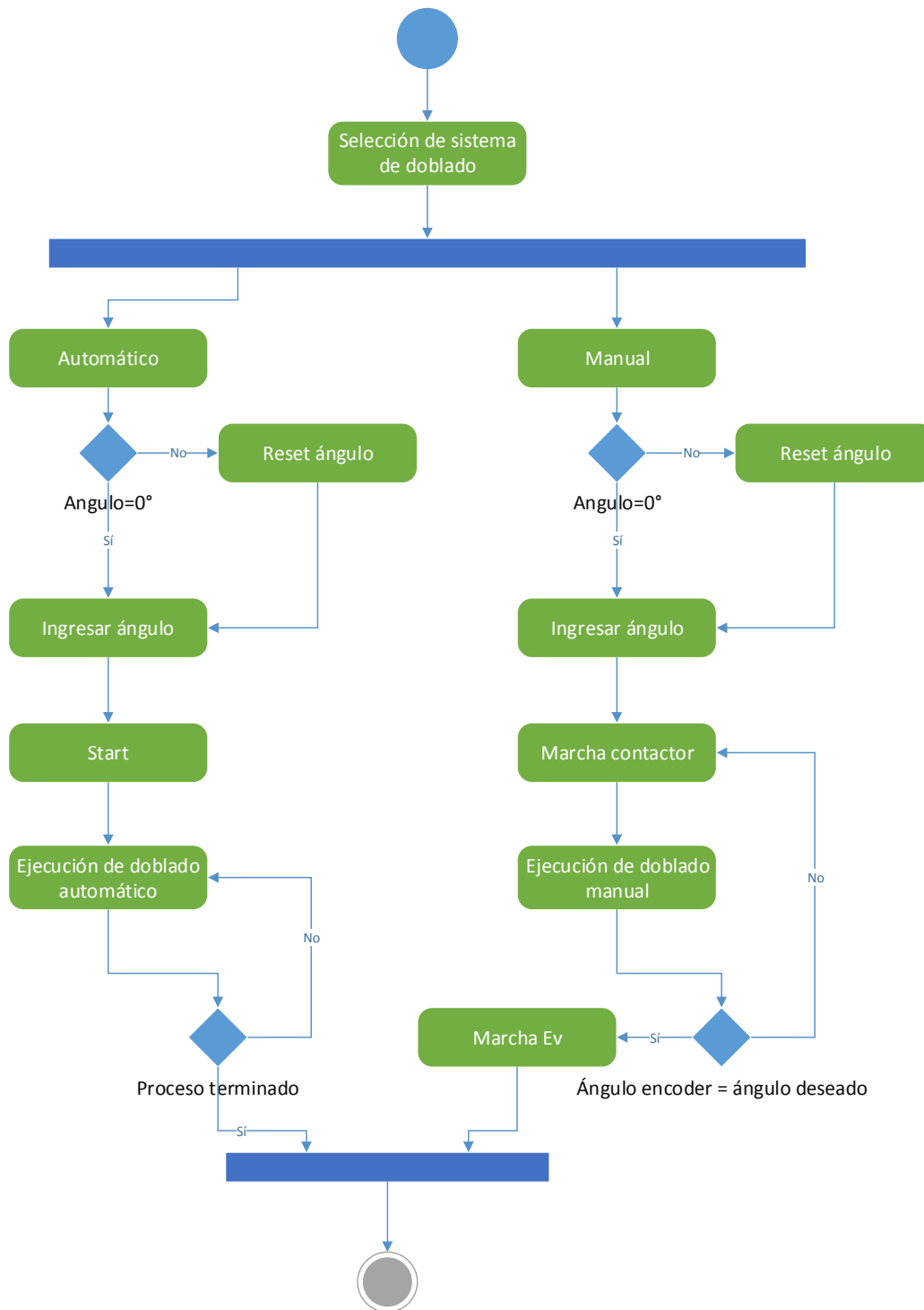


Figura 4.8. Diagrama UML de actividad del HMI

Fuente: elaboración propia

#### 4.4.3. Diseño de pantallas de la interfaz HMI

En la Figura 4.9, Figura 4.10 y Figura 4.11, se muestran las pantallas diseñadas para el operador de la máquina de doblar barras de cobre. La pantalla principal permite al operador, como se había especificado en el diagrama UML, escoger entre las opciones de operación manual y/o automática. De ahí que las dos pantallas siguientes son respectivamente la de operación manual y automática propiamente. Ambas pantallas permiten una manipulación sencilla del proceso por medio de botones táctiles de inicio (color verde) y de parada (color rojo). El estado del proceso queda indicado por medio de indicadores tipo luz piloto virtuales que indican si la máquina está encendida, si el pulsador de emergencia se encuentra enclavado o si el proceso ha finalizado.



Figura 4.9. Pantalla de inicio

Fuente: elaboración propia

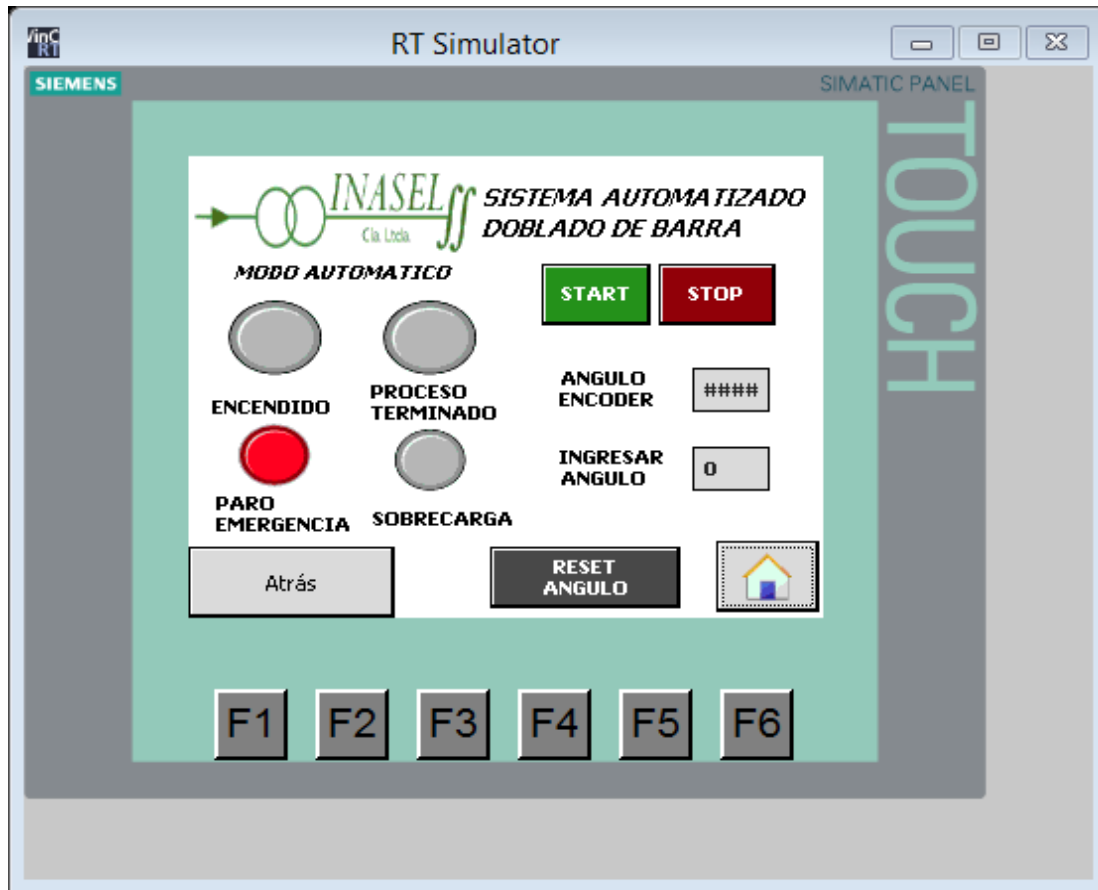
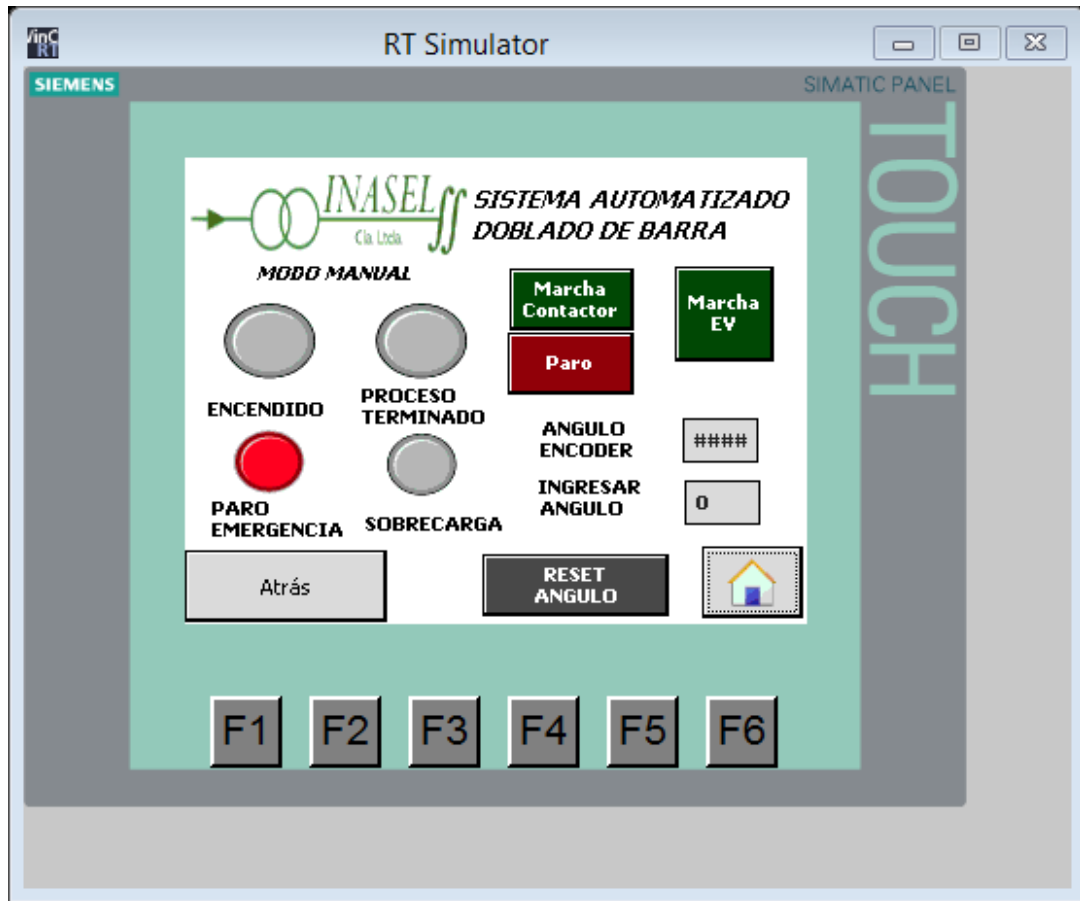


Figura 4.10. Modo automático

Fuente: elaboración propia

En modo automático se dispone del botón de reset de ángulo que permite encerrar el valor del contador rápido del PLC una vez que la barra ha sido colocada adecuadamente sobre la matriz para ejecutar el doblado requerido.





**Figura 4.11. Modo manual**

**Fuente: elaboración propia**

Tanto en la pantalla de modo automático como de modo manual se dispone de una visualización de sobrecarga del motor de la bomba hidráulica. Esto permite que el operario conozca el estado seguro de operación de la máquina permitiendo un flujo de trabajo dinámico.

Dado que la operación en modo manual depende enteramente del usuario, se dispone adicionalmente de un botón denominado Marcha EV que opera la electroválvula de reposicionamiento del pistón de doblado de barra.

Se debe tomar en cuenta que la operación manual de la máquina ha sido mejorada ya que el PLC indica cuando se ha alcanzado el ángulo deseado y evita que el operario doble excesivamente la barra aun cuando no impide que manualmente usando el botón de Marcha Contactor el usuario haga operaciones adicionales según su iniciativa propia.

## 4.5. Pruebas de funcionamiento

A continuación se procede a elaborar las pruebas de funcionamiento de la dobladora automatizada en modo manual y en modo automático para comprobar las mejoras en el grado de ángulo doblado obtenido.

### 4.5.1. Toma de datos ángulo de doblado modo manual

En la Tabla 4.5.1 se observa los datos que se obtuvieron en la dobladora automatizada en modo manual. Para esto se propusieron 5 pruebas utilizando los ángulos más comunes solicitados en el doblado de barras de cobre. La medición del ángulo real obtenido se hizo utilizando un graduador dibujando sobre una hoja de papel la barra de cobre obtenida.

**Tabla 4.5.1.**

**Toma de datos ángulo de doblado modo manual**

Modo manual	
Angulo deseado	Angulo doblado
30°	33°
45°	48°
60°	63°
70°	72°
90°	90°

**Fuente:** elaboración propia.

### 4.5.2. Toma de datos ángulo de doblado modo automático

En la Tabla 4.5.2, se observa los datos que se obtuvieron en la dobladora automatizada, en modo automático. De igual manera se realizan 5 pruebas con los ángulos más comunes de doblado de barras de cobre. El procedimiento para medición del ángulo final obtenido es el mismo antes indicado.

Una revisión de los datos indica que existe una incertidumbre de 2° aproximadamente en la operación de la máquina. Este valor obtenido se considera en la práctica como de suficiente precisión para los fines productivos de la empresa. También confirma que el control ON-OFF opera adecuadamente con una suficiente precisión.

**Tabla 4.5.2.**

**Toma de datos ángulo de doblado modo automático**

Modo automático	
Ángulo deseado	Ángulo doblado
30°	32°
45°	47°
60°	61°
70°	72°
90°	90°

**Fuente:** elaboración propia

Se observa los datos que se obtuvieron en la dobladora automatizada, tanto en su modo manual como en su modo automático. El sistema logró obtener el mismo ángulo de dobles en ambos modos de funcionamiento, debido a que en modo manual se pone un rango de seguridad para no superar el ángulo deseado y en modo automático, mediante el encoder, se obtiene el ángulo deseado.

#### 4.6. Análisis de resultados

Para evaluar el desempeño obtenido en el funcionamiento de la máquina se puede considerar utilizar el **error cuadrático medio (ECM)**. En estadística, el ECM es un estimador del riesgo o fidelidad de un modelo, siendo el promedio de los errores al cuadrado. Su definición matemática es la Ecuación 4.6.1 (Wikipedia, 2017).

$$ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2$$

**Ecuación 4.6.1.** Error cuadrático medio definición

Al aplicar la ecuación del error cuadrático medio a los datos de las Tabla 4.5.1 y Tabla 4.5.2, se obtiene un ECM de 2.6 para el modo automático y un valor de 6.2 para el modo manual como queda expresado en la Tabla 4.6.1.

**Tabla 4.6.1**

**ECM de la máquina**

Modo de Operación	ECM
Modo automático	2.6
Modo manual	6.2

**Fuente:** elaboración propia.

Como se puede evidenciar la operación en modo automático es más precisa que la operación en modo manual. Sin embargo, debe considerarse que la operación en manual da libertad al usuario de ajustar el ángulo final según sus criterios. Dado que la variación se estima suficientemente pequeña para el caso analizado se concluye que la máquina realiza el doblado de las barras con suficiente precisión.

## CONCLUSIONES

- La presente tesis realiza el diseño e implementación de un sistema automático para el doblado de barras de cobre de la empresa INASEL. Para llevarlo a cabo se utilizó un PLC de la marca SIEMENS modelo S7-1200 como controlador lógico programable, un panel táctil de la marca SIEMENS modelo KTP600 para la interfaz hombre-máquina y un encoder HANYUNG el cual es el elemento de medición del desplazamiento angular de la barra de cobre.
- La tecnología utilizada en este proyecto de control fue de tipo on-off la cual se basa en un algoritmo de control que es capaz de doblar la barra de cobre al ángulo deseado y de manera replicable.
- Luego de un análisis se identificó los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos de protección, seguridad, control, sensado que permita desarrollar la automatización de la maquina dobladora de barras de cobre.
- Para el desarrollo de la programación del PLC S7-1200 se utilizó el *software* TIA PORTAL, el cual permite elaborar una interfaz amigable basada en gráficos, por ello el manejo del sistema es de fácil aprendizaje para el personal lo que permite gran acogida en el área de ensamblaje.
- En cuanto al sistema de acople mecánico es una pieza fundamental del diseño de automatización de la presente máquina ya que permite transmitir el movimiento sin mayores perturbaciones al eje del encoder. Si esta pieza funcionara inadecuadamente, el sistema de control perdería fidelidad, pero las pruebas y el uso de la máquina dobladora de barras de cobre demuestran que la integración de los distintos sistemas por medio del programa de control escrito en el PLC S7-1200 ha demostrado ser eficaz y preciso.
- De igual manera se integró un panel táctil KTP600 con un diseño versátil de fácil comprensión para el operador, que permita al interfaz HMI configurar en tiempo real parámetros de funcionamiento de la máquina.
- Se direcciono las variables HMI de los pulsadores programados en el panel táctil KTP600 para que el PLC S7-1200 reciba órdenes de encendido, apagado e ingreso del ángulo a doblar por parte del operador.

- Para el desarrollo de la programación se utilizó el PLC S7-1200 el cual permite establecer una interfaz lógica entre la máquina y el operario, este cumple con los requerimientos del proyecto que es el doblado de barras de cobre.
- La construcción del sistema automatizado para el control del doblado de barras de cobre se basa en estándares de control industrial con equipos eléctricos y electrónicos de fuerza y control apropiados que permiten el correcto funcionamiento de la máquina dobladora de barras de cobre.
- Las pruebas de funcionamiento realizadas al sistema en el Capítulo 4.5 indican que el mismo opera con un nivel de precisión suficiente para las necesidades actuales de la empresa INASEL. En cuanto a la operatividad del proceso de doblado de barras de cobre, la empresa manifiesta una mayor producción ya que al estar automatizado el proceso y disponer de una suficiente precisión en el mismo se pueden hacer producciones en serie de barras para los tableros eléctricos. Por tanto, se pudo cumplir con el objetivo.

## RECOMENDACIONES

- El sistema presentado en esta tesis es susceptible de mejoras. Entre las que se deben señalar un monitoreo del alineamiento de la pieza mecánica que transmite el desplazamiento angular de la barra de cobre al eje del encoder ya que se debe precautelar la larga vida del elemento sensor, por lo que pueden existir mejoras mecánicas para la transmisión del movimiento de la barra al sensor.
- Por otro lado, la precisión obtenida en los experimentos para el modo automático fue de 2.6 grados. Realizando un cambio en el actuador de la bomba hidráulica se podría optimizar y disminuir más el error de doblado considerando por ejemplo, en vez del desplazamiento angular, la variable velocidad angular. Esto nos daría un error de posición menor, pero también exigirá la implementación de un regular PID cuando menos. Este cambio en la actuación sobre la bomba hidráulica se puede lograr ya sea variando la velocidad de la misma o restringiendo por fricción con una servoválvula el fluido hidráulico.
- Al sistema automatizado de doblado de barras de cobre, también se le puede añadir un sensor de presión para controlar la fuerza del pistón con ello obtendremos un control total del proceso.
- Finalmente se recomienda que el sistema opera en un entorno limpio libre de obstáculos y que disponga de un mantenimiento preventivo según el nivel de uso. Este deberá ser de cada 6 meses si su uso es diario. En casos de menor frecuencia de uso, cada año. El proceso de mantenimiento es mecánico incluyendo reajuste de piezas, verificación de nivel de aceite, cambio de empaques y limpieza profunda.

## REFERENCIAS

- AliExpress. (2014). 4mm Stroke 220V 55N Suction AC Wet Valve Solenoid MFB1 5.5YC-in Switches from Home Improvement on Aliexpress.com | Alibaba Group. Retrieved September 3, 2018, from <https://www.aliexpress.com/item/4mm-Stroke-220V-55N-Suction-AC-Wet-Valve-Solenoid-MFB1-5-5YC/1836693671.html>
- Bartelt, T. L. M. (2006). *Industrial control electronics : devices, systems, and applications*. Thomson Delmar Learning.
- Danfoss. (2015). *Manual del usuario de válvulas solenoides*. Retrieved from [http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/04/IC.PS.600.A8.05\\_RJA.pdf](http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/04/IC.PS.600.A8.05_RJA.pdf)
- Daukaev, K., Rassolkin, A., Kallaste, A., Vaimann, T., & Belahcen, A. (2017). A review of electrical machine design processes from the standpoint of software selection. In *2017 IEEE 58th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RTUCON.2017.8124818>
- Electricas BC. (2010). *Ratings Specification HE series INSTRUCTION MANUAL*. Retrieved from <http://www.electricasbc.com/pdf/HE50.pdf>
- Gong, C. (2009). Human-computer interaction: The usability test methods and design principles in the human-computer interface design. In *2009 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology* (pp. 283–285). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCSIT.2009.5234724>
- Hung, J. C. (n.d.). Practical industrial control techniques. *Proceedings of IECON'94 - 20th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, 1*, P7-14. <https://doi.org/10.1109/IECON.1994.397758>
- Juan Luis Hernández. (2018). Máquinas de Corriente Continua. Retrieved August 30, 2018, from <http://www.tuveras.com/maquinascc/estructura.htm>
- Kuo, B. C., & Aranda Pérez, J. G. (1996). *Sistemas de control automático*. Prentice Hall Hispanoamericana. Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=GyWr6cT8SEsC&oi=fnd&pg=PR19&dq=kuo+sistemas+de+control&ots=M4T-QYgUCq&sig=MB-ubFFyqQ-aVaUNKSI579Mdw2s#v=onepage&q=kuo sistemas de control&f=false>
- mcbtec. (2008). *EL ENCODER*. Retrieved from [www.mcbtec.com](http://www.mcbtec.com)
- Siemens. (2015). *Engineered with TIA Portal Efficient to a new level*. Retrieved from [www.siemens.com/hmi-success-stories](http://www.siemens.com/hmi-success-stories)
- SIEMENS. (2009). *S7 Controlador programable S7-1200*. Retrieved from <http://www.siemens.com/automation/support-request>
- Tutorialspoint. (n.d.). UML - Activity Diagrams. Retrieved August 31, 2018, from [https://www.tutorialspoint.com/uml/uml\\_activity\\_diagram.htm](https://www.tutorialspoint.com/uml/uml_activity_diagram.htm)



- Vasco, U. del P. (2001). PLC. Retrieved August 30, 2018, from [http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA\\_PRINCIPAL/PLC/plc.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA_PRINCIPAL/PLC/plc.htm)
- Wikipedia. (2017). Error cuadrático medio. Retrieved August 31, 2018, from [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Error\\_cuadrático\\_medio&oldid=101361600](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Error_cuadrático_medio&oldid=101361600)
- Wikipedia. (2018a). Embutición - Wikipedia, la enciclopedia libre. Retrieved September 3, 2018, from <https://es.wikipedia.org/wiki/Embutición>
- Wikipedia. (2018b). Lenguaje unificado de modelado. Retrieved August 31, 2018, from [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Lenguaje\\_unificado\\_de\\_modelado&oldid=109996598](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Lenguaje_unificado_de_modelado&oldid=109996598)
- Wikipedia. (2018c). Metodología.
- Zhejiang Yitong Machinery & Electronics Co., L. (2017). YL Single Phase Induction Motor (YL90S) for sale – Electric motor manufacturer from china (95208108). Retrieved August 30, 2018, from <http://axial8.sell.everychina.com/p-95208108-yl-single-phase-induction-motor-yl90s.html>

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

Autoperforante.- Es un tipo de tornillo que a medida que avanza, crea su propio orificio. Son útiles, sobre todo, para fijaciones en metal.

Angular.- Relativo al ángulo, parte del plano limitada por dos semirrectas que tienen el origen en común.

Bobina.- Conjunto de un número variable de espigas de material conductor arrolladas al aire o a un núcleo prismático o cilíndrico. Se utiliza principalmente en circuitos de corrientes alternas de alta tensión al aprovechar los fenómenos de inducción.

Canaleta.- Canal utilizado en tableros eléctricos que tiene una tapa móvil para colocar el cableado.

Codificador.- Circuito lógico que convierte la representación de un número de un código en otro. Generalmente el primero está en el sistema par decimal y el segundo en binario.

Cortocircuito.- Fallo en un aparato o línea eléctrica por la cual la corriente eléctrica pasa directamente del conductor activo o fase al neutro o tierra.

Deflexión.- En análisis estructural, la deflexión hace referencia al grado en el que un elemento estructural se deforma bajo la aplicación de fuerza.

Desfasado.- Que está fuera de fase.

Duralon.- Es un teconopolímero (Nylon de alto peso molecular) producido con moderna tecnología Suiza denominada **polimerización en bloque (monomer casting)** y está disponible en forma de barras de diferentes medidas y diámetros

Hidráulica.- Parte de la física que estudia el equilibrio y el movimiento de los fluidos, en función de sus aplicaciones técnicas.

HMI.- Human Machine Interface: se usa para referirse a la interacción entre humanos y máquina, aplicable a sistemas de automatización de procesos.

Impulsos.- Magnitud física generalmente representada como (I), definida como la variación en la cantidad de movimiento que experimenta un objeto en un sistema cerrado.

Interfaz gráfica.- Programa que actúa de interfaz de usuario, utilizando un conjunto de imágenes u objetos gráficos.

Pistón hidráulico.- Los cilindros hidráulicos obtienen la energía de un fluido hidráulico presurizado, que es típicamente algún tipo de aceite. El cilindro hidráulico consiste básicamente en dos piezas: un cilindro barril y un pistón o émbolo móvil conectado a un vástago.

PLC.- Controlador Lógico Programable: dispositivo que mediante un programa lógico de contactos, realiza múltiples actividades.

Señal analógica.- Señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético y que es responsable por una función matemática continua en la que es variable su amplitud y periodo.

Señal digital.- Señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético en que cada signo que codifica el contenido de la misma puede ser analizado en término de algunas magnitudes que representan valores discretos, en lugar de valores dentro de un cierto rango.

Sobretensión.- Exceso circunstancial sobre la tensión normal.

# ANEXOS

## Anexo 1 Hoja técnica PLC S7 1200

© Siemens AG 2009

### SIMATIC S7-1200 Módulos centrales

CPU 1212C

#### Síntesis



- La solución compacta superior
- Con 14 entradas/salidas integradas
- Ampliable con:
  - 1 Signal Board (SB)
  - 2 Signal Modules (SM)
  - máx. 3 módulos de comunicaciones (CM)

2

#### Diseño

La CPU compacta 1212C dispone de:

- 3 variantes con distintas tensiones de alimentación y mando.
- Fuente de alimentación integrada, a elegir con entrada de corriente alterna de rango amplio o de continua (85 ... 264 V AC o 24 V DC).
- Fuente de alimentación integrada de 24 V para sensores/carga:  
Permite conectar directamente sensores y encoders. Con una intensidad de salida de 300 mA también sirve para alimentar la carga.
- 8 entradas digitales integradas de 24 V DC (sumidero/fuente (IEC tipo 1, sumidero)).
- 6 salidas digitales integradas, a elegir entre 24 V DC o relé.
- 2 entradas analógicas integradas 0 ... 10 V.
- 2 salidas de impulsos (PTO) con una frecuencia hasta de 100 kHz.
- Salidas con modulación de ancho de impulsos (PWM) con una frecuencia hasta de 100 kHz.
- Interfaz Ethernet integrada (TCP/IP nativa, ISO-on-TCP).
- 4 contadores rápidos (3 con máx. 100 kHz; 1 con máx. 30 kHz), con entrada parametrizable para habilitación y reset, simultáneamente pueden funcionar como contadores hacia adelante y hacia atrás con 2 entradas separadas o para conectar encoders incrementales.
- Ampliación con interfaces de comunicación adicionales, p. ej., RS485 o RS232.
- Ampliación con señales analógicas o digitales directamente en la CPU mediante Signal Board (respetando la dimensión de montaje de la CPU).
- Ampliación con numerosas señales de entrada y salida analógicas y digitales mediante Signal Modules.
- Ampliación opcional de la memoria (SIMATIC Memory Card).
- Regulador PID con funcionalidad de autoajuste.
- Reloj de tiempo real integrado.
- Entradas de alarma:  
Para reacciones extremadamente rápidas y flancos ascendentes o descendentes de señales de proceso.
- Bornes desmontables en todos los módulos.
- Simulador (opcional):  
para simular las entradas integradas y probar el programa de usuario.

#### Variantes de equipos

Variante	Tensión de alimentación	Tensión de entrada DI	Tensión de salida DO	Intensidad de salida
• DC/DC/DC	24 V DC	24 V DC	24 V DC	0,5 A, transistor
• DC/DC/relé	24 V DC	24 V DC	5 ... 30 V DC / 5 ... 250 V AC	2 A; 30 vatios DC / 200 vatios AC
• AC/DC/relé	85 ... 264 V AC	24 V DC	5 ... 30 V DC / 5 ... 250 V AC	2 A; 30 vatios DC / 200 vatios AC

# SIMATIC S7-1200

## Módulos centrales

### CPU 1212C

2

#### Funciones

- Amplio juego de instrucciones:
  - Multitud de operaciones que facilitan la programación:
    - operaciones básicas tales como funciones lógicas, asignación de resultados, memorización, conteo, formación de tiempos, carga, transferencia, comparación, desplazamiento, rotación, formación de complementos, llamada a subprogramas (con variables locales),
    - comandos de comunicación integrados (p. ej., protocolo USS, Modbus RTU, comunicación S7, "T-Send/T-Receive" o Freeport),
    - cómodas funciones como modulación de ancho de impulsos, trenes de impulsos, funciones aritméticas, aritmética en coma flotante, regulación PID, funciones de salto y bucle y conversión de códigos,
    - funciones matemáticas, p. ej., SIN, COS, TAN, LN, EXP.
- Contaje:
  - Confortables funciones de contaje en combinación con contadores integrados y comandos especiales para contadores de alta velocidad (High Speed Counter) que ofrecen al usuario nuevos campos de aplicación.
- Ejecución controlada por alarmas:
  - las alarmas (interrupciones) activadas por flancos (disparadas por la subida o bajada de los flancos de las señales del proceso en entradas de alarma) posibilitan una reacción muy rápida ante los eventos del proceso .

- alarmas controladas por tiempo.
- al alcanzarse un valor fijado o al cambiar la dirección de conteo pueden lanzarse interrupciones de contador.
- las alarmas de comunicación proporcionan un intercambio de información rápido y sencillo con unidades periféricas, p. ej., impresoras o lectores de códigos de barras.

- Protección por contraseña
- Funciones de prueba y diagnóstico:
  - Cómodas funciones que asisten en las pruebas y diagnósticos, p. ej., el diagnóstico online/offline.
- "Forzado permanente" de entradas y salidas en régimen de prueba y diagnóstico:
  - Las entradas y salidas pueden forzarse independientemente del ciclo y con ello de forma permanente para probar, p. ej., el programa de usuario.
- Motion Control según PLCopen para un guiado sencillo del movimiento.
- Funcionalidad de librería

#### Programación

El paquete de programas STEP 7 Basic permite la completa programación de todos los controladores S7-1200 y su correspondiente periferia.

#### Datos técnicos

	6ES7 212-1BD30-0XB0	6ES7 212-1AD30-0XB0	6ES7 212-1HD30-0XB0
Nombre del producto	CPU 1212C AC/DC/relé	CPU 1212C DC/DC/DC	CPU 1212C DC/DC/relé
<b>Versión</b>			
Paquete de programas correspondiente	STEP 7 Basic V 10.5	STEP 7 Basic V 10.5	STEP 7 Basic V 10.5
<b>Tensiones de alimentación</b>			
Valor nominal		SI	SI
• 24 V DC			
• 120 V AC	SI		
• 230 V AC	SI		
• Rango admisible, límite inferior (DC)		20,4 V	20,4 V
• Rango admisible, límite superior (DC)		28,8 V	28,8 V
• Rango admisible, límite inferior (AC)	85 V		
• Rango admisible, límite superior (AC)	264 V		
• Rango admisible de frecuencias, límite inferior	47 Hz		
• Rango admisible de frecuencias, límite superior	63 Hz		
<b>Tensión de carga L+</b>			
• Valor nominal (DC)	24 V	24 V	24 V
• Rango admisible, límite inferior (DC)	5 V	20,4 V	5 V
• Rango admisible, límite superior (DC)	250 V	28,8 V	250 V

## Anexo 2 Hoja técnica panel KTP600

# SIEMENS

Data sheet

6AV6647-0AC11-3AX0

SIMATIC HMI KTP600 BASIC COLOR DP, BASIC PANEL, KEY AND TOUCH OPERATION, 6" TFT DISPLAY, 256 COLORS, MPI/PROFIBUS DP INTERFACE, CONFIGURATION FROM WINCC FLEXIBLE 2008 SP2 COMPACT/ WINCC BASIC V11/ STEP7 BASIC V11, CONTAINS OPEN SOURCE SW WHICH IS PROVIDED FREE OF CHARGE FOR DETAILS SEE CD



General information	
Product type designation	KTP600 Basic color DP
Display	
Design of display	TFT
Screen diagonal	5.7 in
Display width	115.2 mm
Display height	86.4 mm
Number of colors	256
Resolution (pixels)	
• Horizontal image resolution	320 Pixel
• Vertical image resolution	240 Pixel
Backlighting	
• MTBF backlighting (at 25 °C)	50 000 h
• Backlight dimmable	No
Control elements	
Keyboard fonts	
• Function keys	
— Number of function keys	6

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keys with LED</li> </ul>	No
<ul style="list-style-type: none"> <li>• System keys</li> </ul>	No
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Numeric keyboard</li> </ul>	Yes; Onscreen keyboard
<ul style="list-style-type: none"> <li>• alphanumeric keyboard</li> </ul>	Yes; Onscreen keyboard
<b>Touch operation</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Design as touch screen</li> </ul>	Yes
<b>Installation type/mounting</b>	
Mounting position	vertical
Mounting in portrait format possible	Yes
Mounting in landscape format possible	Yes
maximum permissible angle of inclination without external ventilation	35°
<b>Supply voltage</b>	
Type of supply voltage	DC
Rated value (DC)	24 V
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
<b>Input current</b>	
Current consumption (rated value)	0.35 A
Starting current inrush $I_t$	0.5 A <sup>2</sup> ·s
<b>Power</b>	
Active power input, typ.	9 W
<b>Processor</b>	
Processor type	RISC 32-bit
<b>Memory</b>	
Flash	Yes
RAM	Yes
Memory available for user data	1 Mbyte
<b>Type of output</b>	
Acoustics	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buzzer</li> </ul>	Yes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Speaker</li> </ul>	No
<b>Time of day</b>	
<b>Clock</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hardware clock (real-time)</li> </ul>	No
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software clock</li> </ul>	Yes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• retentive</li> </ul>	No
<ul style="list-style-type: none"> <li>• synchronizable</li> </ul>	Yes
<b>Interfaces</b>	



# Anexo 3 Hoja técnica encoder HANYOUNG

MI0115E080616

Rotary Encoder

## HE series

### INSTRUCTION MANUAL

Thank you for purchasing HANYOUNG product. Please check whether the product is the exactly same as you ordered. Before using the product, please read this instruction manual carefully.

#### MAIN PRODUCTS

- DIGITAL : Temperature Controller, Counter, Timer, Speedmeter, Tachometer, Panel Meter, Recorder
- SENSOR : Proximity Sensor/Photo Electric Sensor, Rotary Encoder, Optical Fiber Sensor, Pressure Sensor
- ANALOG : Timer, Temperature Controller

#### HEAD OFFICE

1381-3, Juan-Dong, Nam-Gu Incheon, Korea  
TEL: (82-32)876-4697 FAX: (82-32)876-4696

HANYOUNG nux



## ■ Safety information

### ⚠ CAUTION

1. Before using the product you purchased, make sure that it is exactly what you ordered.
2. Make sure that there is no damage or abnormality of the product during the delivery.
3. The transmitter for measuring the length is composed of precision parts, so can easily be damaged with external impact, therefore handle with care.
4. The shield wire of the transmitter for length measurement is not connected to the case.
5. When the product gets wet, the inspection is essential because there is danger of an electric leakage or fire.
6. For the continuous and safe use of this product, the periodical maintenance is recommended.
7. If you use the product with methods other than specified by the manufacturer, there may be bodily injuries or property damages.

### ■ On Mega Test

An internal pressure of 500V DC exists between the Case and the electric circuit, however, there are dangers of damage the electrical circuit if voltage is applied accidentally, so do not perform mega tests.

### ■ On Installation

1. During installation, do not apply impact on or twist the shaft of the transmitter for length measurement.
2. During installation, do not apply excessive force when combining the shaft of transmitter for length measurement and the instrument.
3. During installation, take caution because the life span of the transmitter for length measurement is dependent on the usage condition and the environment.
4. Do not decompose, modify, revise or repair this product. This may be a cause of malfunction, electric shock or fire.
5. Reassemble this product while the power is OFF. Otherwise, it may be a cause of malfunction or electric shock.

### ■ About Wiring

1. Separate an input signal cable from an output signal cable. If separating is not possible, please use the input signal cable after shielding it.
2. If there is excessive noise from the power supply, using insulating transformer and noise filter is recommended.
3. Do not connect anything to the unused terminals.
4. After checking the polarity of terminal, connect wires at the correct position.
5. As for wiring, ensure they are as short as possible.
6. Having the same pipe for wiring of the transmitter for length measurement with the power line or an identical connection could cause malfunction, therefore please take caution.
7. Wrong connection of the wiring of transmitter for length measurement may damage the internal circuit. Please take sufficient caution.

### ■ About vibration

1. If intense vibration or impact is applied on the transmitter for length measurement, the wrong pulse is generated causing malfunction, therefore, absolute care is necessary when selecting the installation and disposition location.
2. As much as the amount of pulse per cycle, the slit gap of rotation slit is narrower, therefore can be easily affected by vibration, and the vibration applied during slow rotation or when stationary, may get transmitted to the shaft or the main body, causing wrong pulse generation, therefore, please take caution. The vibration applied to the transmitter for length measurement can become a cause for wrong pulse generation, so please take caution in terms of installation location or location for attachment.

### ■ For noise prevention

Distance from control box	Wiring of Rotary Encoder
30 m Max.	As for Rotary Encoder Case, connect on the control board case by 3~5.5MM electric wire. For the 0 V terminal, connect on the control board case with identical type of electrical wire and earth it.
30 m Min.	Perform as indicated above, and earth the Rotary Encoder.

※ The caution on the safety stated above, must be kept, otherwise malfunction can be induced.

## ■ Ratings

HE40B	6	600	3	T	24	
Mode	Shaft external diameter	Pulse number per revolution	Phase type	Output type	Power voltage	Wire Specification
HE40B ø40 mm Shaft type	6: ø6 mm 8: ø8 mm (Option)	*1, 2, 5, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 40, 45, 50, 60, 75, 100, 120, 125, 150, 200, 240, 250, 300, 360, 400, 500, 512, 600	2: A, B 3: A, B, Z 3C: A, B, collector Z 4: A, B, B, B 6: A, B, B, B Z, Z (Standard: A, B, Z)	O: NPN Open collector N: NPN Voltage T: Totem pole L: Line driver (Line Drive: 5V d.c)	5: 5 V d.c 12: 12 V d.c (5-12 V d.c) 24: 24 V d.c (12-24 V d.c)	No mark Standard type C: Connector
HE50B ø50 mm Shaft type	8: ø8 mm	*1, 2, 5, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 40, 45, 50, 60, 75, 100, 120, 125, 150, 200, 240, 250, 300, 360, 400, 500, 512, 600				

※ \*\*\* mark: Only A, B phase can output (Line Drive output is A, B, B, B)

※ The item that is not in the above revolution is order made product

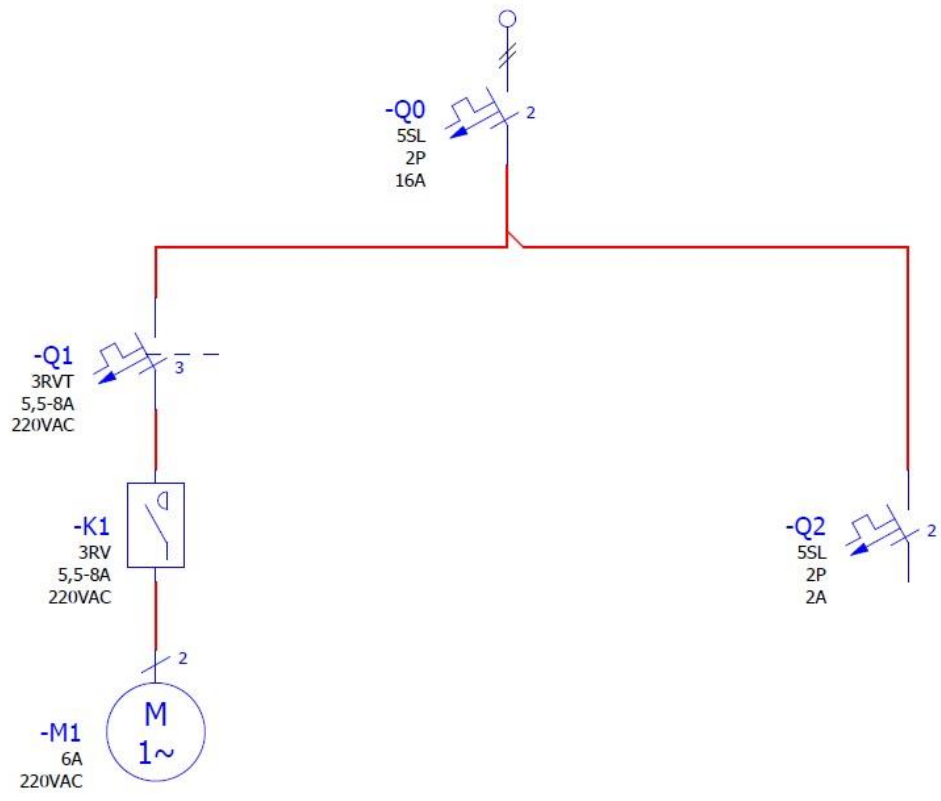
## ■ Specification

Mode	HE40B	HE50B	HE60B	HE80B
Output type	NPN Voltage output	NPN Open collector output	Totem Pole Output	Line Driver Output
Output type	A, B, Z phase			A, B, Z, A, B, Z phase
Phase difference on Output	Phase difference between A, B phase: T/4 ± T/8 (Cycle of A phase = T)			
Max Response Frequency	300 kHz			
Power voltage	5 - 12 V d.c / 12 - 24 V d.c ± 5%			5 V d.c ± 5%
Current Consumption	70 mA Max. (No-load) Line Drive output below 30 mA (No-load)			
Connection method	WIRE			
Control output	Load voltage : 30 V Max. Load Current : 30 mA Max. Residual Voltage : 0.4 V Max.		For Low Load Current: 30 mA Max. Residual Voltage: 0.4 V Max. For High Load Current: 10 mA Max. Residual Voltage: Above 0.25V of rated voltage	For Low Load Current: 20 mA Max. Residual Voltage: 0.4 V Max. For High Load Current: 20 mA Max. Residual Voltage: 2.5 V Max.
Response Time	1 μs Max. (Cable length 2.0 m / sink=30 mA)		1 μs Max. (Cable length 1.5 m / sink=10 mA)	1 μs Max. (Cable length 1.5 m / sink=30 mA)
Starting Torque	ø40 : 40 gf · cm (0.004 N · m Max.) ø50 : 80 gf · cm (0.008 N · m Max.)			
Moment of Inertia	ø40 : 40 g · cm <sup>2</sup> Max., ø50 : 80 g · cm <sup>2</sup> Max.			
Permissible Shaft Loading	ø40 : Radial : Within 2 kgf, Thrust : Within 1 kgf ø50 : Radial : Within 2.5 kgf, Thrust : Within 1.2 kgf			
Max. Permissible Revolution	5000 rpm			
Bearing Life	1.2 x 10 <sup>6</sup> /rpm · hour			
Insulation Resistance	Over 100 MΩ (Base on 500 V d.c mega between terminal and case)			
Dielectric strength	800 V a.c (Between terminal and case at 60Hz for 1 minute)			
Vibration Resistance	10-50Hz (Cycle for 1 minute), Double amplitude width: 15mm Each X-Y-Z direction for 2 hours			
Shock Resistance	ø40 : 50 G Max., ø50 : 75 G Max.			
Operating Ambient Temperature	-10 ~ 60 °C (Without condensation), Storage Temperature: -25 ~ 85 °C			
Operating Ambient Humidity	35 ~ 85 % R.H.			
Protection	Protection IP 50 (IEC Standard)			
Wire Specification	5 P, ø 5.0 mm, Length : 2.0 m, Shield cable (Line Driver Type : 8P, ø 5.0 mm, Length : 2.0 m, Shield cable)			
Weight	ø 40 : 170 g, ø 50 : 200 g			
Accessory	ø 8.0 mm Coupling, Bracket (ø40mm Bracket - Separate sales)			





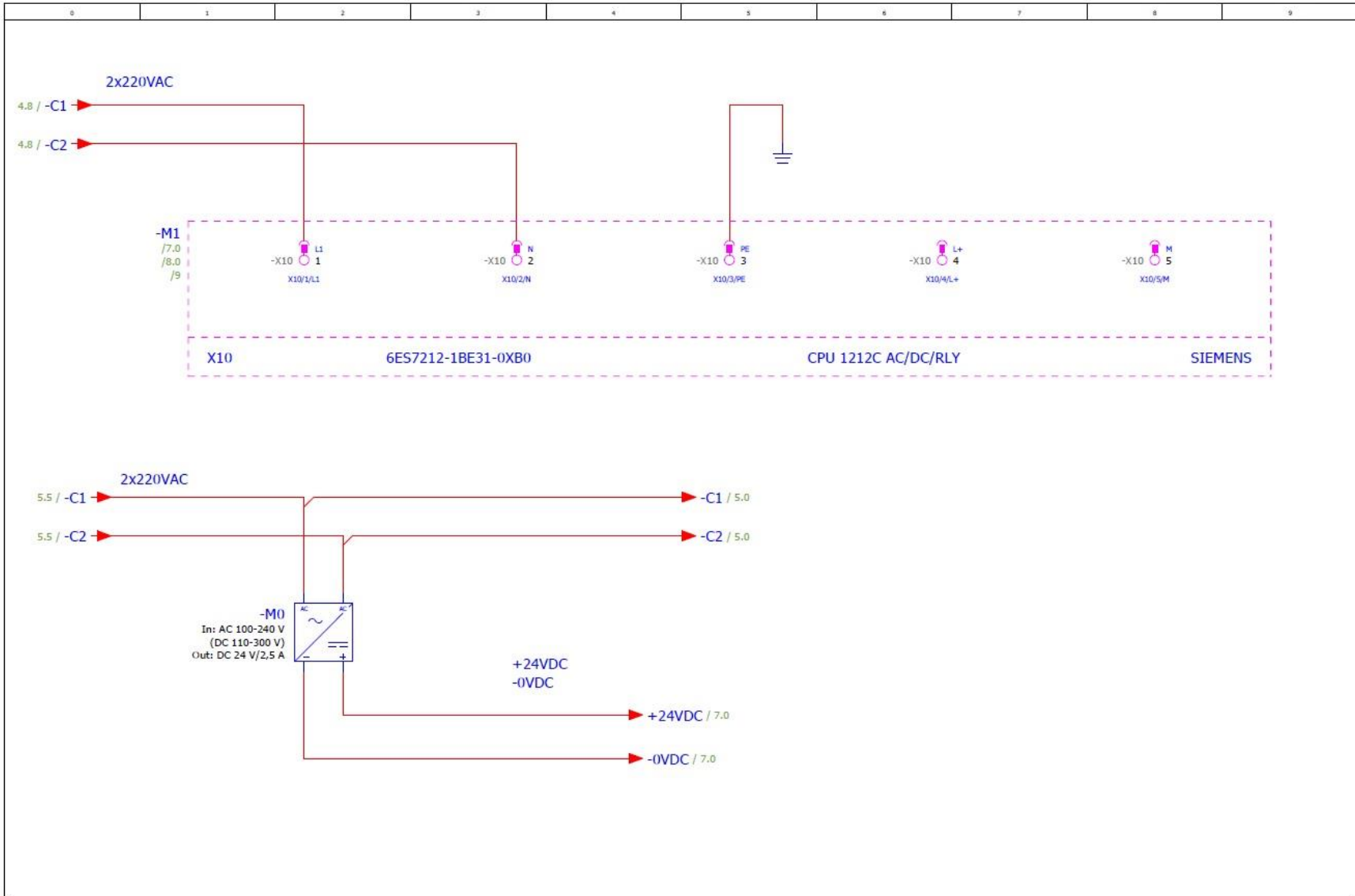
ALIMENTACIÓN PRINCIPAL  
2X220VAC + GND



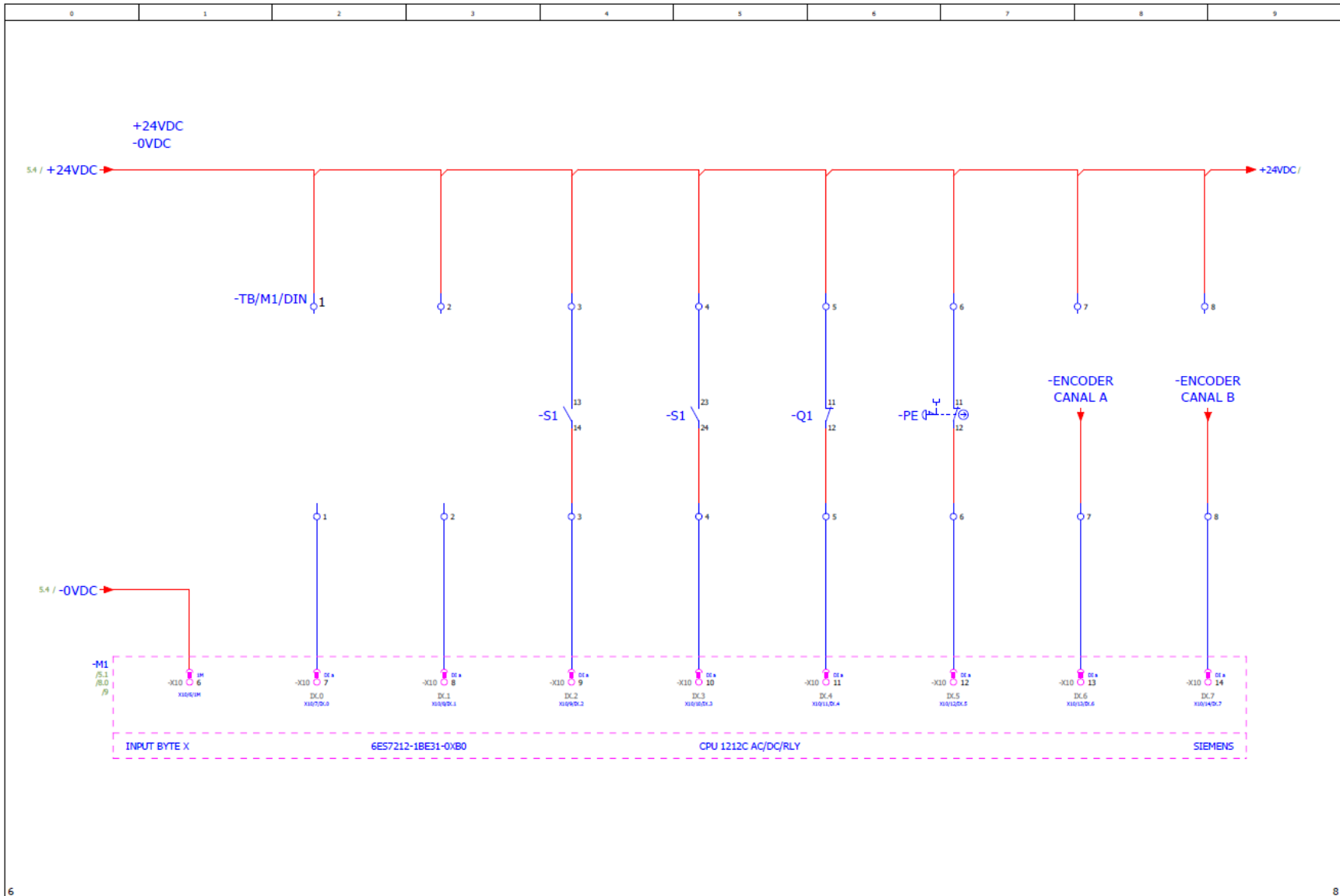
2

4

		Fecha	6/9/2018	CONTROL & INSTRUMENTACION					
		Resp.	SS	DOBLADORA AUTOMATICA DE BARRAS DE COBRE		INASEL		Anexo 4 Diagrama de alimentaci3n 220VAC	
		Probado		Sustituci3n por		Ca. Usa		704	
		Original		Sustituido por		Automatizando al pa3 del futuro		Haga 3	
Cambio	Fecha	Nombre	Original					Haga 10	



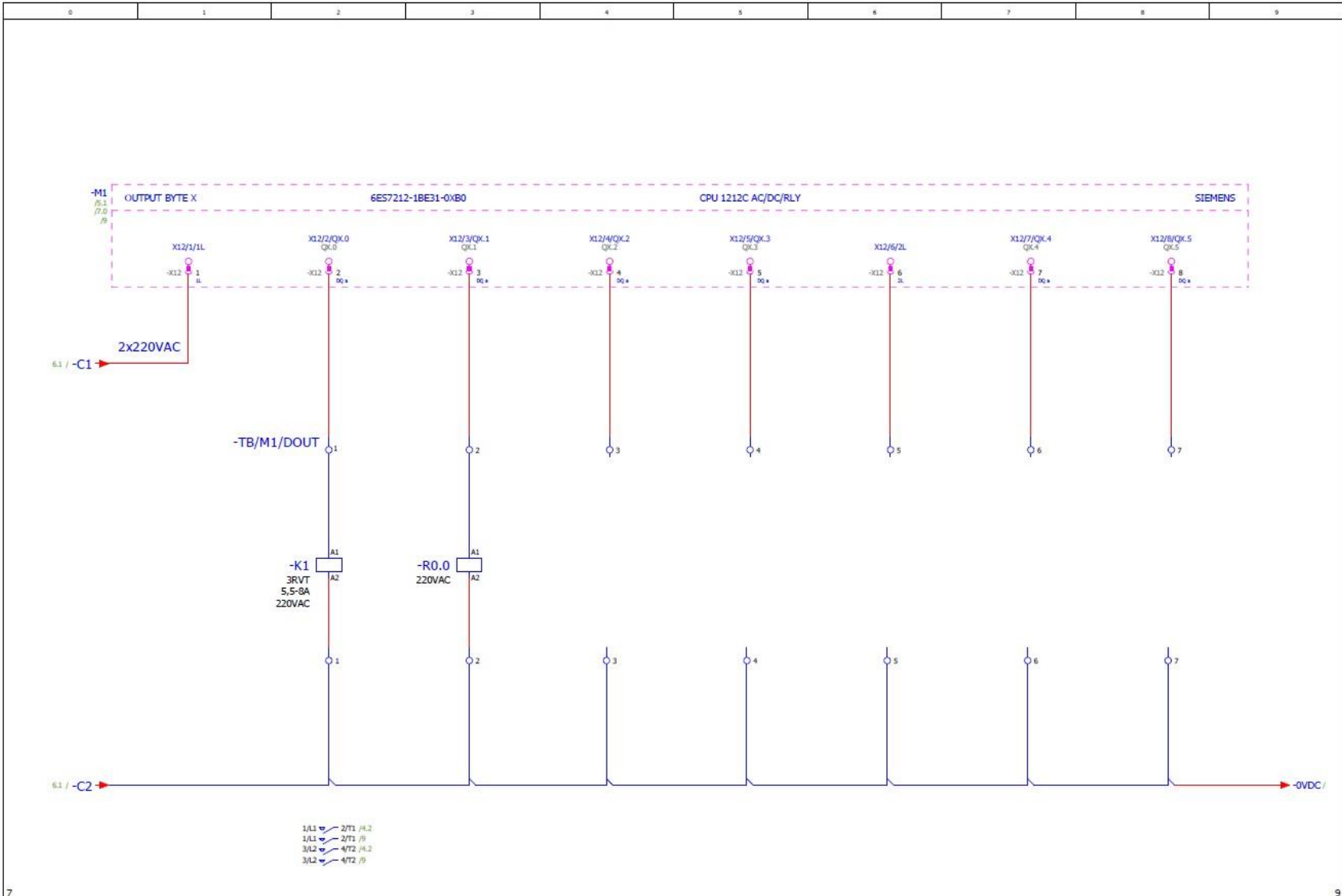
		Fecha	4/9/2018	CONTROL & INSTRUMENTACION		Anexo 5 Diagrama de alimentación PLC y fuente			
		Resp.	SS	DOBLADORA AUTOMATICA DE BARRAS DE COBRE		INASEL			
		Probad.		Sustitución por		Ca. 100			
		Original		Sustituido por		Automatizando al país del futuro			
Cambio	Fecha	Nombre	Original	Sustitución por	Sustituido por	784		Hoja	5
								Hoja	10



6		8	
Fecha	4/9/2018	CONTROL & INSTRUMENTACION	
Resp.	SS	DOBLADORA AUTOMATICA DE BARRAS DE COBRE	
Probador			
Original		Sustitución por	Sustituido por

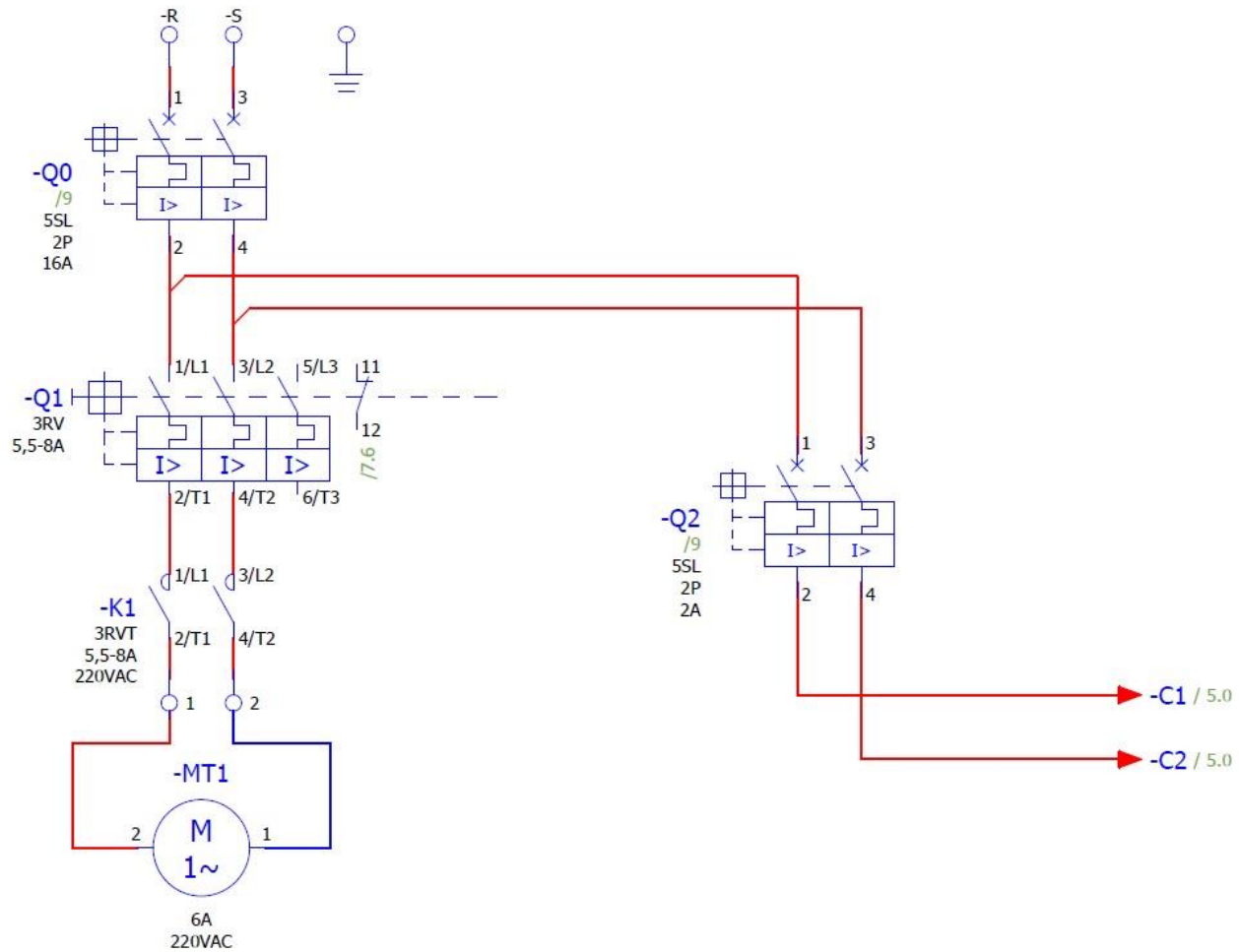


Anexo 6 Diagrama de entradas del PLC



		Fecha	9/8/2018	CONTROL & INSTRUMENTACION					
		Resp.	SS	DOBLADORA AUTOMATICA DE BARRAS DE COBRE		INASEL		Anexo 7 Diagrama de salida PLC	
		Probado		Sustitución por		Ca. Ltda		764	
Cambio	Fecha	Nombre	Original	Sustitución por		Autmatizando el país del futuro		Hoja 8	
								Hoja 10	

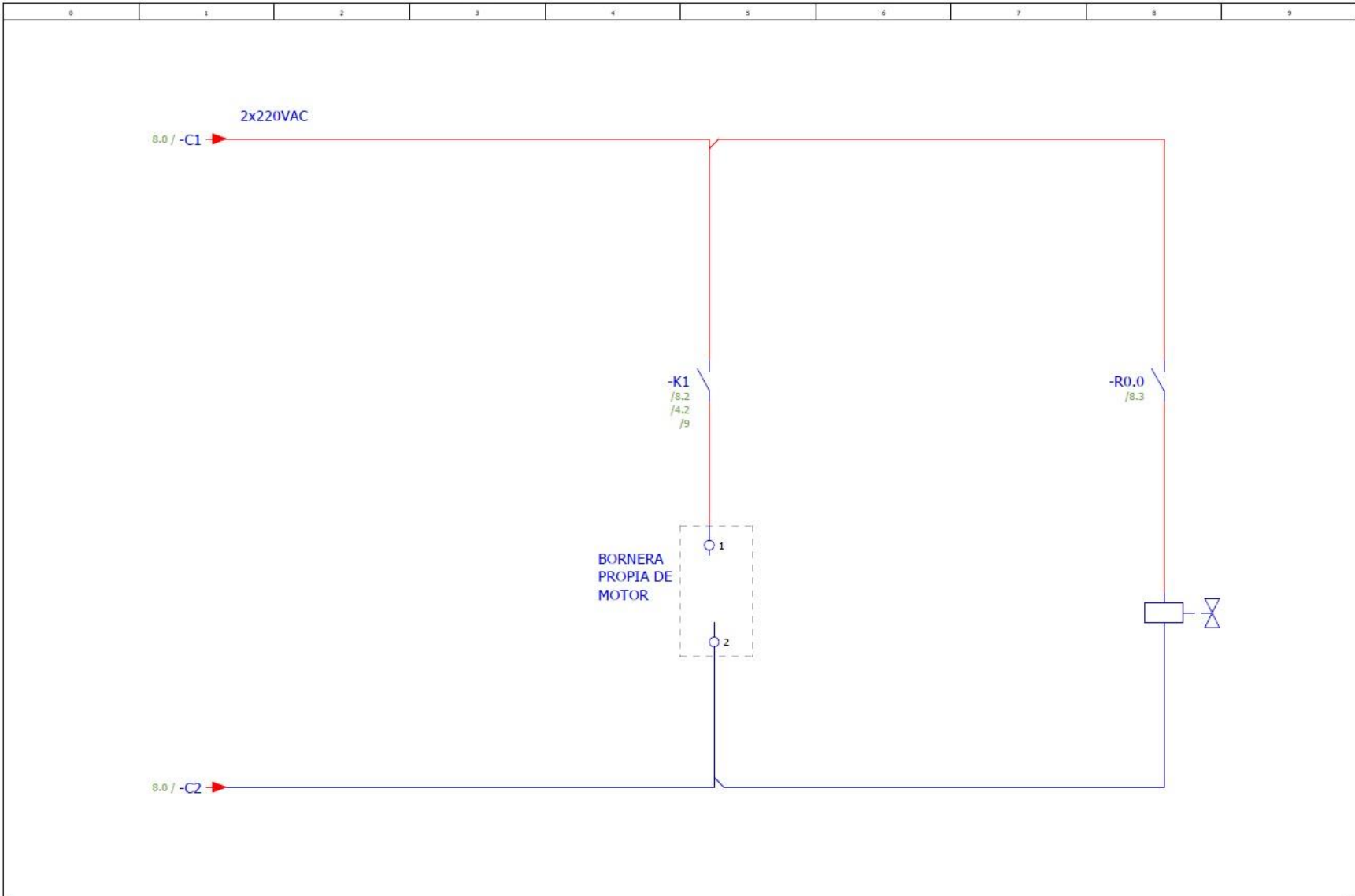
ALIMENTACIÓN PRINCIPAL  
2X220VAC + GND



3

5

		Fecha	4/9/2018	CONTROL & INSTRUMENTACION		INASEL		Anexo 8 Diagrama de fuerza			
		Rep.	SS	DOBLADORA AUTOMATICA DE BARRAS DE COBRE		Ca. 100					
		Probad.		Sustitución por		Automatizando el país del futuro					
Cambio	Fecha	Nombre	Original	Sustitución por		Sustituido por				784	Hoja 4
										Hoja 10	



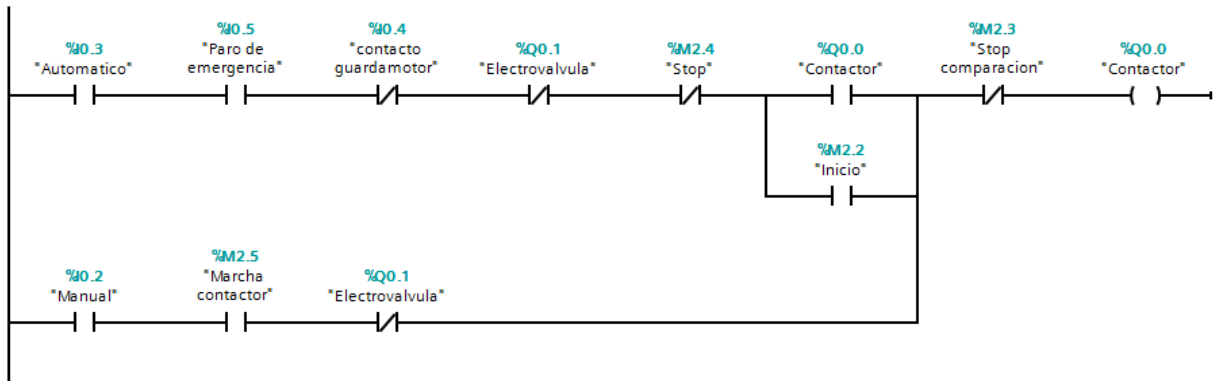
		Fecha	4/9/2018	CONTROL & INSTRUMENTACION					
		Resp.	SS	DOBLADORA AUTOMATICA DE BARRAS DE COBRE		Anexo 9 Diagrama de control contactos			
		Probado				784		Hija	6
Cambio	Fecha	Nombre	Original	Substitución por	Substituido por			Hija	10



# Anexo 10 Programa PLC

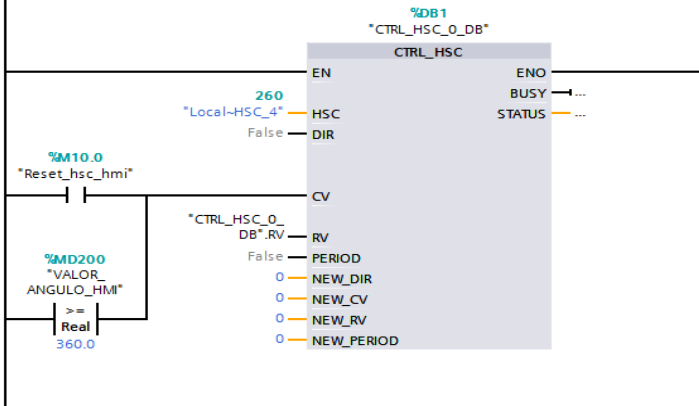
## Segmento 1: .....

Comentario



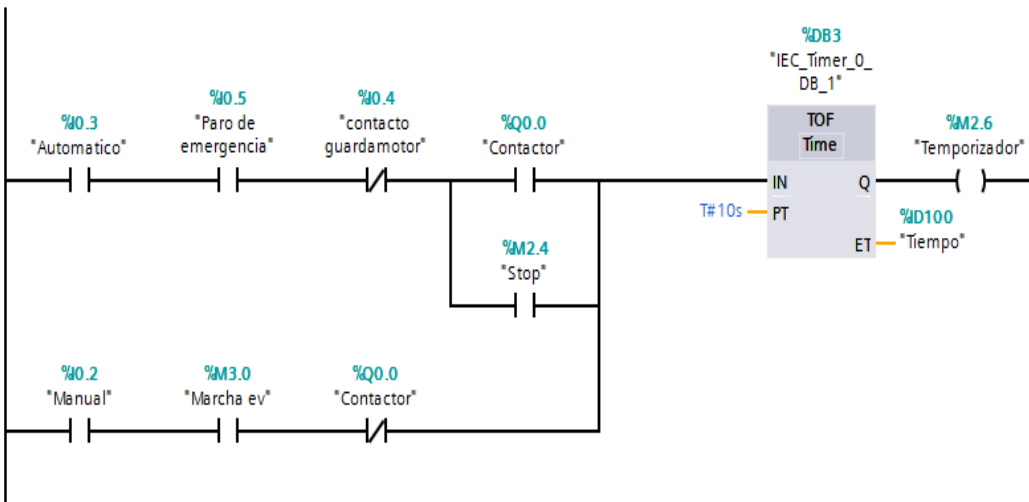
## Segmento 2: .....

Comentario



## Segmento 3: .....

Comentario





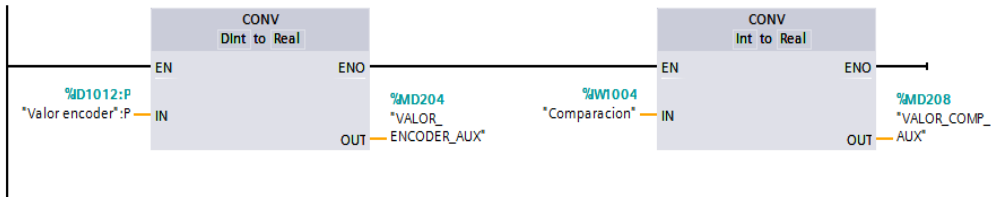
▼ Segmento 4: .....

Comentario



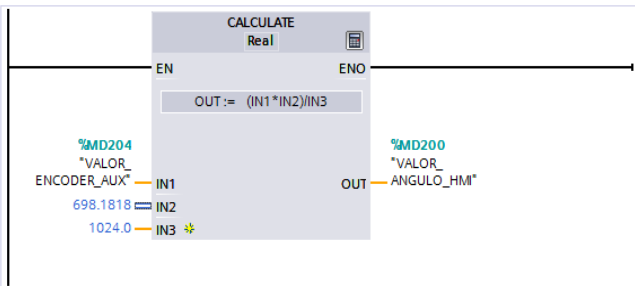
▼ Segmento 5: .....

Comentario



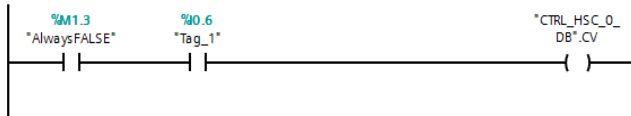
▼ Segmento 6: .....

Comentario



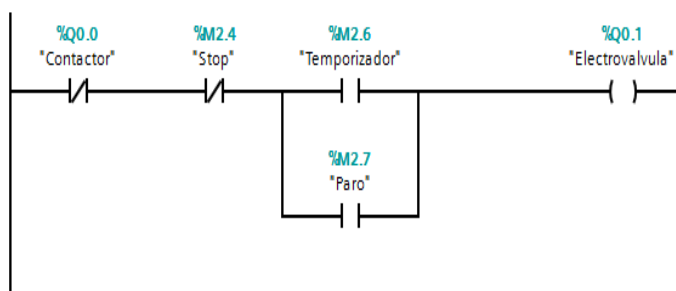
▼ Segmento 7: .....

Comentario



▼ Segmento 8: .....

Comentario















## Anexo 11 Cronograma de actividades

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	X
1	★	<b>Sistema Automatizado para el control del doblado de barras de cobre de la empresa INASEL CIA. LTDA.</b>	<b>338 días</b>	<b>mar 10/10/17</b>	<b>mié 12/09/18</b>	
2	★	<b>Investigacion del proyecto</b>	<b>22 días</b>	<b>mar 10/10/17</b>	<b>mar 31/10/17</b>	
3	★	investigar los equipos adecuados para el proyecto	5 días	mar 10/10/17	sáb 14/10/17	
4	★	investigar que tipos de encoder podremos utilizar	7 días	dom 15/10/17	sáb 21/10/17	
5	★	Investigar que tecnologia se va a utilizar para la automatizacion	4 días	dom 22/10/17	mié 25/10/17	
6	★	Desarrollo del Plan de tesis	3 días	jue 26/10/17	sáb 28/10/17	
7	★	Aprobacion del Plan de tesis	3 días	dom 29/10/17	mar 31/10/17	
8	★	<b>Desarrollo del capitulo 1 y 2-Construccion del proyecto</b>	<b>61 días</b>	<b>mié 01/11/17</b>	<b>dom 31/12/17</b>	
9	★	<b>Elaborar Capitulo 1</b>	<b>31 días</b>	<b>mié 01/11/17</b>	<b>vie 01/12/17</b>	
10	★	Bosquejo de distribucion de montaje de equipos	3 días	mié 01/11/17	vie 03/11/17	
11	★	Diseño de planos electricos	3 días	sáb 04/11/17	lun 06/11/17	
12	★	Cotizacion equipos	7 días	mar 07/11/17	lun 13/11/17	
13	★	Buscar acoples para encoder	9 días	mar 14/11/17	mié 22/11/17	
14	★	PI&D del proceso	4 días	jue 23/11/17	dom 26/11/17	
15	★	Estudio de funcionamiento manual automatico	5 días	lun 27/11/17	vie 01/12/17	
16	★	<b>Montaje tablero electrico-desarrollo del capitulo 2</b>	<b>30 días</b>	<b>lun 27/11/17</b>	<b>mar 26/12/17</b>	
17	★	Buscar opciones de movilidad del equipo	10 días	lun 27/11/17	mié 06/12/17	
18	★	Simulacion del programa	10 días	jue 07/12/17	sáb 16/12/17	
19	★	Correccion de fallas	10 días	dom 17/12/17	mar 26/12/17	
20	★	<b>Pruebas de funcionamiento-desarrollo del Capitulo 3</b>	<b>255 días</b>	<b>lun 01/01/18</b>	<b>mié 12/09/18</b>	
21	★	Programacion PLC S7-1200, pruebas de funcionamiento-desarrollo del Capitulo 3	24 días	lun 01/01/18	mié 24/01/18	
22	★	Diseñar la interfaz HMI en el panel tácil KTP600 -Presentar capitulo 3	15 días	lun 01/01/18	lun 15/01/18	
















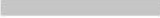



  

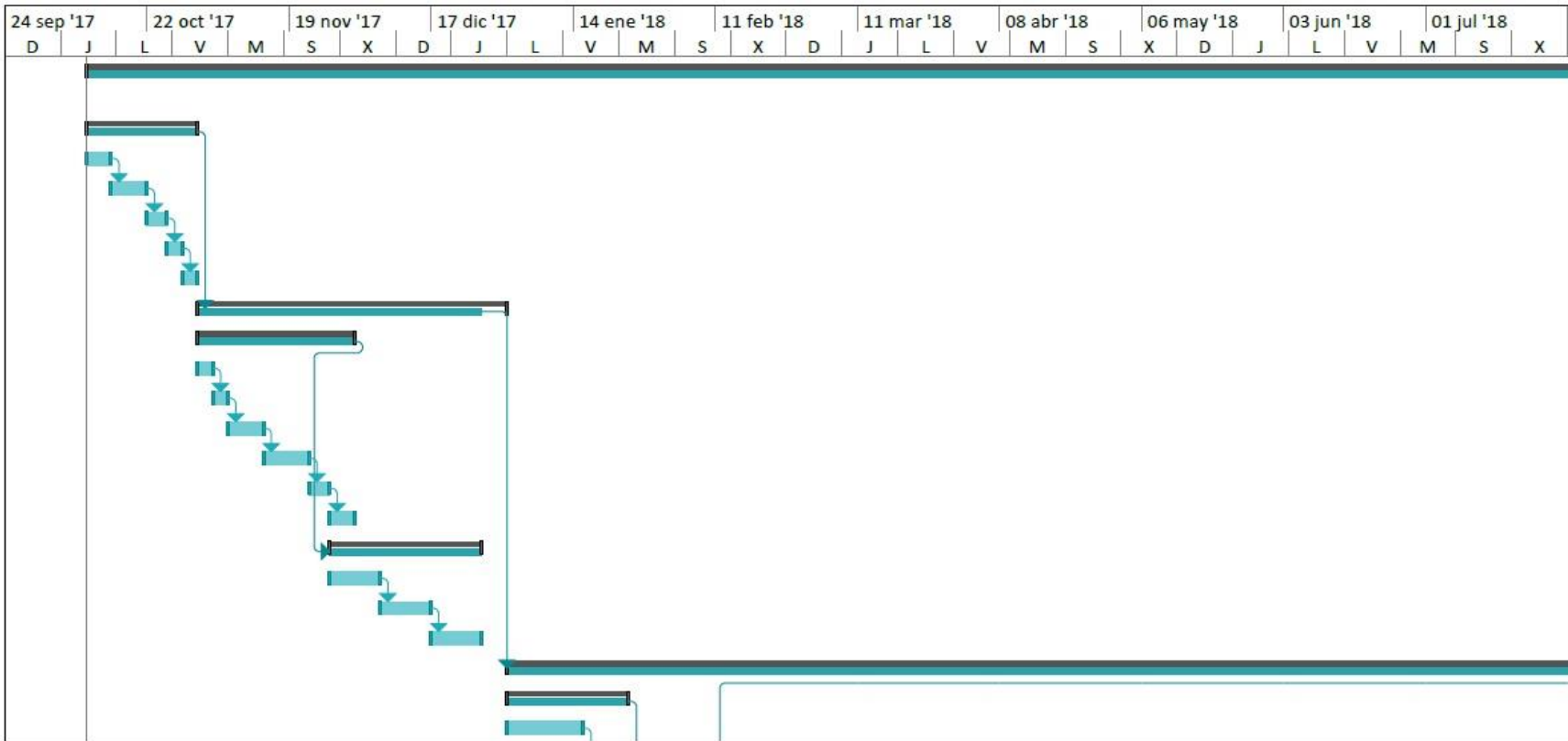
Proyecto: cronograma del proyec Fecha: vie 03/08/18	Tarea		Tarea inactiva		Sólo el comienzo	
	División		Hito inactivo		Sólo fin	
	Hito		Resumen inactivo		Fecha límite	
	Resumen		Tarea manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Sólo duración		Progreso manual	
	Tareas externas		Informe de resumen manual			
	Hito externo		Resumen manual			

Página 1

Id		Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	X
23			Conexión eléctrico de equipos-Aprobación Capítulo 3	4 días	mar 16/01/18	vie 19/01/18	
24			Pruebas de funcionamiento de la aplicación-Aprobación Capítulo 3	5 días	sáb 20/01/18	mié 24/01/18	
25			<b>Corrección de fallas de la máquina-corrección de capítulos elaboración capítulo 4</b>	<b>231 días</b>	<b>jue 25/01/18</b>	<b>mié 12/09/18</b>	
26			Acoplamiento de equipos a la estructura móvil	5 días	jue 25/01/18	lun 29/01/18	
27			Pruebas de funcionamiento- Correcciones del proyecto	5 días	mar 30/01/18	sáb 03/02/18	
28			Análisis de resultados	4 días	dom 04/02/18	mié 07/02/18	
29			Elaboración capítulo 4	177 días	jue 08/02/18	vie 03/08/18	
30			Finalización del trabajo escrito	214 días	dom 11/02/18	mié 12/09/18	
31			<b>Defensa y entrega del proyecto</b>	<b>210 días</b>	<b>jue 15/02/18</b>	<b>mié 12/09/18</b>	
32			Predefensa del proyecto				
33			entrega del trabajo escrito y defensa del proyecto				

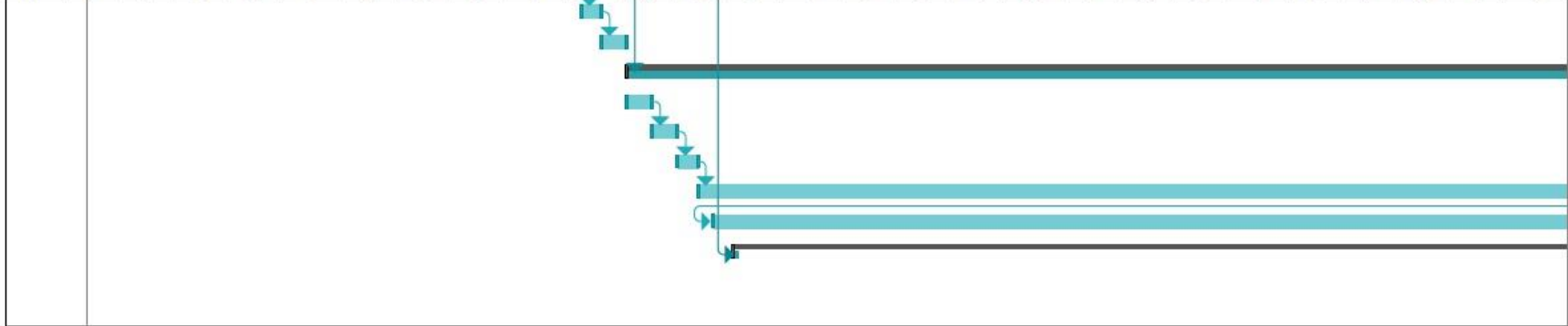
Proyecto: cronograma del proyecto  
Fecha: vie 03/08/18

Tarea		Tarea inactiva		Sólo el comienzo	
División		Hito inactivo		Sólo fin	
Hito		Resumen inactivo		Fecha límite	
Resumen		Tarea manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Sólo duración		Progreso manual	
Tareas externas		Informe de resumen manual			
Hito externo		Resumen manual			



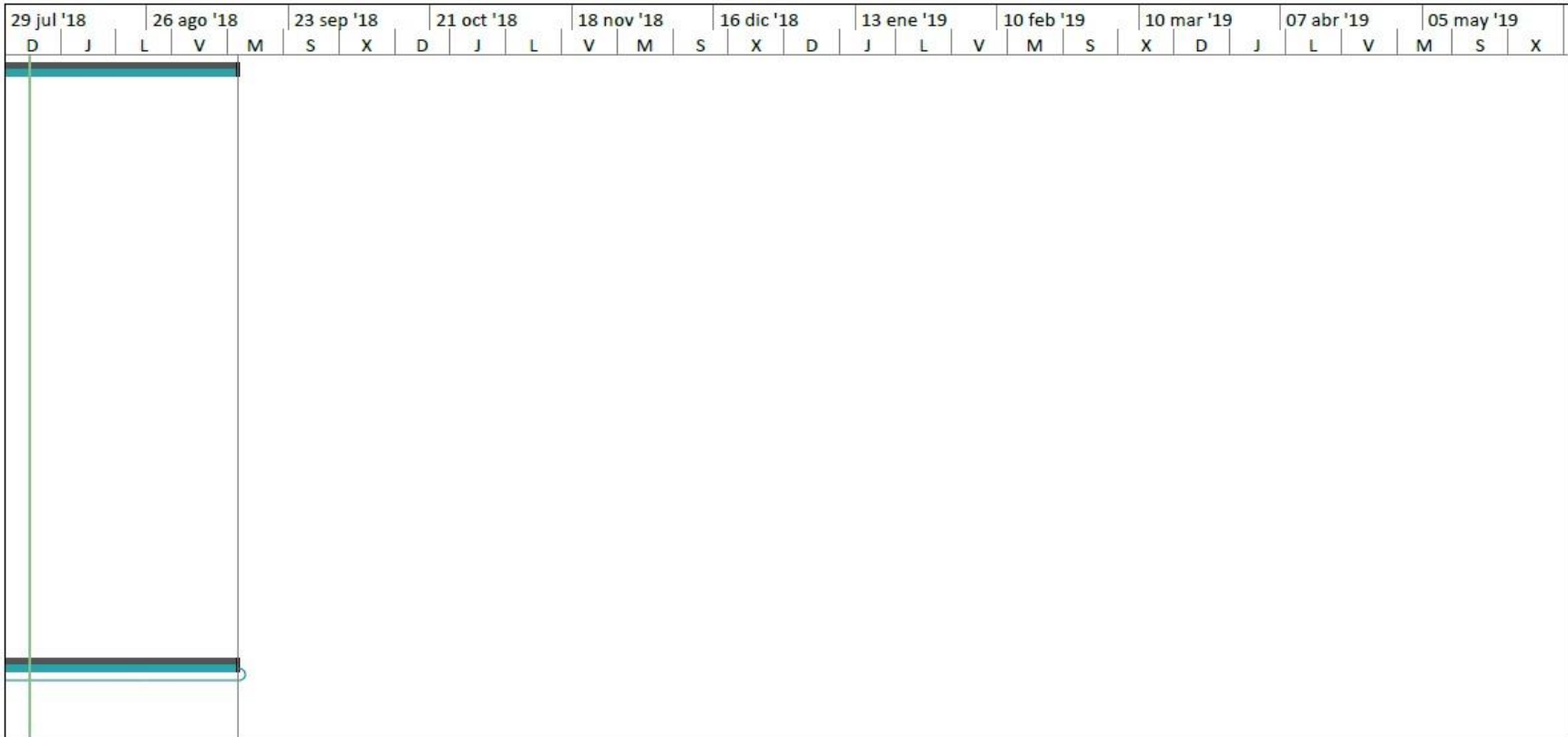
Proyecto: cronograma del proyec Fecha: vie 03/08/18	Tarea		Tarea inactiva		Sólo el comienzo	
	División		Hito inactivo		Sólo fin	
	Hito		Resumen inactivo		Fecha límite	
	Resumen		Tarea manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Sólo duración		Progreso manual	
	Tareas externas		Informe de resumen manual			
	Hito externo		Resumen manual			

24 sep '17	22 oct '17	19 nov '17	17 dic '17	14 ene '18	11 feb '18	11 mar '18	08 abr '18	06 may '18	03 jun '18	01 jul '18			
D	J	L	V	M	S	X	D	J	L	V	M	S	X

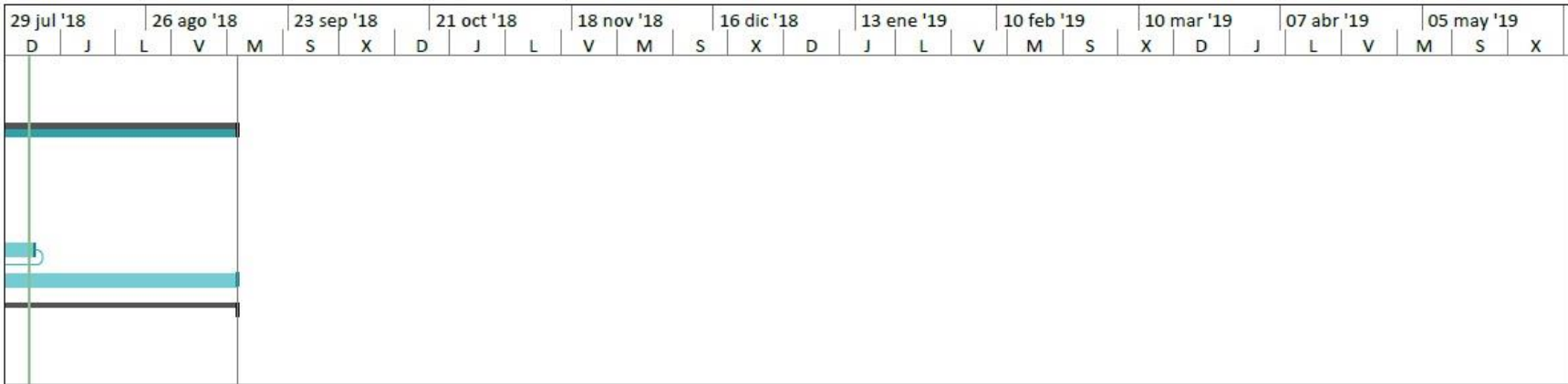


Proyecto: cronograma del proyec  
 Fecha: vie 03/08/18

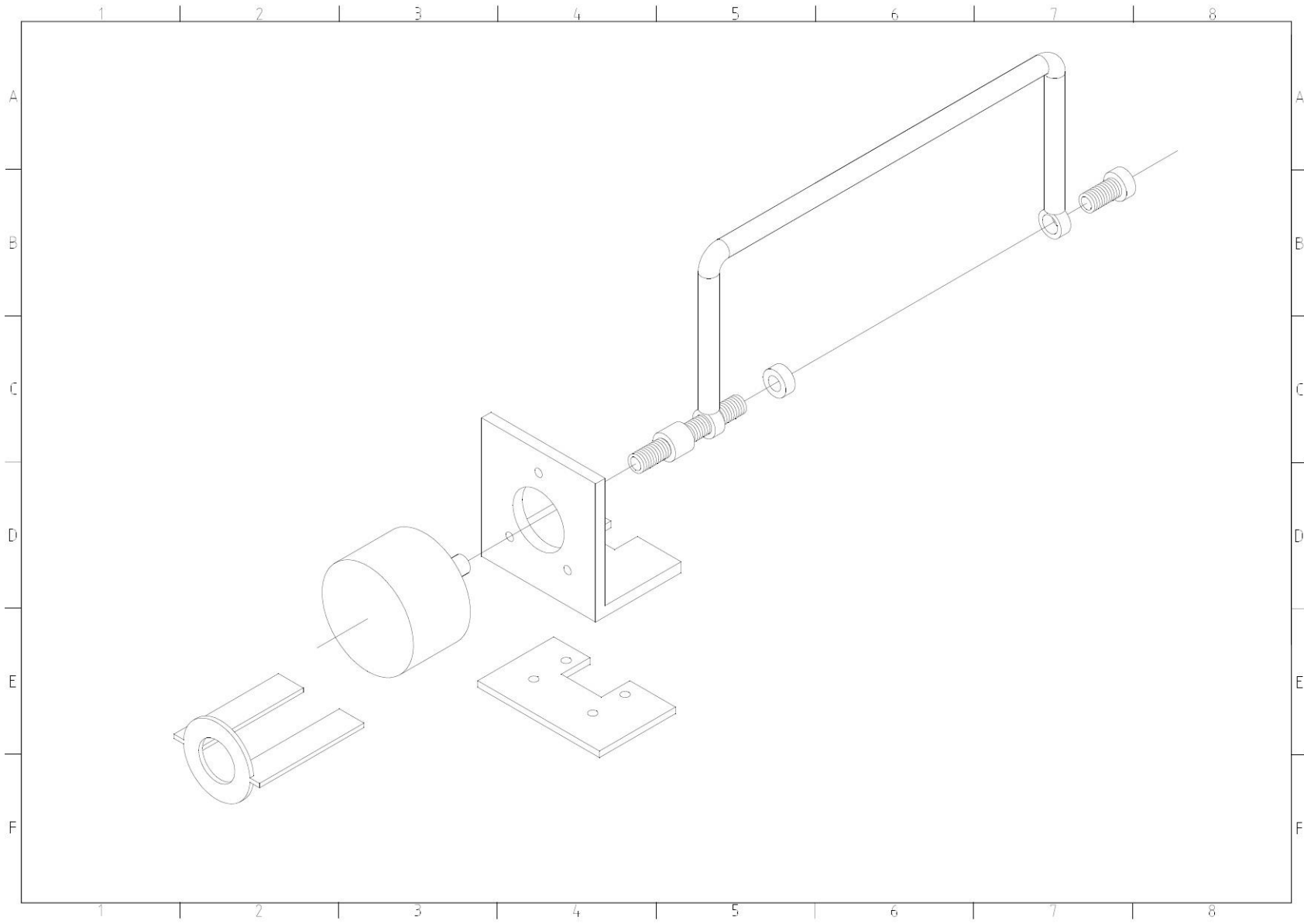
Tarea		Tarea inactiva		Sólo el comienzo	
División		Hito inactivo		Sólo fin	
Hito		Resumen inactivo		Fecha límite	
Resumen		Tarea manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Sólo duración		Progreso manual	
Tareas externas		Informe de resumen manual			
Hito externo		Resumen manual			



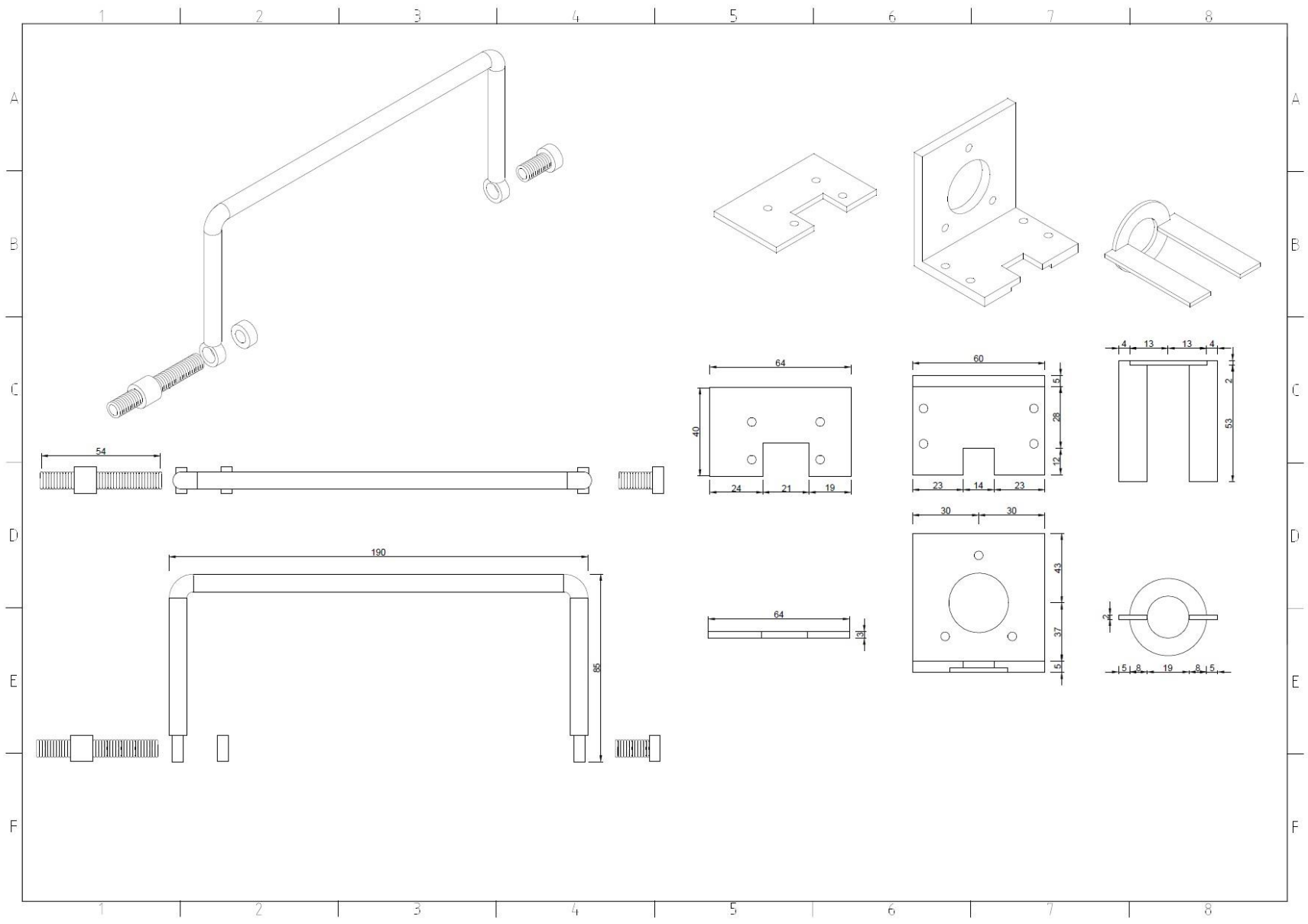
Proyecto: cronograma del proyec Fecha: vie 03/08/18	Tarea		Tarea inactiva		Sólo el comienzo	
	División		Hito inactivo		Sólo fin	
	Hito		Resumen inactivo		Fecha límite	
	Resumen		Tarea manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Sólo duración		Progreso manual	
	Tareas externas		Informe de resumen manual			
	Hito externo		Resumen manual			



Proyecto: cronograma del proyec Fecha: vie 03/08/18	Tarea		Tarea inactiva		Sólo el comienzo	
	División		Hito inactivo		Sólo fin	
	Hito		Resumen inactivo		Fecha límite	
	Resumen		Tarea manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Sólo duración		Progreso manual	
	Tareas externas		Informe de resumen manual			
	Hito externo		Resumen manual			







## ACTA DE ENTREGA RECEPCIÓN

Quito, 25 de abril de 2018

POR ESTUDIANTE UNIVERSIDAD ISRAEL,  
Santiago Sánchez

QUIEN RECIBE, INASEL  
Roy Chérrez | Coordinador Proyectos

### 1. Materiales entregados

TABLERO DOBLADORA AUTOMÁTICA DE BARRAS				
ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	Nº PARTE	MARCA
1	1	TABLERO DE CONTROL PARA EL DOBLADO AUTOMÁTICO DE BARRAS		

### 2. Documentación entregada

Santiago Sánchez entrega a Inasel, lo siguiente:

- Garantía técnica
- Planos eléctricos
- Lista de materiales
- Hojas de datos de equipos
- Manual de usuario

### 3. Conclusiones

El tablero recibido se encuentra en óptimas condiciones, luego de haberse sometido a pruebas de funcionamiento.

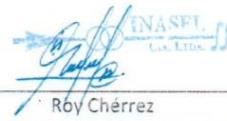
Para constancia de lo entregado, firman por duplicado,

POR ESTUDIANTE UNIVERSIDAD  
ISRAEL



Santiago Sánchez

QUIEN RECIBE, INASEL



Roy Chérrez

COORDINADOR PROYECTOS



## **MANUAL DEL USUARIO**

### **SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL DEL DOBLADO DE BARRAS DE COBRE**

**Silvio Santiago Sánchez Amagua**

**QUITO, ECUADOR**




**2018**

## Tabla de contenidos

INTRODUCCIÓN .....	79
OBJETIVO.....	79
DIRIGIDO .....	79
1.1 Características .....	80
1.2 Funcionamiento.....	80
1.2.1 Conexionado.....	80
1.2.2 Detalle de estados de la pantalla.....	82
1.2.3 Modo automático.....	82
1.2.4 Modo manual.....	84

## Sistema Automatizado para el control del doblado de barras de cobre



	<p>No utilizar cables rotos o arruinados, conectores diferentes.</p> <p>No conectar o desconectar el dispositivo encendido.</p>
	<p>No maltratar el dispositivo o placa electrónica.</p>
	<p>No exponer el dispositivo electrónico al agua.</p>

**Fuente:** Elaboración propia

## **INTRODUCCIÓN**

La intención principal es obtener un producto final que tenga unos dobles con ángulos iguales y poder hacerlos en una producción en serie.

Es importante leer este manual antes y durante el uso de dicho sistema, ya que lo guiara paso a paso durante la utilización del mismo.

## **OBJETIVO**

Ayudar y guiar al usuario a utilizar de manera correcta El sistema automatizado para el control de doblado de barras de cobre.

## **DIRIGIDO**

Este manual está orientado para el personal técnico de ensamblaje, involucrados en función operativa.

## 1.1 Características

- Alimentación 220 VAC
- Opción manual, automática.
- Cuenta con una pantalla en la cual podemos visualizar el ángulo doblado
- En modo automático se ingresa el ángulo que va a doblar.

## 1.2 Funcionamiento

### 1.2.1 Conexión

La máquina debe ser conectada correctamente comenzaremos por el encoder el cual tiene un conector de acople macho, el encoder está ubicado en la maquina dobladora, el acople hembra se encuentra en el tablero de control.



**Encoder macho**

**Encoder hembra**

**Fuente:** Elaboración propia



Equipo Conexionado

**Fuente:** Elaboración propia

Los cables de alimentación del tablero de control se encuentran debidamente marquillados:

1. Alimentación 220 VAC
2. Alimentación motor 220
3. Contactos al tablero

Para colocar la barra de cobre en dobladora, procedemos a levantar la guía para que el encoder pueda medir el ángulo.



Colocación barra de cobre

**Fuente:** Elaboración propia



### 1.2.2 Detalle de estados de la pantalla

En la pantalla principal elegimos en qué modo se desea trabajar, existe un selector de 3 posiciones como seguridad en el momento de trabajar y un paro de emergencia como protección al sistema.



**Pantalla inicial selección de estados**

**Fuente:** Elaboración propia

### 1.2.3 Modo automático

En la pantalla de modo automático tenemos luces indicadoras de estado, proceso en marcha, proceso terminado, sobrecarga y paro de emergencia.



**Pantalla en modo automático**

**Fuente:** Elaboración propia

Seleccionamos en la pantalla modo automático, y la seguridad del selector en automático, a continuación reseteamos el ángulo para comenzar el doblado desde 0.

Seleccionamos ingresar ángulo y nos envía a otra pantalla.



**Pantalla de ingreso del ángulo**

**Fuente:** Elaboración propia

Cuando ya decidimos el ángulo a doblar damos enter, el programa nos regresa a la pantalla anterior en esta pantalla tenemos la opción de START y STOP los cuales son para iniciar el proceso de doblado START y STOP para detenerlo en cualquier momento del proceso.

### 1.2.4 Modo manual

En esta pantalla tenemos luces indicadoras de estado, botones marcha de contactor y parada de contactor adicional podemos activar la electroválvula para que el pistón suelte la presión y poder corregir si la barra se pudiese sobrepasar del ángulo que deseamos doblar en modo manual.



**Pantalla en modo automático**

**Fuente:** Elaboración propia

Debemos tener en cuenta que al momento de elegir el modo manual o el modo automático también girar el selector al modo deseado, caso contrario el sistema no funcionara.