



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
AUTOMATIZADO PARA UNA MÁQUINA TORSIONADORA DE
FORJA EN FRÍO

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: ALEX FERNANDO AGUIRRE PAREDES

TUTOR: ING. BYRON ANDRÉS CASIGNIA VÁSCONEZ

Riobamba – Ecuador

2016

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: “ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA UNA MÁQUINA TORSIONADORA DE FORJA EN FRÍO”, de responsabilidad del señor ALEX FERNANDO AGUIRRE PAREDES, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Miguel Tasambay Ph D. DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Ing. Jorge Luis Paucar DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES
Ing. Byron Casignia DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
Ing. Wilson Zúñiga MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, ALEX FERNANDO AGUIRRE PAREDES, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales.

Los textos que constan en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos del Trabajo de Titulación.

Riobamba, 07 de julio de 2016

Alex Fernando Aguirre Paredes

060389727-3

Yo, Alex Fernando Aguirre Paredes soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados, expuestos en este Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

Alex Fernando Aguirre Paredes

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a todas las personas que me han acompañado durante mi vida estudiantil. En especial a mis padres, Ángel y Norma, por darme la oportunidad de estudiar una carrera y llegar a ser un profesional, y por el cariño y el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de toda mi vida. A mis hermanos, José Antonio y Paulina, por estar siempre a mi lado ante todas las cosas. Y a mi sobrina, Rafaela, por ser el ángel que llegó a iluminar mi vida.

También quiero dedicar este trabajo a mi Madre Dolorosa, mi guía, mi estrella en el azul, por tantas bendiciones y permitirme culminar esta etapa de mi vida. Señora ya eres mi madre, no me abandone tu amor.

Alex

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Ángel Aguirre y a la Sra. Norma Paredes, mis padres; mil gracias por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo y por todo el apoyo recibido en el trayecto del mismo.

Al Ing. Byron Casignia y al Ing. Wilson Zúñiga, por toda la colaboración brindada en la elaboración del presente trabajo de titulación. Gracias también a todas las personas, que de una u otra forma, pusieron su granito de arena en este trabajo.

Alex

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iii
PÁGINA DE RESPONSABILIDAD Y COMPARTIR DERECHOS	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xvi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xix
RESUMEN	xx
SUMMARY	xxi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
1.1 Forja del hierro	5
1.1.1 Introducción	5
1.1.2 Técnicas de Forjado del Hierro.....	5
1.1.3 Tipos Básicos de Forjado	6
1.1.4 Maquinaria Empleada en la Industria para el Forjado en Frío	7
1.2 Sistema Automático	8
1.2.1 Introducción	8
1.2.2 Definición.....	8
1.2.3 Lógica Cableada y Lógica Programada	10
1.3 Automatización Industrial	10
1.3.1 Definición.....	10

1.3.2	Objetivos de la Automatización.....	11
1.3.3	Técnicas de Automatización.....	11
1.3.4	Pirámide de la Automatización.....	13
1.4	Controlador Lógico Programable (PLC).....	14
1.4.1	Definición.....	14
1.4.2	Arquitectura de un PLC.....	15
1.4.3	Tipos de PLC.....	17
1.4.4	Estándar IEC 61131-3.....	18
1.4.5	Gráfico Funcional de Comando Etapa Transición (GRAFCET).....	23
1.4.6	Selección del PLC.....	24
1.5	Sensores.....	25
1.5.1	Definición.....	25
1.5.2	Características de un Sensor.....	26
1.5.3	Sensores Inductivos.....	27
1.5.4	Sensores de Proximidad con Contacto.....	31
1.6	Interfaz Hombre-Máquina (HMI).....	33
1.6.1	Introducción.....	33
1.6.2	Funciones.....	34
1.7	Sistema Mecánico.....	35
1.7.1	Caja Reductora.....	35
1.7.2	Cadenas y Correas de Transmisión.....	35
1.7.3	Motor de Inducción.....	36
1.8	Sistema Hidráulico.....	37
1.8.1	Introducción.....	37
1.8.2	Aceite.....	37
1.8.3	Bomba Hidráulica.....	38
1.8.4	Tanque de Almacenamiento, Filtro y Mangueras.....	38
1.8.5	Electroválvula.....	39
1.8.6	Cilindro Hidráulico.....	40

1.9	Accionamientos Eléctricos	40
1.9.1	Relé	41
1.9.2	Contactador	42
1.10	Elementos de Protección, Mando y Señalización	44
1.10.1	Interruptor Termomagnético.....	44
1.10.2	Relé Térmico	44
1.10.3	Pulsador.....	45
1.10.4	Selector.....	46
1.10.5	Piloto de Señalización	46
CAPÍTULO II		
2	MARCO METODOLÓGICO	47
2.1	Selección de Componentes	48
2.1.1	Descripción de la Máquina	48
2.1.2	Señales de Entrada/Salida Requeridas	50
2.1.3	Selección de Sensores.....	50
2.1.4	Selección del HMI.....	51
2.1.5	Selección del PLC	52
2.1.6	Otros Elementos Seleccionados.....	53
2.2	Diseño del Sistema Eléctrico	54
2.2.1	Elaboración de Esquemas Eléctricos	54
2.2.2	Dimensionamiento de Conductores	56
2.2.3	Dimensionamiento de protecciones	62
2.3	Diseño de Tablero de Control y Panel Frontal	63
2.3.1	Tablero de Control.....	63
2.3.2	Panel Frontal	64
2.4	Implementación del Sistema Eléctrico.....	66
2.4.1	Ubicación de los Componentes en el Panel Frontal	66
2.4.2	Cableado del Panel Frontal	66
2.4.3	Ubicación de Componentes en el Tablero	67

2.4.4	Cableado de Circuitos de Mando y Fuerza	68
2.5	Integración de los Sistemas Eléctrico, Mecánico e Hidráulico	69
2.5.1	Sistema Mecánico.....	69
2.5.2	Sistema Hidráulico	70
2.5.3	Instalación de Sensores.....	70
2.5.4	Instalación del Sistema Eléctrico	72
2.6	Programación del HMI	72
2.7	Programación del PLC	77
2.7.1	Tabla de Entradas/Salidas.....	77
2.7.2	Puntos Internos Empleados	77
2.7.3	Secuencias Programadas.....	78
2.7.4	Modo Manual	80
CAPÍTULO III		
3	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	81
3.1	Puesta en Marcha, Pruebas y Corrección de Errores.....	81
3.1.1	Pruebas en el Formado de Volutas	81
3.1.2	Pruebas en la Torsión de Varilla.....	82
3.1.3	Pruebas en el Formado de Piñas	83
3.2	Cálculo del Tamaño de la Muestra	85
3.2.1	Tamaño Muestral para Volutas.....	85
3.2.2	Tamaño Muestral para Piñas	86
3.2.3	Tamaño Muestral para Varilla Torcida.....	87
3.3	Medición de Parámetros y Estimación de la Media Poblacional	87
3.3.1	Volutas	87
3.3.2	Piñas	88
3.3.3	Varilla Torcida	89
3.4	Tiempos en el Formado de Piezas	89
3.5	Comparación con el Trabajo Manual.....	90
3.5.1	Voluta.....	90

3.5.2	Varilla Torcida	91
3.5.3	Piña	93
3.6	Recuperación de la Inversión.....	93
	CONCLUSIONES	96
	RECOMENDACIONES	97
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Efecto de la temperatura en la deformación.....	6
Tabla 2-1	Simbología básica del lenguaje ladder.....	21
Tabla 3-1	Categorías de servicio para contactores.....	43
Tabla 1-2	Características técnicas de los elementos del cabezal.....	48
Tabla 2-2	Características técnicas de los elementos del sistema hidráulico.....	49
Tabla 3-2	Señales E/S requeridas.....	50
Tabla 4-2	Especificaciones técnicas de los sensores inductivos seleccionados.....	50
Tabla 5-2	Especificaciones técnicas de los finales de carrera seleccionados.....	51
Tabla 6-2	Especificaciones técnicas del HMI.....	51
Tabla 7-2	Especificaciones técnicas del PLC.....	52
Tabla 8-2	Especificaciones técnicas de los relés.....	53
Tabla 9-2	Especificaciones técnicas de la fuente DC.....	53
Tabla 10-2	Especificaciones técnicas para conductores.....	57
Tabla 11-2	Resumen de conductores y protecciones.....	63
Tabla 12-2	Tabla E/S del PLC.....	77
Tabla 13-2	Puntos Internos del PLC empleados.....	77
Tabla 1-3	Resumen de desplazamientos de los actuadores.....	84
Tabla 2-3	Resultados de las mediciones de volutas.....	88
Tabla 3-3	Resultados de las mediciones de piñas.....	88
Tabla 4-3	Resultados de las mediciones de varilla torcida.....	89
Tabla 5-3	Tiempo en el formado de piezas.....	89
Tabla 6-3	Resultados de voluta (método manual).....	90
Tabla 7-3	Detalle de la inversión.....	94
Tabla 8-3	PVP establecido para cada pieza.....	94
Tabla 9-3	Detalle de costos de materia prima para cada pieza.....	94
Tabla 10-3	Número de unidades para recuperar la inversión.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Estructura de un Sistema Automático.....	9
Figura 2-1	Pirámide de la Automatización.....	13
Figura 3-1	Bloques de un PLC.....	15
Figura 4-1	Estructura de un PLC Compacto.....	17
Figura 5-1	Estructura de un PLC Modular.....	18
Figura 6-1	Símbolos OR y AND (FBD).....	22
Figura 7-1	Ejemplo de programa ST.....	22
Figura 8-1	Operadores y funciones IL.....	22
Figura 9-1	Componentes del GRAFCET.....	24
Figura 10-1	Exactitud y precisión.....	27
Figura 11-1	Funcionamiento y comportamiento de sensor NPN.....	27
Figura 12-1	Funcionamiento y comportamiento de sensor PNP.....	28
Figura 13-1	Diagrama de bloques de un sensor inductivo.....	29
Figura 14-1	Comportamiento del oscilador en un sensor inductivo.....	29
Figura 15-1	Funcionamiento y partes de un interruptor de posición.....	32
Figura 16-1	Interior de un reductor de velocidad.....	35
Figura 17-1	Correa y cadena de transmisión.....	36
Figura 18-1	Estator y rotor jaula de ardilla en un motor de inducción.....	37
Figura 19-1	Bomba de engranes.....	38
Figura 20-1	Electroválvula 4/2 retorno por muelle.....	39
Figura 21-1	Partes de un cilindro de doble efecto.....	40
Figura 22-1	Partes de un relé.....	41
Figura 23-1	Partes de un contactor.....	42
Figura 24-1	Vista interna de un interruptor termomagnético.....	44
Figura 25-1	Relé Térmico.....	45
Figura 26-1	Pulsador de marcha, paro y emergencia.....	45
Figura 27-1	Selector y piloto de señalización.....	46
Figura 1-2	Etapas para la automatización de la máquina torsionadora de forja.....	47
Figura 2-2	Estructura del cabezal.....	48
Figura 3-2	Conexión del sistema hidráulico.....	49
Figura 4-2	Diagrama de protecciones principales.....	54
Figura 5-2	Diagrama de alimentación de control general.....	54
Figura 6-2	Diagrama de entradas digitales del PLC.....	55
Figura 7-2	Diagrama de salidas digitales del PLC.....	55

Figura 8-2	Diagrama de conexión de bobinas y pilotos.....	55
Figura 9-2	Diagrama de fuerza.....	56
Figura 10-2	Diseño del tablero de control.....	64
Figura 11-2	Diseño del panel frontal.....	65
Figura 12-2	Diseño del gabinete para el montaje del tablero y panel frontal.....	65
Figura 13-2	Disposición de los elementos de mando y HMI.....	66
Figura 14-2	Cableado del panel frontal.....	67
Figura 15-2	Disposición de componentes del tablero.....	67
Figura 16-2	Cableado del tablero.....	68
Figura 17-2	Cabezal de la máquina.....	69
Figura 18-2	Motorreductor y cadena.....	69
Figura 19-2	Central hidráulica y cilindro hidráulico.....	70
Figura 20-2	Sensor inductivo contador de pulsos.....	70
Figura 21-2	Sensor inductivo posición inicial.....	71
Figura 22-2	Sensores de posición del cilindro hidráulico.....	71
Figura 23-2	Sistemas mecánico, hidráulico y eléctrico integrados.....	72
Figura 24-2	Pantalla principal, acceso por contraseña.....	73
Figura 25-2	Menú principal.....	73
Figura 26-2	Ventana proceso de voluta.....	74
Figura 27-2	Ventana proceso de piña.....	74
Figura 28-2	Ventana proceso de varilla torcida.....	74
Figura 29-2	Ventana proceso manual.....	75
Figura 30-2	Ventana información voluta.....	75
Figura 31-2	Ventana información piña.....	76
Figura 32-2	Ventana información varilla.....	76
Figura 33-2	Ventana alarma cilindro.....	76
Figura 34-2	GRAFCET varilla torcida.....	78
Figura 35-2	GRAFCET voluta.....	79
Figura 36-2	GRAFCET piña.....	80
Figura 1-3	Matriz espiral para voluta y apoyo.....	82
Figura 2-3	Voluta terminada.....	82
Figura 3-3	Matrices para la torsión de varilla.....	83
Figura 4-3	Varilla torcida terminada.....	83
Figura 5-3	Matrices para el formado de piñas.....	84
Figura 6-3	Evolución de pruebas en el formado de piñas.....	84
Figura 7-3	Parámetros medidos en una voluta.....	86
Figura 8-3	Parámetros medidos en una piña.....	86

Figura 9-3	Parámetros medidos en la varilla torcida.....	87
Figura 10-3	Comparación del tiempo en el formado de volutas.....	90
Figura 11-3	Comparación de voluta (manual y automático).....	91
Figura 12-3	Capacidad de torsión (manual y automático).....	91
Figura 13-3	Comparación de varilla torcida (manual y automático).....	92
Figura 14-3	Extremo varilla torcida (manual).....	92
Figura 15-3	Piñas terminadas con diferentes parámetros para el formado.....	93

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2	Cálculo de corriente para cargas AC.....	56
Ecuación 2-2	Cálculo de corriente para cargas DC.....	56
Ecuación 3-2	Caída de voltaje para redes bifásicas.....	57
Ecuación 4-2	Caída de voltaje para redes de corriente continua.....	57
Ecuación 1-3	Cálculo del tamaño de la muestra para estimar una media poblacional.....	85

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados
A	Amperios
AC	Corriente Alterna
AWG	American Wire Gauge / Calibre de Alambre Estadounidense
bar	Bar (unidad de presión)
CAD	Computer – Aided Design / Diseño Asistido por Computadora
cm	Centímetro
cm³	Centímetro Cúbico
Cosφ	Factor de Potencia
CPU	Central Processing Unit / Unidad Central de Procesamiento
DC	Corriente Directa
E/S	Entradas/Salidas
FBD	Function Block Diagram / Diagrama de Bloques de Función
GRAFCET	Graphe Fonctionnel de Commande Etape Transition / Gráfico Funcional de Comando Etapa Transición
HMI	Human – Machine Interface / Interfaz Hombre – Máquina
hp	Horse Power / Caballo de Fuerza
Hz	Hertz / Hercio
IEC	International Electrotechnical Commission / Comisión Electrotécnica Internacional
ISO	International Organization for Standardization / Organización Internacional para Estandarización
IT	Instruction List / Lista de Instrucciones
k	Kilo (multiplicación x1000)
kgf	Kilogramo fuerza
kW	Kilovatios
LD	Ladder Diagram / Diagrama Escalera
m	Metro
M	Mega (multiplicación x1000000)
mA	Miliamperio
MES	Manufacturing Execution System / Sistema de Ejecución de Manufactura
mm	Milímetros
mm²	Milímetro Cuadrado
ms	Milisegundo

NC	Normally Closed / Normalmente Cerrado
Nm	Newton metro (unidad de torque)
NO	Normally Open / Normalmente Abierto
PC	Computador Personal
PLC	Programmable Logic Controller / Controlador Lógico Programable
POU	Program Organization Unit / Unidad de Organización de Programa
rev	Revolución
RPM	Revoluciones por minuto
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition / Supervisión, Control y Adquisición de Datos
s	Segundo
ms	Milisegundo
SFC	Sequential Function Chart / Bloques de Función Secuenciales
ST	Structured Text / Texto Estructurado
VAC	Voltaje Corriente Alterna
VDC	Voltaje Corriente Continua
W	Watt / Vatio

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Manual de usuario

RESUMEN

Mediante el presente trabajo de titulación se automatizó una máquina torsionadora de forja en frío, para la empresa FUEGO, de la ciudad de Riobamba, ésta es una unidad estacionaria destinada a trabajar con hierro en frío, para la elaboración de piezas ornamentales: barrotes, volutas, piñas. Mediante la automatización de la máquina se buscó conseguir la uniformidad de las piezas terminadas, reduciendo su tiempo en el formado, y como consecuencia aumentando el volumen de producción. Luego de un análisis de la máquina, se realizó la selección de los componentes del tablero de control y el panel frontal: Controlador Lógico Programable (PLC), Interfaz Hombre-Máquina (HMI), sensores, dimensionamiento de conductores y protecciones; para la implementación del sistema de acuerdo a los esquemas de conexión desarrollados. El PLC almacena en su memoria el programa donde se contemplan las secuencias correspondientes a cada tipo de pieza, se ejecutan las acciones de acuerdo a la información de los sensores e instrucciones enviadas desde el panel frontal. Una vez integrados todos los sistemas, se realizaron varios ensayos en el formado de volutas, piñas y varilla torcida y, mediante prueba/error y la observación, se determinaron los desplazamientos correctos de los actuadores. Los resultados de la máquina (método automático), presentan una baja varianza en los parámetros medidos en cada pieza: voluta ($0,0225 \text{ mm}^2$ y $0,068 \text{ mm}^2$), piña ($0,211 \text{ mm}^2$ y $0,926 \text{ mm}^2$) y varilla torcida ($0,02 \text{ mm}^2$ y $0,0067 \text{ mm}^2$), con tiempos de elaboración reducidos, a diferencia del método manual, donde el tiempo y la varianza de los parámetros medidos en cada pieza son mucho mayores. De esta manera se afirma la uniformidad en los productos terminados y se pueden establecer medidas estándar de los mismos, además del corto tiempo que consume el proceso. Se recomienda al usuario revisar el manual de instrucciones, previo al uso de la máquina.

PALABRAS CLAVE: <AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL>, <TORSIONADORA DE FORJA EN FRÍO>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE [PLC]>, <INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA [HMI]>, <SENSORES DE PROXIMIDAD>, <RIOBAMBA (CANTÓN)>, <CONTROL Y REDES INDUSTRIALES>

SUMMARY

In the current research work, a cold forging twisting machine was automated for FUEGO Company in Riobamba. This is a base unit to work with cold iron for the production of ornamental pieces like: bars, scrolls and pine cones. Through the machine automation the uniformity of the finished parts was achieved, and as a result, the production volume increased. The components selection of the control panel and the front panel was carried out after an analysis of the machine: programmable logic controller (PLC), human machine interface (HMI), sensors, dimensioning of conductors and protections for the implementation of the system according to the developed connection diagrams. The PLC stores in its memory the program where the sequences corresponding to each type of piece are contemplated. Meanwhile, actions according to the sensor data and provided instructions from the front panel are executed. Once integrated all systems, various tests were carried out in the form of scrolls, pine cones and twisted rod and by trial/error and observation the correct movement of the actuators were determined. The results of the machine (automatic method) have low variance in the parameters measured on each piece: scroll (0,0225 mm² and 0,068 mm²), pine cone (0,211 mm² and 0,926 mm²) and twisted rod (0,02 mm² and 0,0067 mm²) with reduced processing times unlike to the manual method where the time and the variance of the measured parameters on each piece are higher. Thus, the uniformity in finished products is stated, and the measured can be standard, in addition to, the short time which is consumed in the process. It is recommended the user checking the instruction manual prior the machine use.

KEYWORDS: <INDUSTRIAL AUTOMATION>, <COLD FORGING TWISTING MACHINE>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLER [PLC]>, <HUMAN MACHINE INTERFACE [HMI]>, <PROXIMITY SENSORS>, <RIOBAMBA (CANTON)>, <CONTROL AND INDUSTRIAL NETWORKS>

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La forja del hierro permite darle la forma deseada al metal mediante la aplicación de una fuerza en uno o varios puntos específicos, este proceso se lo puede realizar en caliente o en frío. La forja es una actividad tan antigua como el hombre, a lo largo del tiempo se han venido fabricando varios tipos de piezas ornamentales de hierro como: volutas, piñas, varilla torcida, entre otras; todo esto para proporcionar un toque decorativo a construcciones metálicas, como: cerramientos, puertas, defensas de ventanas, barandales de escaleras, balcones, etc.; siendo éstos empleados ampliamente en viviendas, edificios, conjuntos habitacionales.

Para causar un impacto agradable a la vista, es importante crear piezas con diversos diseños, formas, tamaños y materiales, debido a la demanda exigente y variada que existe en el medio. Por ello es necesario que estos accesorios sean elaborados con calidad, rapidez y en gran volumen.

En el Ecuador, gran parte de la actividad de la forja del hierro es llevada a cabo por talleres artesanales y pequeñas industrias; siendo empleando el método más tradicional, de forma manual, aplicando una fuerza localizada para obtener la pieza deseada, esto significa un gran esfuerzo para el obrero, lo que a largo plazo puede incurrir en su integridad física.

Respecto a la producción de los accesorios, no se puede llegar a tener uniformidad en los resultados, una pieza diferirá de otra del mismo tipo debido a la presencia del factor humano, sin importar la experticia del trabajador, los errores, por más mínimos que sean, siempre existirán. Además no es posible aumentar el volumen de producción ya que la fabricación de una sola pieza toma una gran cantidad de tiempo.

En el país no existe una empresa que se dedique a la fabricación de accesorios de hierro, como el caso de las empresas Arteferro y Ferroarte de Italia y México respectivamente, estas empresas extranjeras exportan sus productos a otros países incluyendo el nuestro, con ello se cubre parte del mercado ecuatoriano y el resto lo cubren la producción de las cerrajerías y talleres artesanales.

La solución sería obtener la maquinaria necesaria para realizar todas estas tareas y lograr cubrir en parte la demanda; sin embargo la adquisición de una máquina de este tipo requiere de una inversión muy alta, además de las dificultades que se presentan al momento de la importación, ya que en el país no se cuenta con esta tecnología.

La empresa española NARGESA dispone de este tipo de máquinas las cuales tienen un costo promedio de 4500 euros, sumando a esto valores por transporte, impuestos y demás, representaría una inversión que no se encontraría dentro de las posibilidades económicas de un pequeño taller dedicado a esta actividad, con lo cual el proceso de forjado seguiría realizándose de forma manual.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se mejorará la elaboración de accesorios de forja ornamental mediante la automatización de la máquina torsionadora de forja en frío, en comparación al trabajo realizado de forma manual?

¿Qué tipo de tecnología se deberá emplear en la implementación del sistema automático para la máquina torsionadora de acuerdo a las necesidades del sistema?

¿Se obtendrán resultados uniformes y de calidad mediante la automatización de la máquina?

¿Será posible el aumento del volumen de producción con la reducción de tiempos de elaboración con la implementación del sistema automático?

¿De qué forma beneficiará a la empresa la automatización de la máquina torsionadora?

JUSTIFICACIÓN

Mediante la automatización de este proceso se alcanzó uniformidad en los productos, además de reducir los tiempos de elaboración aumentando el volumen de producción; eliminando el factor humano que es muy susceptible a errores. Con esto la persona encargada del trabajo ya no realiza esfuerzo físico, convirtiéndose en operador de la máquina.

Se eligió un controlador lógico programable como eje principal del sistema, este controlador posee múltiples ventajas: proporciona robustez y alta fiabilidad al sistema, se desarrolla en cualquier ambiente industrial sin importar las exigencias de las condiciones de trabajo, tamaño reducido, fácil instalación, grandes prestaciones, entre otras. Para este sistema se empleó un PLC de la marca XIJE, el cual se encarga de recibir la información de sensores y elementos de mando, para el manejo de los actuadores de la máquina: el cilindro hidráulico y el cabezal.

Se emplearon dos tipos de sensores: inductivos y microswitchs o finales de carrera industriales. Situado en el eje del cabezal se ubicó un piñón dentado y a un costado el sensor inductivo, mediante el cual se puede conocer el desplazamiento angular que realiza el cabezal. Cada diente del piñón es detectado por el sensor, aumentando el valor de un contador en el PLC, según el número de pulsos que lleguen se puede conocer el desplazamiento angular del cabezal.

Los microswitchs tienen la función de conocer la posición del cilindro hidráulico, con esta información el PLC realiza las acciones que correspondan de acuerdo al tipo de pieza que se realice, cada uno de los sensores se ubican en lugares estratégicos.

En la memoria del controlador se encuentra el programa que gobierna a todo el sistema, en este programa se tienen todas las secuencias correspondientes al proceso de elaboración de volutas, varilla torcida y piñas. El tipo de pieza a realizar es seleccionado desde la interfaz con el operador. Para la comunicación con el usuario, se utilizó un TouchWin Touch Panel de la marca XINJE.

El HMI se programó con el fin de tener un fácil acceso a todas las opciones de piezas a elaborar: piñas, volutas, etc.; además se incluyó un modo manual, donde el usuario tiene libertad de controlar el giro del cabezal y el desplazamiento del cilindro. Todos los componentes del sistema se ubicaron dentro de un tablero de control.

OBJETIVOS

Objetivos Generales:

Estudiar, diseñar e implementar un sistema automatizado para una máquina torsionadora de forja en frío.

Objetivos Específicos:

- Estudiar detalladamente la máquina para determinar el número de entradas y salidas necesarias para la implementación del sistema.

- Dimensionar los sistemas eléctrico y electrónico e integrar con los sistemas mecánico e hidráulico de la máquina.
- Programar el PLC con todas las secuencias correspondientes para la elaboración de piezas.
- Implementar el HMI de forma que se pueda acceder fácilmente a todos los tipos de accesorios que la máquina pueda elaborar.
- Elaborar un manual de usuario para en lo posterior ayudar al operador en el manejo de la máquina.
- Verificar el correcto funcionamiento de la máquina de manera que se obtengan resultados uniformes y de calidad.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Forja del hierro

1.1.1 *Introducción*

La forja es un proceso de moldeado del hierro y otros materiales maleables golpeándolos o troquelándolos, las técnicas de forjado son útiles para trabajar el metal porque permiten darle la forma deseada; el proceso de forjado se puede dar en frío o en caliente (Forjas Casado, 2016).

Forja Artesana (2016), expresa que: si bien no se conoce la fecha exacta donde nuestros antepasados descubrieron la técnica de fundir minerales de hierro, se sabe que los primeros utensilios encontrados por los arqueólogos datan del año 3000 a.C. aunque antes ya se empleaban distintos adornos de hierro. En aquella época a los herreros y forjadores se les atribuían poderes mágicos que estaban relacionados con la fuerza y la suerte. Sobre el año 1000 a.C. los griegos endurecían armas de hierro con tratamiento térmico.

La gran mayoría de aleaciones realizados por los artesanos hasta el siglo XIV d.C. estarían clasificadas actualmente como hierro forjado. Estas aleaciones se producían calentando un mineral y carbón vegetal en un horno que reducía el mineral a una masa esponjosa de hierro llena de escoria formada por impurezas metálicas y cenizas de carbón. La esponja se retiraba mientras permanecía incandescente y se golpeaba con pesados martillos para expulsar la escoria, y soldar y consolidar el hierro.

1.1.2 *Técnicas de Forjado del Hierro*

Como ya se mencionó anteriormente, el forjado del hierro se puede realizar de dos formas. Dependiendo de la temperatura a la que se trabaje, se tiene:

1. Forjado en frío: mediante esta técnica el material en bruto es moldeado a temperatura ambiente (menor a la temperatura de recristalización), en este proceso pueden intervenir prensas mecánicas o hidráulicas, o máquinas automatizadas de mecanizado. En el proceso de conformado en frío el metal no sufre cambios estructurales. La forja en frío se caracteriza por su alto nivel de precisión además es un proceso altamente rentable para la fabricación en serie. (Gestión de Compras, 2015)
2. Forjado en caliente: se realiza a una temperatura mucho mayor a la temperatura de recristalización del metal; el metal es calentado al rojo vivo en el fuego de una fragua, después se golpea sobre un yunque para darle forma con grandes martillos denominados machos de fragua. El herrero además de martillos, emplea otras herramientas en las diferentes operaciones de forja. (Forjas Casado, 2016)

Tabla 1-1: Efecto de la temperatura en la deformación

Características	Frío	Caliente
Temperatura	Ambiente	Mayor a recristalización
Cambio de forma	Pequeños	Grandes
Potencia de las máquinas	Grande	Poca
Contracción térmica	No aplica	Grande
Acabado	Bueno	Pobre
Precisión dimensional	Buena	Pobre

Fuente: Daniel Borkosky, 2010

1.1.3 Tipos Básicos de Forjado

ACERTEC (2009), propone que, en general existen seis tipos básicos de forjado:

1. Engrosado: consiste en reducir la longitud del metal y aumentar su diámetro, picando a lo largo de la dimensión más larga, consiguiendo una reducción de la pieza.
2. Compresión: consiste en reducir el diámetro del metal, picando el trozo de metal mientras es sujetado con alguna de las variadas herramientas cóncavas denominadas estampas de forja.
3. Doblado: se consigue picando la pieza alrededor de un molde o haciendo palanca con la pieza en un punto de apoyo.

4. Soldadura: unión de dos piezas de metal por semifusión, se aplica bórax o algún producto similar, al metal caliente para eliminar cualquier posible óxido de las superficies de las piezas. Después se unen picándolas a grandes temperaturas. Una junta soldada de este tipo es homogénea tan resistente como el metal original.
5. Perforado: formación de pequeñas aperturas en el metal, poniendo el trozo de metal con una pieza situada sobre el yunque y se atraviesa con un punzón a martillazos.
6. Recortado: realización de grandes agujeros mediante el uso de escarpas pelmazas.

Algunos de estos tipos de forjado se pueden realizar en frío o en caliente, como el doblado, por ejemplo. Y otros, solamente se pueden ejecutar solamente en caliente como la soldadura.

1.1.4 Maquinaria Empleada en la Industria para el Forjado en Frío

1. Prensas de forja: se caracterizan por la aplicación de presión sobre el material, proporcionan una deformación homogénea del metal, su capacidad viene definida por la fuerza disponible en la carrera. Pueden ser prensas hidráulicas o mecánicas. (Univerdad del País Vasco, 2013)
2. Torsionadora de forja: una unidad estacionaria pensada para trabajar en el hierro en frío, mediante la cual se puede elaborar todo tipo de piezas para la forja ornamental, barrotes, volutas, piñas, etc... Utilizadas en: Rejas para las ventanas, barandas, mesas, sillas, puertas, ventanas, cercas... Realizando una infinidad de figuras diferentes en perfiles cuadrados, redondos, tubulares, cabilla, pasamano, pletina etc... (NARGESA, 2012)
3. Roladoras: son máquinas por donde el material se pasa por unos rodillos, los que generan una presión para dar al metal una forma curva. Se puede trabajar sobre tubos, perfiles, ángulos, planchas; los productos se pueden emplear en la construcción de una gran cantidad de estructuras metálicas.

1.2 Sistema Automático

1.2.1 Introducción

El origen de los automatismos no se encuentra definido en una fecha específica, los primeros sistemas automáticos pudieron aparecer en la prehistoria cuando se realizaban trampas de caza, las cuales se activaban con el peso de la presa. Con el paso de los años se vinieron creando diferentes máquinas que imitaban los movimientos de los seres humanos, sin embargo estos artefactos fueron concebidos con fines recreativos. (Orozco Gutiérrez, y otros, 2008)

Avanzando un poco en la línea del tiempo, se puede decir que con la Revolución Industrial se comenzó a dar una mayor importancia a la introducción de sistemas automáticos en los procesos productivos, en sus inicios los automatismos estaban compuestos por componentes mecánicos como engranes y palancas.

Es así que han venido apareciendo diferentes inventos que han revolucionado la industria como la máquina de vapor de James Watt (1769), la cual podía poner en marcha un proceso entero. Posteriormente, surgió el motor de corriente continua de Thomas Davenport (1834), sin embargo su uso no fue generalizado hasta la introducción de la dínamo de Werner von Siemens, con lo que la máquina de vapor fue reemplazada de a poco.

En la década de los setenta, la complejidad de los sistemas automáticos se incrementó gracias a la aparición de circuitos integrados y sistemas basados en microprocesadores; en esa época también se desarrollaron ordenadores digitales, sin embargo su uso al control de procesos se vio reducido debido a sus elevados costos. (Balcells, y otros, 1998) En la actualidad los Sistemas Automáticos se caracterizan por su robustez y grandes prestaciones que ofrecen.

1.2.2 Definición

Un sistema automático es aquel que permite desarrollar una o varias acciones sin intervención humana directamente en el proceso, la persona únicamente se encarga de definir las actividades a desarrollar, la salida deseada, y el sistema deberá actuar de tal forma que toda la planta pueda alcanzar el estado deseado definido por el usuario.

Roldán Viloría (2011), propone seis elementos principales de un sistema automático, como se puede observar en la figura 1-1:

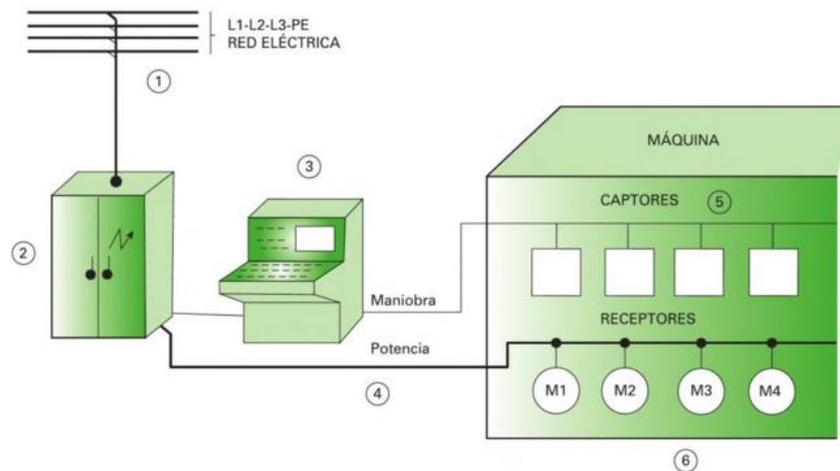


Figura 1-1. Estructura de un Sistema Automático

Fuente: Roldán Viloría, 2011

1. Red Eléctrica: es el suministro de energía para los elementos del sistema para que se pueda llevar a cabo todo el proceso. Por lo general se suele trabajar con redes monofásicas, bifásicas o trifásicas.
2. Armario eléctrico: contiene todos los aparatos de potencia y maniobra. Es la parte central del sistema automatizador.
3. Pupitre de mando y de control: es la parte donde se realizan las acciones encomendadas al operador de la máquina.
4. Cableado: es el conjunto de conductores eléctricos, es importante distinguir dos redes: los conductores de potencia que alimentan los receptores o accionadores, y los conductores de maniobra que conectan a los captadores o sensores y elementos de maniobra.
5. Captadores o sensores: finales de carrera, detectores de proximidad, presostatos, termostatos, entre otros.
6. Receptores o accionadores: en su gran mayoría son motores eléctricos. Pero también se puede tener electroválvulas, resistencias, lámparas, electroimanes, transformadores.

1.2.3 Lógica Cableada y Lógica Programada

En un sistema automático se busca mejorar la eficiencia del proceso incrementando la velocidad en la ejecución de las tareas, la calidad y la precisión, reduciendo los riesgos que implican estas acciones en el caso de que sean manuales (Daneri, 2008).

Para lograr esto existen dos tipos de tecnologías: la lógica cableada y la lógica programada. Los sistemas con lógica cableada se caracterizan por estar conformados por elementos electromagnéticos como relés y contactores, las acciones se realizan de acuerdo a como todos los componentes se encuentren interconectados, es una forma rápida para ejecutar tareas, pero únicamente se limitan a sistemas con bajos requerimientos, es decir, acciones básicas como activar o desactivar actuadores.

Para sistemas mucho más complejos se tiene la lógica programada, este tipo de tecnología se caracteriza por el uso de autómatas programables, ordenadores digitales los cuales almacenan en su memoria un programa, donde se indican todas las acciones que se deben realizar para alcanzar los resultados deseados. Dicho programa puede ser realizado en múltiples lenguajes como lenguaje de contactos, ecuaciones y esquemas lógicos entre otros.

1.3 Automatización Industrial

1.3.1 Definición

La automatización industrial es aquella disciplina que agrupa a diferentes ramas de la ingeniería: electricidad, mecánica, electrónica, comunicaciones, etc. Con el objetivo de crear sistemas independientes o no entre sí, capaces de ejecutar acciones establecidas previamente en el espacio para eliminar el elemento humano directamente en el proceso.

Según el grado de automatización se puede hablar de dos niveles: completo y parcial. El completo ocurre cuando la producción del proceso es masiva de productos homogéneos y en ciclo continuo, y es parcial cuando la producción es variable y limitada. Desde el punto de vista de la programación la automatización puede ser de ciclo fijo o programado. Es fijo cuando se realiza siempre el mismo ciclo (automatismo invariable) por ejemplo en la fabricación de grande series,

es de ciclo programado en la fabricación de piezas distintas y en series pequeñas, además el operador puede elegir el ciclo a su conveniencia. (Cembranos Nistal, 2008)

1.3.2 Objetivos de la Automatización

La automatización de procesos industriales tiene múltiples objetivos, algunos de ellos se describen a continuación:

- Mejorar la calidad, rapidez y uniformidad en la fabricación de un producto, para obtener mayores ganancias.
- Reducir los costos de fabricación y optimizar los recursos.
- Minimizar o eliminar la intervención humana en procesos donde la exactitud y precisión es un factor crítico, ya que el ser humano por naturaleza tiende a errar.
- Realizar tareas repetitivas donde un operador puede sufrir cansancio y por ende fallar, además realizar trabajos peligrosos que pongan en riesgo la integridad del ser humano.

1.3.3 Técnicas de Automatización

Cembranos Nistal (2008), menciona que, de acuerdo a la naturaleza del automatismo se puede hablar de automatización mecánica, neumática, hidráulica, eléctrica y electrónica.

1.3.3.1 Automatización Mecánica

Por lo general son sistemas complejos y poco flexibles debido a la gran cantidad de mecanismos que poseen. Sin embargo, esta tecnología es muy accesible a personal poco calificado, con lo que el montaje y el mantenimiento resultan económicos. Uno de los grandes inconvenientes es la longitud de las cadenas cinemáticas y la sincronización de movimientos.

1.3.3.2 Automatización Neumática

En estos sistemas el aire comprimido es el elemento principal, esta técnica tiene un enorme número de aplicaciones. Es muy común observar instalaciones neumáticas en los sistemas de automatización industrial. La preferencia de la neumática es debido a su sencillez y rapidez del movimiento; sin embargo un gran inconveniente es el mantenimiento del aire, el cual siempre debe permanecer limpio y seco.

1.3.3.3 Automatización Hidráulica

Son sistemas muy similares a los neumáticos, con la principal diferencia que en este caso se usa aceite como elemento principal. Al hablar de hidráulica el mando es más lento que el neumático, pero es capaz de desarrollar mucho más trabajo. El empleo de la hidráulica se da en sistemas donde se requiera mayor cantidad de fuerza y la velocidad de trabajo no sea un aspecto primordial.

1.3.3.4 Automatización Eléctrica

Este tipo de automatización se encuentra presente en cualquier máquina, por más sencilla que sea, dentro de ella se tendrá un automatismo eléctrico que gobernará la activación o desactivación de los actuadores como motores, electroválvulas, resistencias, focos. El mando de los sistemas eléctricos se lo realiza por medio de relés y contactores.

1.3.3.5 Automatización Electrónica

Con la llegada de los circuitos integrados y sistemas basados en microprocesadores al campo industrial, la automatización ha avanzado a pasos agigantados. La demanda de la industria de un sistema robusto, confiable y flexible, ha dado como resultado la aparición de ordenadores industriales y, por supuesto, los autómatas programables.

1.3.4 Pirámide de la Automatización

La pirámide de la Automatización (figura 2-1) es una representación de cómo varias ramas de la ingeniería como la mecánica, electricidad, electrónica, comunicaciones, informática, se integran con un mismo propósito.



Figura 2-1. Pirámide de la Automatización

Fuente: <http://www.smctraining.com/webpage/indexpage/311/>

1. Nivel de Campo: en este nivel se encuentran todos los dispositivos de entrada y salida de los sistemas, sensores y actuadores.
2. Nivel de Control: aquí se agrupan todos los elementos de control como PLCs, PCs, los cuales son los encargados del manejo de los dispositivos del nivel de campo.
3. Nivel de Supervisión: en este nivel se encuentran sistemas de supervisión y adquisición de datos; mediante estos sistemas todos los dispositivos del nivel de control se pueden comunicar. Un ejemplo son los sistemas SCADA.
4. Nivel de planificación: aquí se encuentran los sistemas de ejecución de la producción (MES), estos son sistemas para el control y monitorización de los procesos de trabajo en una planta para mejorar la productividad de la misma.
5. Nivel de gestión: este nivel es el encargado del control de la planta en su totalidad, incluso es posible enlazarse con sistemas de monitoreo y control de otras plantas.

Los dos últimos niveles son estrictamente administrativos. Es imprescindible establecer una comunicación entre dispositivos sean o no del mismo nivel, para ello existen diferentes protocolos de comunicación los cuales son lenguajes que los dispositivos son capaces de comprender.

1.4 Controlador Lógico Programable (PLC)

1.4.1 Definición

Un Controlador Lógico Programable (PLC) es un equipo electrónico de control, el cual posee un cableado interno que se adapta a un proceso determinado mediante un programa específico, donde se encuentra una secuencia que se debe realizar. (Balcells, y otros, 1998)

Para solucionar tareas de control complejas, en la actualidad suelen utilizarse controladores lógicos programables (PLC). Con estos controladores, el programa no está determinado por la conexión entre varios relés individuales, sino por el contenido del software. Los PLC principalmente procesan señales binarias. (Ebel, y otros, 2008)

Un PLC es un controlador basado en microprocesador que usa instrucciones guardadas en una memoria programable para implementar lógica, secuencia, temporización, cuenta y funciones aritméticas a través de E/S digitales y analógicas para controlar máquinas y procesos. (Totosaus Gómez, 2009)

En resumen, un PLC es un dispositivo de control industrial basado en microprocesadores; el cual posee una memoria programable o cableado interno, donde se alojan una o varias secuencias que se han de realizar de acuerdo a las necesidades de un proceso determinado, con lo que el funcionamiento de un sistema no está limitado a la conexión de relés.

El desarrollo de las operaciones que debe ejecutar el programa del PLC está definido por señales de entrada, que pueden originarse en sensores o elementos de mando; y señales de salida, que son órdenes hacia los actuadores y elementos indicadores. Las señales de entrada y salida pueden ser digitales o análogas. Un PLC ofrece múltiples ventajas, entre ellas se tiene:

- Sustitución de grandes y numerosos bloques de relés por bloques lógicos alojados en la memoria del PLC.
- Brinda una gran cantidad de funciones de control, como temporizadores, contadores, operaciones aritméticas, entre otras.
- Proporciona robustez y alta fiabilidad al sistema.

- Mejor capacidad en localización de fallos, ya que únicamente habría que acudir al programa.
- Los materiales necesarios son muy pocos, lo que incurre en una notable reducción de espacio físico para la instalación, la cual es muy sencilla.

1.4.2 *Arquitectura de un PLC*

Balcells y Romeral (1998), establecen que un PLC está compuesto principalmente de los siguientes bloques, como se muestra en la figura 3-1.

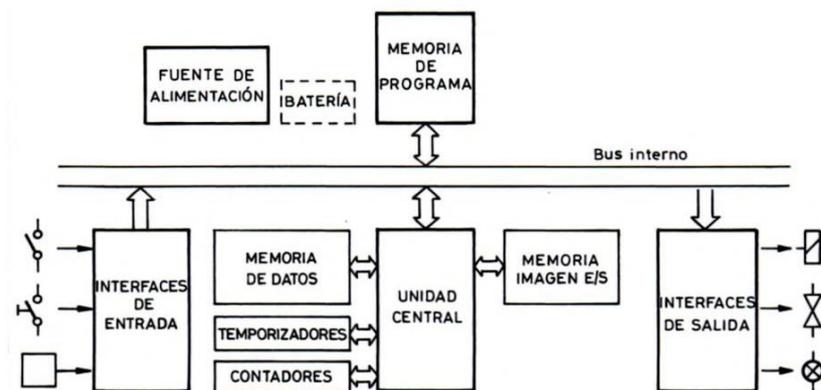


Figura 3-1. Bloques de un PLC

Fuente: Balcells y Romeral, 1998

1.4.2.1 *Unidad Central de Control (CPU)*

La unidad de control consulta el estado de las entradas y recoge de la memoria de programa las instrucciones que se deben ejecutar en secuencia, de dichas instrucciones se generan señales de salida que son enviadas al proceso. La unidad de control también se encarga de actualizar los temporizadores y contadores que hayan sido programados, además de realizar operaciones aritméticas y lógicas.

1.4.2.2 Memorias

En un PLC la memoria contiene todos los datos e instrucciones necesarios para ejecutar la tarea de control. En un PLC hay dos tipos de memoria: memoria interna y memoria de programa. La memoria interna es la responsable de almacenar datos de cálculos y variables internas que no aparecen directamente sobre las salidas, además de mantener en almacenamiento los últimos estados de las señales de entrada y salida. Por otra parte, en la memoria de programa está alojada la secuencia de operaciones que se deben realizar de acuerdo a las señales de entrada para obtener las señales de salida, también se encuentran varios parámetros de configuración del controlador.

1.4.2.3 Interfaces de Entrada y Salida

Mediante las interfaces de entrada y salida se logra establecer comunicación entre el PLC y la planta. La conexión con las señales de proceso, entradas y salidas, se la realiza a través de los bornes, las cuales deben comunicarse con el bus interno del autómeta. La interfaz se encarga de adaptar las señales manejadas en el proceso a los tipos empleados internamente por el PLC.

1.4.2.4 Bus interno

El bus interno es un conjunto de líneas o pistas que permiten la unión eléctrica y el intercambio de datos u órdenes ente el CPU, las memorias y las interfaces de E/S. Con el fin de reducir el número de conexiones, el conjunto de hilos es común y compartido por todos los periféricos del autómeta, debido a esto solamente un periférico puede ocupar el bus en un momento específico.

Dentro de un PLC existen tres buses característicos los que se unifican en el bus interno, así se tiene el bus de datos por donde se transfieren los datos del sistema, el bus de direcciones a través del cual se direcciona la memoria y el resto de periféricos, y por último se tiene el bus de control con el que se administran los intercambios de información.

1.4.2.5 Fuente de Alimentación

La fuente de alimentación proporciona, a partir de una tensión externa que por lo general se encuentra entre los 115 a 230 VAC, las tensiones necesarias para el correcto funcionamiento de los diferentes circuitos electrónicos del sistema, por lo general se trabaja con 24 VDC. En algunos casos, el PLC suele tener incorporada una batería, lo cual asegura el mantenimiento del programa y algunos datos en caso de alguna interrupción en el suministro de tensión externa.

1.4.3 Tipos de PLC

Los PLC se clasifican según su estructura, de esta forma se tienen autómatas compactos y modulares.

1.4.3.1 PLC Compacto

Un PLC se denomina compacto (figura 4-1) cuando en un único bloque se tienen la fuente de alimentación, la CPU, los módulos de entrada y salida y el puerto de comunicación. Estos PLC se caracterizan por tener un número fijo de entradas y salidas digitales no mayor de 40, es así que de acuerdo al número de E/S se pueden encontrar autómatas 6/4, 12/8, 14/10, 24/16. Sin embargo, si el proceso lo requiere, es posible añadir varios módulos especiales como: expansiones E/S, módulos de comunicaciones, E/S analógicas. Estos PLC son más económicos.

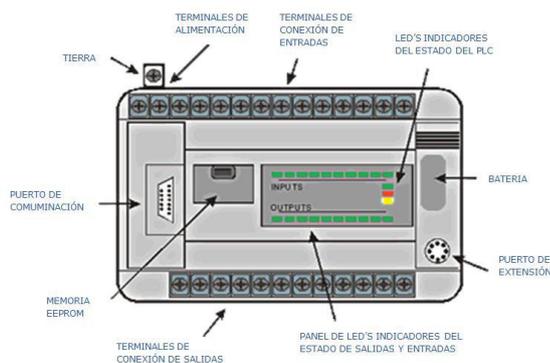


Figura 4-1. Estructura de un PLC Compacto

Fuente: <http://automatica.mex.tl/imagesnew/5/0/1/4/2/Presentaci%C3%B3n%20P.L.C..pdf>

1.4.3.2 PLC Modular

Un PLC Modular (figura 5-1) es todo lo opuesto a uno compacto, se tiene un conjunto de varios bloques que conforman el autómata, de esta forma la fuente de alimentación, la CPU, los módulos de entrada/salida, módulos de comunicación, son paquetes separados. Todos los componentes del son montados en un riel especial (rack), por medio de este riel todos los módulos disponibles se logran comunicar con la CPU.

Estos PLCs pueden soportan un elevado número de entradas y salidas ya sean digitales o analógicas, y cuentan con mayores funciones que los compactos, son capaces de almacenar muchos datos y programas de gran tamaño. Una de sus principales ventajas es que si se da el caso de algún fallo se puede reemplazar el módulo averiado sin intervenir en el funcionamiento del resto del sistema, sin embargo este tipo de autómatas resultan más costosos.

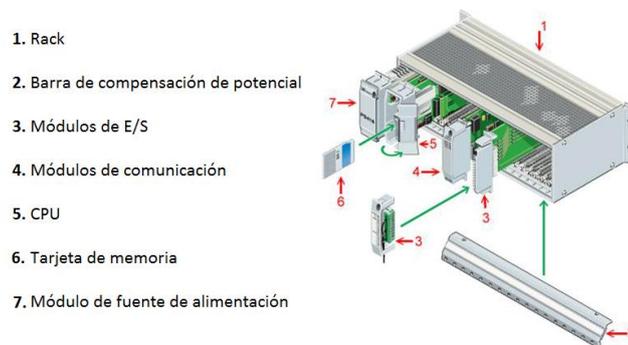


Figura 5-1. Estructura de un PLC Modular

Fuente: <http://automatica.mex.tl/imagesnew/5/0/1/4/2/Presentaci%C3%B3n%20P.L.C..pdf>

1.4.4 Estándar IEC 61131-3

1.4.4.1 Introducción

En la actualidad aún siguen persistiendo sistemas de control específicos del fabricante, con programación dependiente y conexión compleja entre distintos sistemas de control. Esto significa para el usuario costos elevados, escasa flexibilidad y falta de normalización en las soluciones al control industrial. (PLCopen, 2010)

Como una solución a esta problemática surgió el IEC 61131, éste es un conjunto de estándares relacionados con los PLCs y sus periféricos, con el objetivo de lograr una total compatibilidad de dispositivos, es decir, un programa de PLC tendrá que ejecutarse en cualquier hardware. Todo el estándar se encuentra dividido en ocho documentos que se mencionan a continuación:

- Parte 1: Información general, aquí se encuentran las definiciones de los términos utilizados en el estándar.
- Parte 2: Hardware, se incluyen especificaciones mecánicas, eléctricas y funcionales para PLCs y sus periféricos.
- Parte 3: Lenguajes de programación, se definen lenguajes de programación estandarizados.
- Parte 4: Guías de usuario, para el empleo del estándar en la implementación de sistemas.
- Parte 5: Comunicación, se mencionan protocolos de comunicación de datos entre los autómatas y otros sistemas.
- Parte 6: Seguridad funcional
- Parte 7: Programación en control difusa
- Parte 8: Guías para la aplicación e implementación de lenguajes de programación.

La tercera parte del IEC 61131-3 trata sobre los lenguajes de programación para autómatas programables, el estándar asume en todo instante que los valores provenientes de los sensores externos, encargados de obtener la valoración de las diferentes cantidades físicas, se encuentran disponibles en locaciones definidas de memoria en un PLC; de igual forma los valores de salida, encargados de controlar actuadores e indicadores, serán exteriorizados al actualizar locaciones definidas de memoria. (Orozco Gutiérrez, y otros, 2008)

El IEC 61131-3 es un documento de aproximadamente 200 páginas, 60 tablas. Para comprender de mejor forma los contenidos del estándar es muy común dividirlo en dos partes: elementos comunes y lenguajes de programación.

1.4.4.2 Elementos Comunes

El estándar menciona varios elementos comunes.

- *Unidades de organización de programa (POU)*: las POU son las unidades de software más pequeñas en un programa de usuario. Existen tres tipos de POU: funciones (FUN), bloques de función (FB) y programas (PROG). Las funciones generan una única salida, la cual depende únicamente de los argumentos de entrada. Los bloques de función, por otra parte, tienen una o más salidas, las que no dependen sólo de los argumentos de entrada sino también de un registro de datos que poseen.

El estándar predefine un interfaz de llamado y comportamiento de funciones (operaciones lógicas y aritméticas), y bloques de funciones (contadores, temporizadores). Los programas representan el escalón más alto dentro de un programa de usuario, tienen la capacidad de acceder a las E/S del PLC, se puede definir un programa como el conjunto de funciones y bloques de función, el estándar define varios lenguajes de programación.

- *Tipos de datos*: tienen el propósito de prevenir errores, como por ejemplo la división de un dato tipo fecha por un número entero. Los tipos de datos más comunes son booleanos (BOOL), número entero (INTEGER), número real (REAL), byte (BYTE), palabra (WORD), fecha (DATE), hora (TIME) y cadenas (STRING). Además el usuario también puede definir sus propios tipos de datos, conocidos como datos derivados. (PLCopen, 2010)
- *Variables*: son elementos para guardar y procesar información, su contenido puede variar constantemente, según el estándar la ubicación en memoria de las variables está administrado automáticamente por el sistema de programación y cada una de las ellas tiene un tipo de dato fijo. Las variables también pueden ser asignadas a una determinada dirección de E/S. Existen variables locales, su extensión se limita a una unidad de organización; y variables globales, cuya extensión es a través de todo el sistema. (John, y otros, 2001)

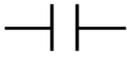
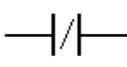
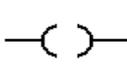
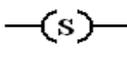
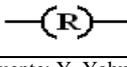
1.4.4.3 Lenguajes de Programación

Cada fabricante de PLC tiene su propio software de programación, con el objetivo principal de tener compatibilidad entre las diferentes marcas de controladores disponibles en el mercado, el estándar define cuatro lenguajes de programación.

Dos lenguajes gráficos: diagrama ladder o escalera (LD), diagrama de bloques de funciones (FBD) y bloques de función secuenciales (SFC); y dos lenguajes textuales: texto estructurado (ST) y lista de instrucciones (IT). Se incluye además una forma de programación conocida como diagrama funcional secuencial (SFC).

El lenguaje Ladder (LD), también conocido como lenguaje de contactos o escalera, es un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro los PLCs, debido a que está basado en los esquemas eléctricos de lógica cableada, con una simbología algo similar (tabla 2-1). Con lo cual resulta muy fácil adaptarse a la programación en este tipo de lenguaje. (Yahuachi, 2009)

Tabla 2-1: Simbología básica del lenguaje ladder

Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NO	Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa una entrada, una variable interna o un bit de sistema.
	Contacto NC	Su función es similar al contacto NO, pero en este caso se activa cuando hay un cero lógico.
	Bobina NO	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada da un uno lógico. Suele representar elementos de salida o variables internas.
	Bobina NC	Su comportamiento es complementario al de la bobina NO.
	Bobina SET	Una vez activa no se puede desactivar si no es por su correspondiente bobina en RESET. Sirve para memorizar bits.
	Bobina SET	Permite desactivar una bobina SET previamente activada.

Fuente: Y. Yahuachi, 2009

Un diagrama ladder se compone de dos líneas verticales, que entregan la alimentación para los elementos del diagrama que se colocan en líneas horizontales, se asume que el flujo de información va desde la línea izquierda a la derecha, y de arriba hacia abajo. (Orozco Gutiérrez, y otros, 2008)

Por otra parte, *el lenguaje de bloques de funciones (FBD)* es un lenguaje simbólico en el que las distintas combinaciones entre variables se representan mediante símbolos lógicos (figura 6-1). Este lenguaje de programación está especialmente indicado para los usuarios familiarizados con la Electrónica Digital y al igual que el esquema de contactos, necesita una unidad de programación dotada de pantalla para visualizar el diagrama. (Mandado Pérez, y otros, 2009)



Figura 6-1. Símbolos OR y AND (FBD)

Fuente: Mandado Pérez y otros, 2009

El lenguaje de texto estructurado (ST), es un lenguaje textual de alto nivel que ha sido desarrollado específicamente para aplicaciones de control industrial. El lenguaje tiene un amplio rango de sentencias para la asignación de valores a variables, llamado a funciones o bloques de función, crear expresiones, entre otros. Un programa es un conjunto de sentencias separadas por el carácter “;” con lo que una sentencia puede escribirse en varias líneas, también se puede incluir comentarios. (Lewis, 1998)

```

IF ( BotonPartir OR Motor ) AND NOT BotonParar THEN
    Motor := TRUE;
ELSE
    Motor := FALSE;
END_IF;

```

Figura 7-1. Ejemplo de programa ST

Fuente: <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/2150512/ContenidoLinea/image038.jpg>

El lenguaje de lista de instrucciones (IL), es un lenguaje de bajo nivel muy similar a los lenguajes de ensamblador. Por lo general, se emplea con el fin de implementar soluciones sencillas caracterizadas por tener un flujo secuencial en la ejecución. En este lenguaje una instrucción abarca una línea, cada instrucción se compone de una etiqueta un operador o función, uno o más operandos y un comentario (opcional). (Orozco Gutiérrez, y otros, 2008)

LD: Operación inicio contacto abierto.
LD NOT: Operación inicio contacto cerrado.
AND (Y): Contacto serie abierto.
OR (O): Contacto paralelo abierto.
AND NOT: Contacto serie cerrado.
OR NOT: Contacto paralelo cerrado.
OUT: Bobina de relé de salida.
MEM . Relé interno o Marca
TMR: Temporizador.
CNT: Contador.

Figura 8-1. Operadores y funciones IL

Fuente: <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/2150512/ContenidoLinea/image040.jpg>

El diagrama funcional secuencial (SFC), es un modo gráfico que provee una representación diagramática de secuencias de control en un programa, el SFC es similar a un diagrama de flujo. SFC resulta muy útil en operaciones de flujo secuencial, donde un programa permite el paso de un punto a otro siempre y cuando una condición sea cumplida. Contiene tres principales elementos: pasos o etapas, transiciones o condiciones y acciones. (Yahuachi, 2009)

1.4.5 Gráfico Funcional de Comando Etapa Transición (GRAFCET)

El GRAFCET nació como resultado de los trabajos de la AFCET (Asociación Francesa para la Cibernética Económica y Técnica), iniciados en la década de los setenta, para satisfacer la necesidad de disponer de un método de descripción de procesos mediante un gráfico funcional, independientemente del tipo de tecnología que se emplee. (Balcells, y otros, 1998)

El GRAFCET es una herramienta para la representación de automatismos, que deben llevar a cabo una determinada secuencia. Es un método gráfico que permite establecer el orden de las acciones que el automatismo debe realizar y en qué condiciones se deben ejecutar estas acciones. (Domingo Peña, y otros, 2004)

A menudo se suele confundir al GRAFCET como un lenguaje de programación, pero no es así, éste es un método que permite describir el funcionamiento secuencial de un automatismo. Una vez obtenido el gráfico, es posible desarrollar el programa correspondiente en cualquiera de los lenguajes de programación descritos en el apartado anterior. Un GRAFCET se compone de tres elementos principales: etapas, acciones y transiciones (figura 9-1).

Las etapas, son los pasos secuenciales que conforman el automatismo, representan cada uno de los estados del sistema. Dentro del grafcet se tienen dos tipos de etapas: inicial y activas. La etapa inicial, un cuadrado con doble línea, indica el estado inicial del sistema. Las etapas activas, un cuadrado simple, representan una situación de espera o pausa. Dentro del símbolo de cualquier etapa se ubica un número que la identifica, las etapas se conectan entre sí por medio de líneas (uniones). Una etapa siempre lleva asociada una o varias acciones a su derecha del gráfico.

Las acciones, son las actividades que se deben ejecutar cada vez que se haya activado su etapa asociada. Las acciones pueden ser externas, cuando se supone la activación o desactivación de componentes del hardware (actuadores); o internas, cuando se las asocia a elementos del software (temporizadores, contadores). Dentro del grafcet, las acciones pueden ser expresadas breve o detalladamente.

Las transiciones, son las condiciones que se deben cumplir para que se produzca el paso de una etapa a otra, se representan con una línea perpendicular a las uniones. Cada transición tiene asociada una receptividad, que es una proposición lógica en función de variables internas (temporizadores, contadores) o externas (sensores, elementos de mando). La receptividad se ubica, por lo general, a la derecha de su transición correspondiente.

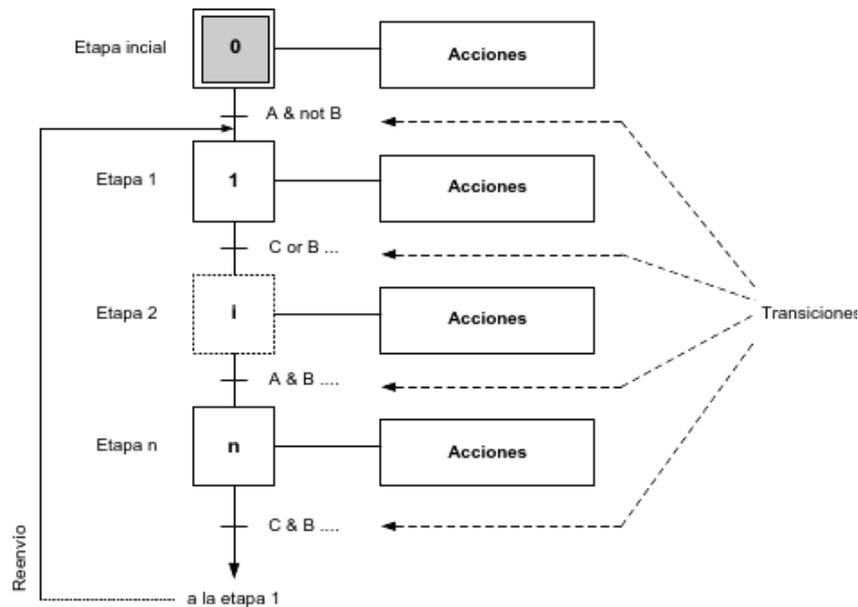


Figura 9-1. Componentes del GRAFCET.

Fuente: Daneri, 2008

1.4.6 Selección del PLC

Daneri (2008) menciona que, para la selección correcta del PLC se deben tener en cuenta, fundamentalmente, el número de señales de entrada y salida capaz de manejar, y la complejidad de operaciones que puede realizar. Se entiende por señales de entrada al conjunto de consignas y realimentaciones que ingresan al controlador, y por señales de salida, al conjunto de señales de control obtenidas del PLC. Tanto las señales de entrada como las de salida, pueden ser analógicas y/o digitales. Al momento de elegir el equipo suele ser conveniente destinar un 20% de reserva, tanto de canales de entrada, como de salida para posibles expansiones en el futuro.

Adicional a los dos criterios mencionados con anterioridad, otros aspectos importantes tomados en cuenta para la selección del PLC son: ciclo de ejecución, protocolos de comunicación, conjunto de instrucciones, capacidad de memoria del programa, módulos de expansión. Todos éstos son conocidos como criterios cuantitativos.

Por otra parte, existen otros aspectos que no pueden ser medidos y que de cierta forma determinan la calidad del controlador, conocidos como criterios cualitativos, entre los cuales se tiene: fiabilidad del autómata, información accesible al usuario, soporte técnico por parte del fabricante, disponibilidad de repuestos, software de programación y el costo; este último, por lo general es uno de los criterios más determinantes para la selección del autómata.

1.5 Sensores

1.5.1 Definición

Mandado Pérez y otros (2009), expresan que, no existe una única definición de sensor aceptada de manera universal. Se considera que, en general, un sensor es todo dispositivo que genera una señal de una determinada forma física (presión, nivel, temperatura, etc.), convertible en otra señal de una forma física diferente; el elemento que realiza dicha conversión se suele denominar transductor. Cada vez es más usual denominar sensor o elemento sensor al conjunto formado por el dispositivo sensor, anteriormente descrito, y el transductor acoplado a él.

Pallás Anery (2003), menciona que, se denomina transductor a todo dispositivo que convierte una señal de una forma física en una señal correspondiente pero de otra forma física distinta, por lo tanto, es un dispositivo que convierte un tipo de energía en otro. En la práctica, se considera como transductor al elemento que ofrece una señal de salida eléctrica. Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía el medio donde se mide, da una señal transducible que es función de la variable de medida.

En resumen, un sensor es un dispositivo que convierte una señal física de un tipo (temperatura, distancia, presión) en una señal física de otra naturaleza, por lo general eléctrica (voltaje, resistencia, corriente), en este proceso se extrae algo de energía del sistema donde se mide, por lo tanto, es importante asegurarse que dicha extracción no altere el funcionamiento del mismo. La señal eléctrica de salida de un sensor debe ser acondicionada, esto significa traducir su magnitud en valores que el controlador pueda comprender, para el acondicionamiento se requieren etapas adicionales como amplificación y filtraje de la señal.

Existen varias formas de clasificar los sensores, por el principio físico de funcionamiento: inductivos, capacitivos, resistivos; por la variable física medida: temperatura, presión, posición, distancia; por el tipo de señal de salida: digitales o analógicos; por la capacidad de generar energía: activos, si no requieren un circuito de excitación y pasivos si lo necesitan.

1.5.2 Características de un Sensor

Creus Solé (2011), expone que los instrumentos de control empleados en las industrias, tienen su propia terminología, que definen las características propias de los diferentes instrumentos. La terminología ha sido unificada con el fin de que fabricantes, usuarios y entidades que intervienen en el campo de la instrumentación industrial emplee el mismo lenguaje.

Los términos y sus definiciones son los siguientes:

- *Campo de medida*: es el conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida del instrumento. Se representa estableciendo los dos valores extremos del intervalo. De esta característica se deriva el Alcance, que es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento.
- *Error de la medida*: es la desviación que presentan las medidas prácticas de una variable con relación a las medidas teóricas, como consecuencia de las imperfecciones de los aparatos y variables parásitas que afectan al proceso.
- *Exactitud*: es la capacidad de un sensor de dar lecturas próximas al valor verdadero de la magnitud medida, la exactitud define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales.
- *Precisión*: es la cualidad de un instrumento por la que tiende a dar lecturas muy próximas unas a otras, es decir, es el grado de dispersión de las mismas.
- *Zona muerta*: campo de valores de la variable de entrada para los cuales el instrumento de medición no produce respuesta.
- *Sensibilidad*: es la razón entre el incremento de la variable de salida y el incremento de la variable que lo produce. Viene dada en un tanto por ciento del alcance de la medida.

- **Histéresis:** es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por la señal de salida para el mismo valor, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente. Se expresa en tanto por ciento del alcance de la medida.

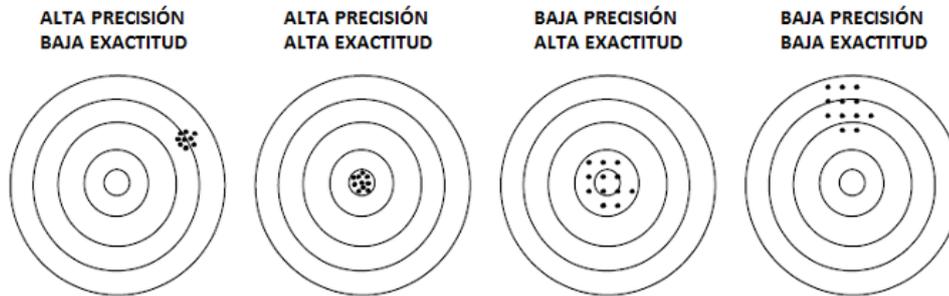


Figura 10-1. Exactitud y precisión

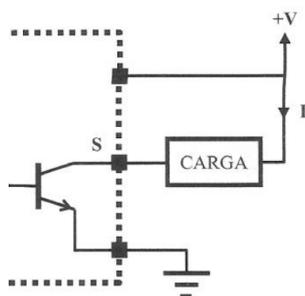
Fuente:ingenieriaelectronica.org/wp-content/uploads/

1.5.3 Sensores Inductivos

1.5.3.1 Introducción

Los sensores inductivos son sensores digitales de proximidad sin contacto. Son digitales ya que tienen únicamente dos estados: activado (con presencia de un objeto), o desactivado (sin presencia de un objeto); y sin contacto ya que detecta objetos sin la necesidad de un contacto físico.

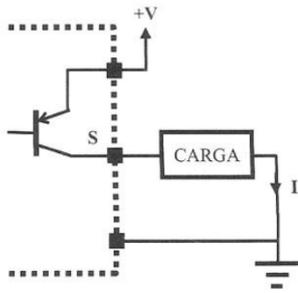
Al ser digitales, estos sensores pueden tener salida normalmente abierta (NO) o normalmente cerrada (NC), para sensores de tres hilos; o ambas, NO y NC, para sensores de cuatro hilos. Se tienen dos tipos de sensores de acuerdo al tipo de transistor con el que se ha implementado la salida, así se tiene sensores NPN (figura 11-1) y PNP (figura 12-1).



Salida NO		Salida NC	
Presencia de objeto	Ausencia de objeto	Presencia de objeto	Ausencia de objeto
S = 0V	S = +V	S = +V	S = 0V
I > 0	I = 0	I = 0	I > 0

Figura 11-1. Funcionamiento y comportamiento de sensor NPN

Fuente: Mandado y otros, 2009



Salida NO		Salida NC	
Presencia de objeto	Ausencia de objeto	Presencia de objeto	Ausencia de objeto
$S = +V$	$S = 0V$	$s = 0V$	$S = +V$
$I > 0$	$I = 0$	$I = 0$	$I > 0$

Figura 12-1. Funcionamiento y comportamiento de sensor PNP

Fuente: Mandado y otros, 2009

Para su funcionamiento, estos sensores requieren de una fuente DC, por lo general entre los 10-30 VDC. Para diferenciar los terminales de un sensor, ya sea de tres o cuatro hilos, se tiene un código de colores normalizado: el marrón (BN) se conecta con $V+$, el azul (BU) se conecta con $V-$, el negro (BK) representa el contacto NO y el blanco (WH) representa el contacto NC.

1.5.3.2 Funcionamiento y Partes

Mandado y otros (2009), definen las siguientes partes que conforman un sensor inductivo.

- Una bobina, construida sobre un núcleo de hierro, que constituye el elemento sensor, y un oscilador LC del que forma parte.
- Un rectificador con un filtro paso-bajo que proporciona una tensión continua a partir de la señal alterna de la salida del oscilador.
- Un comparador que proporciona dos tensiones distintas a la salida, una en presencia de objeto y otra en ausencia del mismo. Dicho comparador posee histéresis para garantizar que la salida del sensor no oscila cuando el objeto está situado justamente en la zona en la que comienza a ser detectado por el sensor.
- Una etapa de salida que, por lo general, viene implementada con transistores.

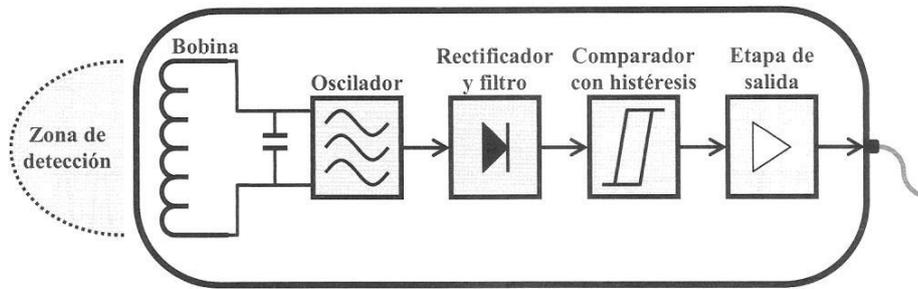


Figura 13-1. Diagrama de bloques de un sensor inductivo

Fuente: Mandado y otros, 2009

Para comprender el funcionamiento de un sensor inductivo, es conveniente tratar en primer lugar sobre la permeabilidad magnética (μ_r), ésta es una característica propia de cada material que representa qué tan buen conductor de campo magnético es. Desde este punto de vista, existen tres tipos de materiales: ferromagnéticos ($\mu_r \gg 1$), diamagnéticos ($\mu_r > 1$) y paramagnéticos ($\mu_r < 1$).

Al hacer pasar una corriente eléctrica a través de la bobina del sensor se genera un campo magnético, si se acerca un material ferromagnético a la bobina las líneas de campo atraviesan el material, induciendo en él corrientes de Foucault. Estas corrientes, generan otro campo magnético opuesto al generado por la bobina, con lo que varía el valor de la inductancia de la misma; lo cual afecta de forma directa al oscilador.

El circuito LC está calculado para que oscile en ausencia de material ferromagnético, en presencia de este material el circuito deja de oscilar debido al cambio del valor de la inductancia de la bobina. Con un material paramagnético, la detección se produce a menor distancia que en el caso de los ferromagnéticos y si es diamagnético disminuye todavía más, e incluso puede llegar a no detectarse. (Mandado Pérez, y otros, 2009)

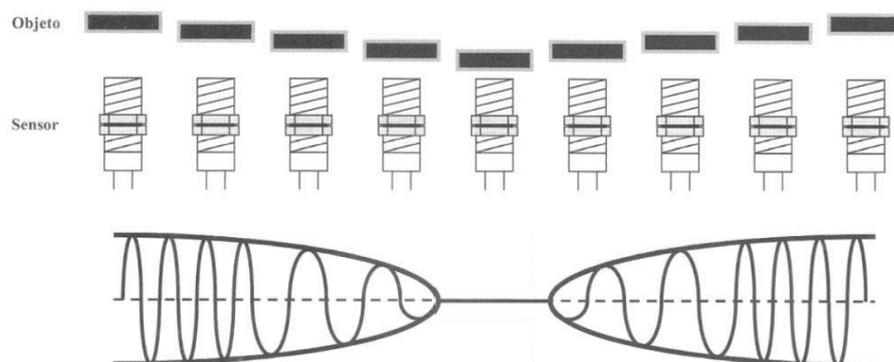


Figura 14-1. Comportamiento del oscilador en un sensor inductivo

Fuente: Mandado y otros, 2009

1.5.3.3 Características Técnicas

Algunas características propias de este tipo de sensores, se mencionan a continuación:

- *Distancia de detección:* es la distancia máxima nominal que el sensor puede detectar un objeto estándar, esta distancia puede variar debido a varios factores como la temperatura ambiente, tolerancias establecidas por el fabricante, tensión de alimentación, etc. La distancia de detección de trabajo es el campo de funcionamiento seguro del sensor, donde se garantiza la detección del objeto independientemente de los factores externos. Viene comprendido entre el 0 y el 81% de la distancia nominal. (Mandado Pérez, y otros, 2009)
- *Frecuencia:* es el número de cambios de estado que el sensor es capaz de realizar por unidad de tiempo, de esta característica se deriva la velocidad del objeto la cual no debe superar un máximo para que el objeto pueda ser detectado, y la distancia mínima entre dos objetos consecutivos para que ambos puedan ser detectados por el sensor.

1.5.3.4 Consideraciones para la instalación

Mandado Pérez y otros (2009), mencionan que, a la hora de la instalación de estos sensores, es importante tomar en cuenta tres aspectos:

- *Las interferencias mutuas:* se producen cuando dos o más sensores se instalan demasiado cerca, situados de frente o lateralmente, esto puede hacer variar la distancia de detección. Para evitar esto, se deben instalar los sensores con una distancia mínima, establecidas por los fabricantes. Si no hay posibilidad de separar los sensores la distancia mínima, se puede alternar detectores con diferentes frecuencias de oscilación.
- Los metales del entorno: pueden alterar las características del sensor, éstos deben estar situados a una distancia mínima establecida por el fabricante.
- Las interferencias electromagnéticas: estos sensores son sensibles a los campos magnéticos presentes en el entorno de trabajo, para reducir las posibilidades de un fallo en el funcionamiento se deben tomar algunas medidas: emplear un cable apantallado para la conexión, separar los cables del sensor de los de potencia.

1.5.4 Sensores de Proximidad con Contacto

1.5.4.1 Introducción

Estos sensores son también conocidos como finales de carrera, interruptores de posición, o sensores mecánicos. Es un dispositivo que modifica el estado de su contacto eléctrico cuando un objeto en movimiento ejerce una presión sobre él. Su robustez y gran fiabilidad hacen que este tipo de sensores sean ideales para ambientes industriales extremos, pueden manejar directamente cargas de AC o DC.

1.5.4.2 Partes

Cerdá Filiu (2014), menciona las siguientes partes constitutivas de un sensor de posición:

- Contactos eléctricos: por lo general se incluye un contacto normalmente abierto (NO) y un normalmente cerrado (NC). Estos contactos pueden ser de acción lenta o rápida.
- Accionador: es la parte que entra en contacto con el objeto a detectar, se pueden tener actuadores lineales de émbolo o de rodillo, o actuadores circulares de palanca de rodillo.
- Cabezal de accionamiento: es el elemento que transforma el movimiento del actuador en movimiento de accionamiento de los contactos eléctricos.
- Cuerpo: es el contenedor que protege a los contactos eléctricos y el cabezal de accionamiento. De acuerdo al lugar de instalación, el cuerpo puede ser plástico o metálico.
- Fijaciones: son orificios que permiten la fijación del interruptor, con el fin de que permanezca estático. Los orificios suelen ser un poco alargados para un mejor ajuste.

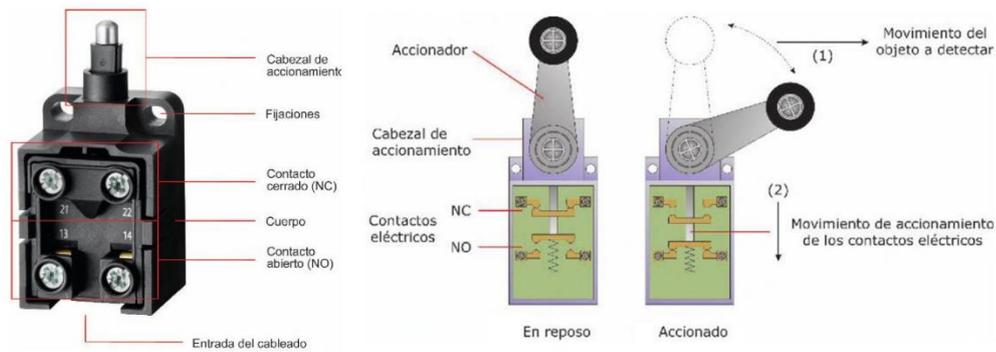


Figura 15-1. Funcionamiento y partes de un interruptor de posición

Fuente: Cerdá Filiu, 2014

1.5.4.3 Características Técnicas

- **Tensión y corriente máxima:** representa la máxima tensión y corriente que el contacto eléctrico es capaz de soportar en circuito abierto, los fabricantes especifican en sus hojas de datos los valores de tensión e intensidad en corriente alterna y continua para diferentes tipos de cargas.
- **Corriente pico máxima:** representa el valor máximo que soporta el contacto del interruptor en cortocircuito, de igual forma los fabricantes la especifican en sus manuales, es una característica determinante para elegir el tipo de dispositivo de acuerdo a la carga que se ha de conectar.
- **Frecuencia de operación:** corresponde al número de cambios de estado que puede soportar el interruptor por unidad de tiempo sin que el contacto se deteriore. Si se sobrepasa este valor la vida útil se reduce de forma considerable.
- **Vida útil:** este parámetro establece el número mínimo de maniobras mecánicas (vida útil mecánica), que establece el fabricante siempre y cuando se respeten los límites establecidos en las hojas de datos. También se incluye el mínimo de aperturas y cierres del contacto eléctrico (vida útil eléctrica); el proveedor expresa este parámetro como un gráfico en función a los niveles de tensión y corriente (alterna o continua) que el interruptor maneja, frecuencia de operación, factor de potencia, etc.

1.6 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

1.6.1 Introducción

Dentro de todo proceso existen dos actividades fundamentales: control y supervisión; para ello es necesaria un interfaz de usuario. En ISO 9241-110, el término interfaz de usuario se define como "todas las partes de un sistema interactivo (software o hardware) que proporcionan la información y el control necesarios para que el usuario lleve a cabo una tarea con el sistema interactivo". La interfaz hombre-máquina (HMI) es el punto de acción en que el operador entra en contacto con una máquina, el caso más simple es el de un interruptor. (COPA-DATA, 2016)

En sistemas un poco más antiguos, el interfaz de comunicación con el usuario consistía en paneles con elementos de mando (digital o analógico), dispositivos de señalización (luces piloto), equipos de medición; lo que representaba gran cantidad de espacio ocupado, muchos dispositivos, confusión en su operación y regularidad en el mantenimiento.

Los sistemas actuales son mucho más versátiles, consisten en pantallas para el control y monitoreo total o parcial del proceso, se pueden incluir tablas históricas, gráficos de tiempo, diagramas, alarmas, elementos de control, medidores, etc.; a más de esto se puede realizar adquisición de datos, sistemas SCADA. Las señales del proceso que ingresan al interfaz provienen de varios dispositivos de campo (sensores y actuadores) y control (PLC, variadores de frecuencia).

Todos los elementos que se comuniquen directamente con el HMI deben "hablar el mismo idioma", para ello se tienen diferentes protocolos de comunicación industriales que permiten el intercambio de información entre estos dispositivos, uno de los más populares es el MODBUS, que permite la comunicación vía Serial (RS-232/485) o vía Ethernet. Entre los tipos de HMI, de acuerdo al tipo de plataforma que está implementado, se tienen:

- *Paneles de operador:* son dispositivos dedicados para esta actividad, vienen equipados con una pantalla, un procesador, memoria, registros internos y puertos de comunicación. La mayoría de los paneles actuales incorporan una pantalla táctil y, en ocasiones, algunos botones, lo cual permite un interfaz amigable con el usuario. Cada fabricante tiene su propio software para el desarrollo en la PC de cada una de las ventanas de control y monitoreo.

- *Software HMI*: son programas que incluyen la mayoría de funciones principales de un sistema SCADA, algunos de ellos: WinCC, NI Lookout, LabVIEW, FIX, Wonderware. Se pueden desarrollar interfaces más sencillas en entornos de programación orientada a objetos, como: Visual Basic, Visual C#, Delphi.

1.6.2 Funciones

- **Monitoreo y supervisión**: el interfaz debe obtener los datos de la planta y plasmarlos en la pantalla en tiempo real, es decir, mostrar el estado del proceso. Esto se lo puede realizar mediante gráficos de tiempo o elementos medidores, para variables continuas, y con indicadores luminosos (luces piloto), para variables digitales.
- **Alarmas**: son eventos a los que se debe prestar mayor atención ya que significan alguna situación anormal dentro del proceso. Una alarma puede ser representada por medio de símbolos intermitentes y colores llamativos en la pantalla del HMI, a través de indicadores sonoros como balizas o zumbadores, principalmente.
- **Ejecutar acciones de mando**: son señales enviadas desde el HMI al controlador para ordenar el inicio o paro del proceso, seleccionar una tarea que se desee realizar, etc.; estas señales pueden ser digitales o analógicas. Los elementos de mando pueden ser los convencionales (pulsadores, selectores, potenciómetros), estar implementados en una de las ventanas del interfaz, o ambos.
- **Registro de datos históricos**: se debe almacenar y registrar todos los datos del proceso y eventos, cada cierto intervalo de tiempo, para conocer cuál ha sido el comportamiento de la planta en un momento determinado. Al tener acceso a estos datos es posible detectar algunos fallos y corregirlos, e incluso mejorar el proceso.

1.7 Sistema Mecánico

1.7.1 Caja Reductora

También conocida como reductor de velocidad o reductor mecánico, es un mecanismo compuesto por engranajes que se encarga de reducir la velocidad angular, entregada por un motor, al mismo tiempo se aumenta el par/torque generado a la entrada en la misma proporción; dentro del reductor se encuentra aceite hidráulico que ayuda con la lubricación y enfriamiento del mismo. Al conjunto caja-motor se lo conoce como *motorreductor*.

Una característica importante es la relación de reducción, que representa el número de revoluciones en la entrada que generan una revolución a la salida, se expresa en forma de fracción, así se tienen cajas 10:1, 30:1, 60:1, para obtener este valor se relacionan las RPM del motor y las RPM a la salida. Un error muy común es pensar que se puede reemplazar un reductor con un variador de frecuencia, con este último no es posible aumentar el par entregado por el motor.



Figura 16-1. Interior de un reductor de velocidad

Fuente: <http://www.serindustria.com/reductores-velocidad/>

1.7.2 Cadenas y Correas de Transmisión

Una correa de transmisión es una cinta flexible, por lo general de goma o caucho, que transmite potencia mecánica entre dos o poleas, una conductora y otra conducida, separadas una distancia considerable, la transmisión por correas basa su funcionamiento en la fricción. Un aspecto muy importante es la tensión de montaje de la correa, especificada por el fabricante; con tensiones bajas se produce deslizamiento de la correa lo que genera calentamiento en la misma, además que la transmisión de movimiento no es efectiva; por otro lado, tensiones altas en la correa reduce considerablemente la vida útil de todo el sistema (correas, poleas, ejes y rodamientos). En la práctica es recomendable tensar las correas en un nivel un poco mayor que el establecido.

Una cadena de transmisión cumple la misma función que una correa, una cadena está formada de eslabones articulados que se acoplan a ruedas dentadas, que actúan en lugar de poleas; la transmisión por cadenas se aplica en casos donde la distancia entre los ejes es corta, un claro ejemplo se lo puede apreciar en toda bicicleta.

A diferencia de la transmisión por correas, las cadenas no funcionan en base a la fricción, por lo que no se produce deslizamiento, además no requieren ser tensadas y resultan más duraderas que las correas. Por otro lado, las cadenas necesitan mantenimiento continuo y una lubricación adecuada, y su implementación resulta más costosa que una transmisión por correas.



Figura 17-1. Correa y cadena de transmisión

Fuente: <http://n6auto.elobot.es/sig/200.jpg>

1.7.3 Motor de Inducción

Un motor es una máquina eléctrica rotativa, transforma la energía eléctrica en energía mecánica, su funcionamiento se basa en el concepto de campo magnético giratorio. Todo motor consta de un estator (inductor) y un rotor (inducido) montado sobre cojinetes y separado del estator por un entrehierro. El núcleo del estator, hecho de laminaciones de hierro, lleva conductores colocados en ranura conectados de una forma predeterminada, estos conductores los devanados de armadura. La corriente alterna alimentada a los devanados del estator, genera un campo magnético giratorio senoidal distribuido por el entrehierro.

El rotor está formado por un apilamiento de chapas de hierro que forman un cilindro, donde se coloca el devanado; el rotor más común es el de forma de jaula de ardilla donde se tienen los conductores puestos en cortocircuito por dos anillos laterales, en los que se inducen corrientes debido al campo creado en el estator, es por esta razón que a estos motores reciben el nombre de máquinas de inducción. También se las conoce como máquinas asíncronas ya que la velocidad de giro del rotor no está en sincronismo con la determinada por la frecuencia de la red.

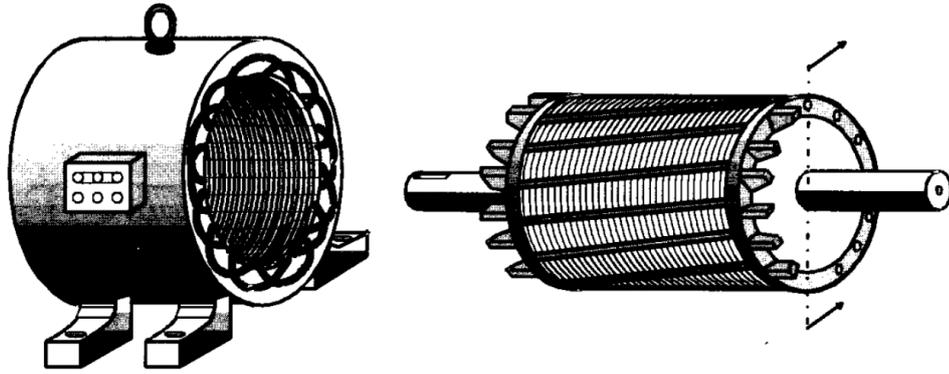


Figura 18-1. Estator y rotor jaula de ardilla en un motor de inducción.

Fuente: Fraile Mora, 2003

1.8 Sistema Hidráulico

1.8.1 Introducción

La hidráulica se basa en los principios de la hidrostática y la hidrodinámica que constituyen la mecánica de fluidos. Se conoce que los líquidos son incompresibles, si sobre una masa líquida se ejerce una fuerza, ésta se transmite a todos sus puntos; una fuerza F aplicada sobre un área A , produce una presión P , que se transmite en todas direcciones y cuyo valor es el mismo en cualquier punto, a este principio se lo conoce como la Ley de Pascal. (Cembranos Nistal, 2008) Los componentes principales de un sistema hidráulico son: bomba, tanque de almacenamiento, válvulas, actuadores, mangueras y, por supuesto, fluido hidráulico.

1.8.2 Aceite

En principio, cualquier líquido es apropiado para transmitir presión. No obstante, el líquido utilizado en un sistema hidráulico tiene que cumplir ciertas funciones: transmitir la presión, lubricar las partes móviles de los equipos, disipar el calor producto de la transformación de energía, amortiguar vibraciones causadas por picos de presión, proteger ante corrosión, eliminar partículas abrasiva, además de utilizar líquidos difícilmente inflamables. Los fluidos elaborados con aceites minerales, cumplen con todos los requisitos antes mencionados y por esto son los más utilizados en la industria. (Maza Cabello, 2009)

1.8.3 Bomba Hidráulica

Las bombas hidráulicas convierten la energía mecánica generada por un motor primario (eléctrico, de combustión interna) en energía hidráulica. El principio de acción es común para todo tipo de bomba, se genera un volumen creciente del lado de la succión y un volumen decreciente del lado de la presión. En ambientes industriales las bombas de desplazamiento positivo son las más empleadas, este tipo de bombas se caracterizan por enviar una cantidad fija de fluido en cada revolución del eje impulsor de la bomba, la mayoría de estas bombas operan con líquidos de un amplio rango de viscosidades. (Maza Cabello, 2009) (Mott, 2006)

Dentro de las bombas de desplazamiento positivo, existen dos tipos: rotatorias y recíprocas. Dentro de las bombas rotatorias, se tiene una de particular interés, la *bomba de engranes*. Este tipo de bomba se compone de dos engranes que giran dentro de una carcasa, en sentido contrario muy ajustados uno con el otro; el fluido se lleva al puerto de succión y se conduce en los espacios entre los dientes al puerto de descarga, donde se envía a alta presión al sistema. (Mott, 2006)



Figura 19-1. Bomba de engranes

Fuente: http://www.cbs.grundfos.com/CBS_Master/

1.8.4 Tanque de Almacenamiento, Filtro y Mangueras

Como su nombre lo indica, es el encargado del almacenaje del fluido hidráulico. Además de esto, el taque debe ser capaz de eliminar el calor y no permitir el ingreso de la suciedad externa, por lo general es hermético. Algunas de las partes de un tanque son: la tapa de llenado, que sella la abertura empleada para añadir aceite, debe mantener los contaminantes lejos de la misma, la mirilla, es un elemento transparente a través del cual es posible revisar el nivel de aceite y el drenaje, ubicado en el punto más bajo permite extraer el aceite y contaminantes.

Un componente muy importante es el filtro de aceite, el cual es el encargado de mantener el aceite en óptimas condiciones para su uso. El filtro separa impurezas presentes en el fluido, por lo general estas partículas provienen de los actuadores, con el fin de que ingrese algún elemento extraño a la bomba. El fluido es conducido a través de mangueras, las que deben estar libres de perforaciones, impurezas y permitir la menor cantidad de pérdidas por fricción.

1.8.5 *Electroválvula*

Una válvula es un dispositivo mecánico compuesto por un cuerpo y una pieza móvil, que conecta y desconecta conductos dentro del cuerpo, se encarga de regular la puesta en marcha, el paro, la dirección, la presión y caudal del fluido enviado por la bomba. (Maza Cabello, 2009)

Una válvula distribuidora, transporta el flujo de aceite en una dirección determinada, lo que permite el control de los actuadores. Una válvula 4/2 (figura 20-1), de 4 vías y 2 posiciones, permite el paso del fluido en ambas direcciones. Cuando la válvula está en reposo, la vía de entrada P está conectada con la vía A, mientras que la vía B está puesta al escape T. Al accionar la válvula el fluido circula de P hacia B y de A hacia T. (Cembranos Nistal, 2008)

Una válvula donde uno o ambos accionamientos se realizan por medio de un electroimán, se conoce como electroválvula, se tienen válvulas monoestables cuando un accionamiento es eléctrico y otro por muelle, y biestables cuando los dos accionamientos son eléctricos.



Figura 20-1. Electroválvula 4/2 retorno por muelle

Fuente: <http://hidraulicahidraoil.es/img/productos/>

1.8.6 Cilindro Hidráulico

Los cilindros hidráulicos transforman la energía de presión del fluido en un movimiento lineal, funcionan de la siguiente manera, el aceite ingresa en una de las cavidades del lado del émbolo, ejerciendo presión sobre el mismo y produciendo el desplazamiento del vástago, avance o retroceso. Un cilindro de doble efecto (figura 21-1) puede realizar el movimiento en ambos sentidos, debido a que la presión se puede aplicar en ambas caras del émbolo, para el control de este tipo de cilindros se emplean válvulas de 4 vías.



Figura 21-1. Partes de un cilindro de doble efecto

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/>

1.9 Accionamientos Eléctricos

Las salidas digitales de un PLC no se conectan directamente al circuito de potencia, es necesaria una etapa intermedia para su accionamiento, para esto se emplean mandos como relés y contactores. Los relés y contactores son interruptores electromagnéticos que conectan o desconectan un circuito eléctrico de potencia al excitar un electroimán o bobina de mando; la diferencia entre ambos, radica en la potencia que cada uno es capaz de manejar. Los relés están destinados para seccionar pequeñas potencias, por lo general menor a 1kW, y por otra parte, los contactores pueden accionar grandes potencias, centenares de kilovatios. (Balcells, y otros, 1998)

Algunas características comunes a los contactores y relés se mencionan a continuación: *tensión de mando*, es el voltaje alterno o continuo necesario alimentar a la bobina de mando, *potencia de mando*, consumida por la bobina, *tensión de aislamiento*, que representa el voltaje máximo que pueden soportar los contactos en circuito abierto, *tensión y corriente de empleo*, son los valores máximos en circuito cerrado que el dispositivo sin que se superen los límites de calentamiento.

1.9.1 Relé

Un relé aísla el circuito de mando, con niveles de tensión y corriente bajos, del de potencia, con mayores niveles de corriente y voltaje, o de otro tipo; por ejemplo, en los módulos de salida de los PLCs se incluyen salidas de relé que separan el circuito electrónico de su utilización.

Dentro un automatismo, los relés generalmente se ubican en una etapa previa a la de activación de los actuadores, debido a que únicamente poseen contactos auxiliares; es así que se emplean para alimentar las bobinas de contactores, electroválvulas; también se utilizan para accionar elementos de señalización como focos, zumbadores o balizas.

1.9.1.1 Estructura y Funcionamiento

Al ser energizada la *bobina* del relé, un arrollamiento de alambre de cobre esmaltado ubicado dentro de un *núcleo* de hierro, se genera un campo magnético que hace que *armadura* sea atraída por el núcleo y gire, como consecuencia se produce el cambio de estado de los *contactos*.

Otros elementos que forman parte de un relé son: el *pivote*, es el eje sobre el que gira la armadura, el *resorte*, que se encarga de regresar a los contactos a su posición inicial luego de que la bobina se desenergiza, y la *culata*, que sirve de soporte para toda la estructura. La base con los terminales de conexión está separada de relé para una fácil sustitución en caso de algún desperfecto, se tienen bases normalizadas de pines redondos y planos.

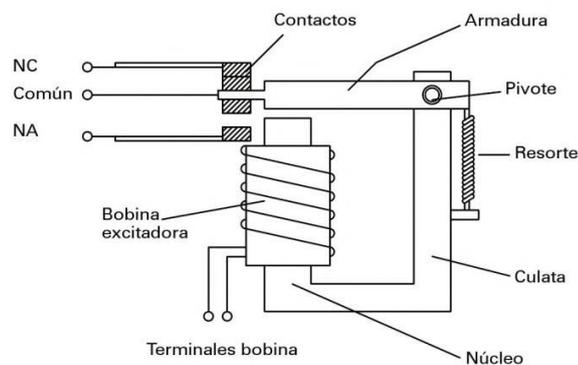


Figura 22-1. Partes de un relé

Fuente: Cembranos Nistal, 2008

1.9.2 Contactor

Un contactor es un relé con un diseño mucho más robusto, es capaz de soportar elevados niveles de corriente y tensión, cuenta con contactos principales y auxiliares y además no existe un común, como es el caso de los relés. Los contactores son empleados para el manejo de cargas de gran potencia, principalmente motores: conexión y desconexión, inversión de giro, arranque estrella-triángulo, entre otros. Es muy importante tener en cuenta que el contactor no es un dispositivo de protección, es un interruptor; para la protección de la carga, por lo general un contactor siempre tiene asociado a él un relé térmico o un guardamotor.

1.9.2.1 Partes del Contactor

Un contactor tiene prácticamente las mismas partes constructivas que un relé: una bobina, un núcleo fijo, un núcleo móvil o armadura, y los contactos (figura 23-1).

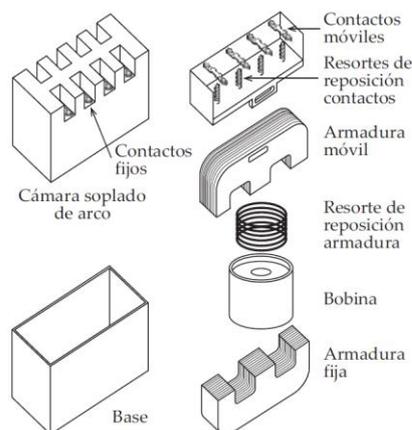


Figura 23-1. Partes de un contactor

Fuente: Orozco y otros, 2011

- *La bobina*, encargada de generar el campo magnético para atraer el núcleo móvil, está diseñada para que pueda soportar los choques producidos en el cierre de los contactos. La tensión de alimentación de la bobina es un aspecto importante para la selección del contactor.
- *El núcleo fijo*, con forma de E, es una pieza de chapas de hierro laminado donde se aloja la bobina, su función es atraer a la parte móvil cuando la bobina se haya energizado. El objetivo de un núcleo laminado es reducir la presencia de corrientes de Foucault y evitar un calentamiento innecesario.

- *El núcleo móvil*, está fabricado del mismo material ferromagnético que el núcleo fijo, al ser atraído por el electroimán los contactos se desplazan junto con él.
- *Los contactos*, están fabricados de un material resistente a la oxidación y al arco; al energizarse la bobina el bloque de contactos móviles se desplazan hacia el bloque de contactos fijos, permitiendo o no el paso de la corriente de acuerdo a su disposición. Dentro de un contactor se pueden encontrar los contactos principales, que se conectan al circuito de fuerza, y los contactos auxiliares, NO o NC, que se conectan al circuito de mando.
- *La cámara de soplado*, es el espacio donde se extingue el arco producido en los contactos, la presencia del arco puede deteriorar el material de los contactos.
- *Los resortes* dentro de un contactor se emplean para mantener la presión entre los contactos cuando se haya cerrado el circuito, y para regresar inmediatamente a los contactos a su posición inicial luego de retirar la alimentación a la bobina.

1.9.2.2 Categorías de Empleo

La norma IEC 947-4 define varias categorías normalizadas de empleo para contactores, donde no solo se toma en cuenta los valores de corriente de empleo, sino también se consideran otros factores como los transitorios y las condiciones de cierre y apertura de los contactos, es así que al momento de seleccionar un contactor es importante conocer el tipo de carga que vaya a manejar. En la tabla 3-1 se presentan las categorías de servicio de contactores en corriente alterna.

Tabla 3-1: Categorías de servicio para contactores

Categoría	Factor de Potencia	Aplicaciones	Corriente Conexión	Corriente Desconexión
AC-1	>0,80	Cargas no inductivas o débilmente inductivas	$I_c=1,5xI_n$	$I_d=1,5xI_n$
AC-2	>0,65	Arranque de motor de anillos	$I_c=4xI_n$	$I_d=4xI_n$
AC-3	>0,45/0,35	Arranque de motor jaula de ardilla	$I_c=10xI_n$	$I_d=8xI_n$
AC-4	>0,45/0,35	Arranque, frenado en contracorriente y marcha a impulsos de motor de jaula de ardilla	$I_c=12xI_n$	$I_d=10xI_n$

Fuente: Daneri, P., 2008

1.10 Elementos de Protección, Mando y Señalización

1.10.1 Interruptor Termomagnético

Un interruptor termomagnético o magnetotérmico (figura 24-1), es un dispositivo de protección automático que corta el suministro de corriente hacia un circuito en caso de cortocircuitos, protección magnética, y sobrecargas, protección térmica. En su interior se compone de un electroimán y una lámina bimetálica, al circular una corriente mucho mayor a la nominal a través del electroimán, se genera una fuerza que activa un mecanismo que hace que se abra inmediatamente el contacto correspondiente a la protección magnética, contra cortocircuitos.

Por otra parte, al circular una corriente a través de la lámina bimetálica, ésta se va calentando debido al Efecto Joule, si dicha intensidad llega a un valor mayor un poco mayor al nominal, la lámina se deforma producto del calor, ocasionando la apertura del contacto de protección térmica. Los dos contactos mencionados se conectan en serie, provocando la apertura de todo el circuito de carga en cualquiera de los dos casos. De acuerdo al número de fases de la red eléctrica se tienen interruptores de uno, dos o tres polos.

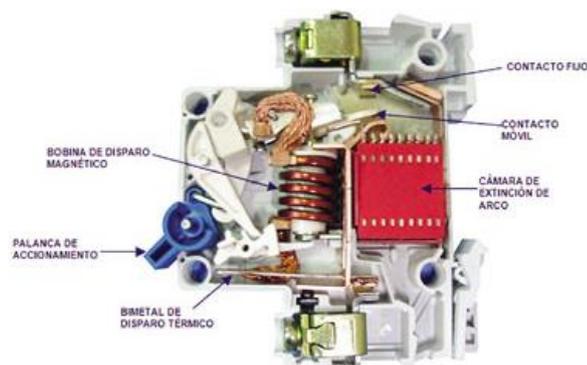


Figura 24-1. Vista interna de un interruptor termomagnético

Fuente: <http://www.microbyte.cl/elec/picarti/201112/k3rst2.jpg>

1.10.2 Relé Térmico

García Castro (2011) define al relé térmico como un dispositivo contra sobrecargas empleado para la protección de motores de AC, su principio de funcionamiento consiste en una lámina bimetálica, que al aumentar la temperatura debido a la sobrecarga uno de los metales se dilata; llegando a un límite, regulable, se acciona un mecanismo que desconecta los contactos del relé.

El relé térmico protege contra: sobrecargas, arranques demasiado lentos, atascamiento y ciclos de arranque-paro frecuentes.

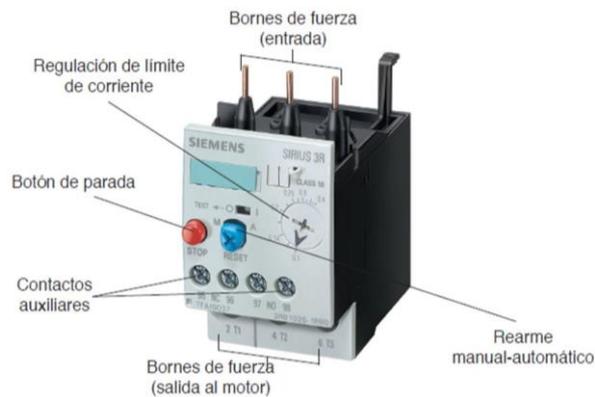


Figura 25-1. Relé Térmico

Fuente: <https://automatismoindustrial.files.wordpress.com/>

1.10.3 Pulsador

Un pulsador es un elemento electromecánico de conexión-desconexión a través de unos contactos eléctricos que cambian de estado mientras se ejerce presión sobre el dispositivo, volviendo al reposo por medio de un resorte al dejar de presionarlo. (García Castro, 2011)

Se pueden clasificar de acuerdo a la función que cumplen dentro de un automatismo, se tienen: pulsadores de marcha, su señal indica el arranque del automatismo, son de color verde y vienen con un contacto NO; pulsadores de paro, al presionarlo se indica la paralización del proceso, son de color rojo y cuentan con un contacto NC; pulsador de emergencia, indica la paralización inmediata del sistema debido a alguna situación de emergencia, se caracterizan por tener una cabeza grande en forma de hongo, son de color rojo y tienen un contacto NC.



Figura 26-1. Pulsador de marcha, paro y emergencia

Fuente: <http://www.sassinelectric.com/>

1.10.4 Selector

Al igual que un pulsador, un selector es un dispositivo electromecánico que abre o cierra sus contactos eléctricos de acuerdo a una posición fija que se haya seleccionado por medio de una manecilla; se pueden emplear para elegir el sentido de giro de un motor, por ejemplo.

1.10.5 Piloto de Señalización

Una luz piloto se emplea para la visualización de los estados del funcionamiento de una máquina, para informar al operador lo que ocurre y poder ejecutar las acciones necesarias. El color verde indica que el trabajo es normal, mientras que el rojo significa emergencia y/o paro del proceso.



Figura 27-1. Selector y piloto de señalización

Fuente: <http://www.electricasbc.com/>

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

Para lograr la automatización de la máquina, se siguió un proceso secuencial de varias etapas: el estudio, para determinar y seleccionar los componentes necesarios; el diseño y la implementación, de los circuitos de mando y fuerza para el control de los actuadores, y la integración del sistema eléctrico con la parte mecánica e hidráulica, para la posterior programación del controlador y la interfaz con el usuario. En la figura 1-2, se describen brevemente el desarrollo de cada etapa.



Figura 1-2. Etapas para la automatización de la máquina torsionadora de forja

Fuente: Aguirre A., 2016

2.1 Selección de Componentes

2.1.1 Descripción de la Máquina

Dentro de la máquina existen dos sistemas bien definidos: el mecánico y el hidráulico. El cabezal (sistema mecánico), es la parte encargada de la torsión del material, se caracteriza por su elevado par y baja velocidad de rotación, para comprender mejor el mecanismo, en la figura 2-2 se presenta su estructura, en la tabla 1-2, se presentan las características de cada componente. Para el control del cabezal es necesario establecer una posición inicial y conocer el desplazamiento angular que realice, de acuerdo de ello seleccionar su sentido de giro.

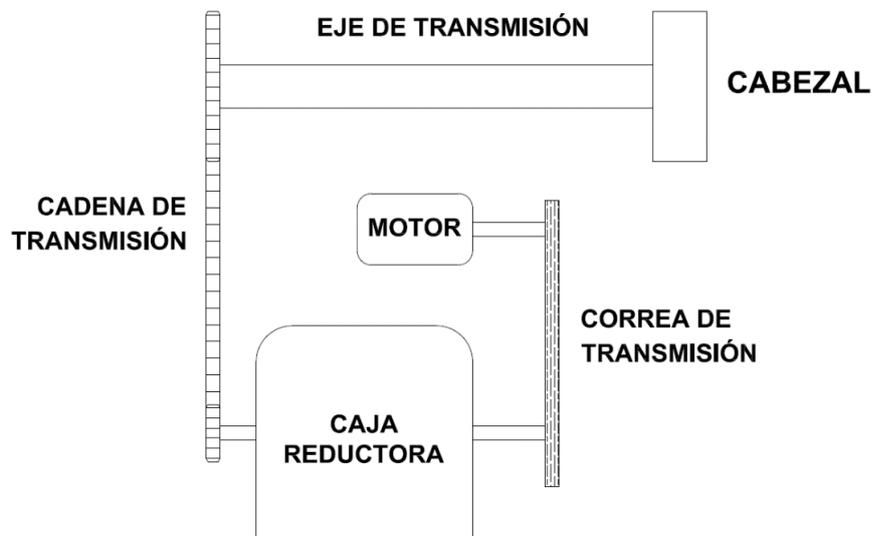


Figura 2-2. Estructura del cabezal

Fuente: Aguirre A., 2016

Tabla 1-2: Características técnicas de los elementos del cabezal

MOTOR ELÉCTRICO		TRANSMISIÓN POR CORREA	
Voltaje (V)	220 AC 1Ø	Diámetro motriz (D1)	100 mm
Corriente (I)	13,8 A	Diámetro conducido (D2)	200 mm
Potencia (P)	2 hp	Relación de transmisión (i_{CR})	2
Velocidad (n)	1720 rpm	Velocidad salida (n_{OUT})	860 rpm
CAJA REDUCTORA		TRANSMISIÓN POR CADENAS	
Relación de reducción (i_{CR})	50:1	Dientes del conductor (N_1)	11
Velocidad salida (n_{OUT})	17,2	Dientes del conducido (N_2)	32
Par desarrollado (τ_{MAX})	830 Nm	Relación de transmisión (i_{CD})	2,9
		Velocidad salida (n_{OUT})	5,93 \approx 6 rpm

Realizado por: Alex Aguirre

Fuente: Aguirre A., 2016

El sistema hidráulico se emplea para comprimir la varilla. Este sistema (figura 3-2) se compone de una bomba, válvula limitadora de presión, electroválvula, tanque reservorio y un cilindro, este último se caracteriza por una baja velocidad de avance, para que no se deforme ni quiebre el material, pero con una gran fuerza de empuje, debido a la gran resistencia del hierro. En la tabla 2-2, se pueden observar las características técnicas de cada componente. Para el control del cilindro hidráulico es necesario conocer la posición inicial y final de su carrera, además del accionamiento de la electroválvula y el motor de la bomba.

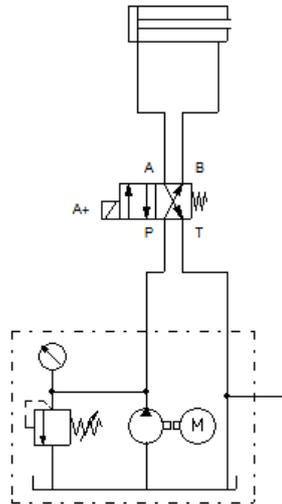


Figura 3-2. Conexión del sistema hidráulico

Fuente: Aguirre A., 2016

Tabla 2-2: Características técnicas de los elementos del sistema hidráulico

MOTOR ELÉCTRICO		CENTRAL HIDRÁULICA	
Voltaje (V)	220 AC 1Ø	Presión máx. bomba	280 bar
Corriente (I)	10 A	Velocidad de rotación máxima	3000 rpm
Potencia (P)	2 hp	Cilindrada	16 cm ³ /rev
Velocidad (n)	1700 rpm	Capacidad del tanque	62 L
ELECTROVÁLVULA		CILINDRO DOBLE EFECTO	
Tipo	Monoestable 4/2	Diámetro del cilindro	160 mm
Voltaje	220 VAC	Diámetro del émbolo	70 mm
Potencia	20 W	Longitud de la carrera	60 cm
Presión máx.	280 bar	Velocidad de desplazamiento	0,5 m/s
		Fuerza máxima entregada	25000 kgf

Realizado por: Alex Aguirre

Fuente: Aguirre A., 2015

2.1.2 Señales de Entrada/Salida Requeridas

En la tabla 3-2 se exponen las señales de entrada y salida requeridas para el control del sistema.

Tabla 3-2: Señales E/S requeridas

ELEMENTO	ENTRADAS	SALIDAS
CABEZAL	Contador desplazamiento angular	Giro sentido horario
	Sensor posición inicial	Giro sentido antihorario
	Contacto relé térmico x2	
HIDRAÚLICO	Posición inicial carrera cilindro	Electroválvula
	Posición final carrera cilindro	Activar motor de bomba
	Contactos relé térmico	
MANDO	Pulsador marcha y paro	Foco piloto color rojo
	Pulsador de emergencia	Foco piloto color verde
	Selector de 3 posiciones	

Realizado por: Alex Aguirre

Fuente: Aguirre A., 2015

2.1.3 Selección de Sensores

Para conocer el desplazamiento angular del cabezal, se eligió un sensor inductivo de proximidad marca Autonics; para determinar la posición inicial del cabezal, se ubicó un sensor del mismo tipo marca Pepperl+Fuchs, las características técnicas de ambos se pueden ver en la tabla 4-2.

Tabla 4-2: Especificaciones técnicas de los sensores inductivos seleccionados

Característica \ Marca	AUTONICS	PEPPERL+FUCHS
Modelo/Tipo	PR12-4DP/PNP	NBN4-12GM50-E2-V1/PNP
Distancia nominal	4 mm	4 mm
Histéresis	10%	5%
Distancia de detección	0 – 2,8 mm	0 – 3,24 mm
Voltaje de alimentación	10 – 30 V	10 – 30 V
Consumo de corriente máx.	10 mA	17 mA
Frecuencia de conmutación	500 Hz	1200 Hz
Salida de control	200 mA	200 mA
Temperatura ambiente	-25 – +70°C	-25 – +70°C
Circuito de protección	Picos de voltaje Polarización inversa Sobrecorriente Cortocircuito	Polarización inversa Cortocircuito
Grado de protección ambiental	IP67	IP67

Realizado por: Alex Aguirre

Fuente: <http://autonics.com.mx/>; <http://files.pepperl-fuchs.com/>

Por otra parte, para el control de la posición del cilindro hidráulico se emplearon sensores de proximidad con contacto, finales de carrera, sus características se presentan en la tabla 5-2.

Tabla 5-2: Especificaciones técnicas de los finales de carrera seleccionados

Característica \ Marca	SIEMENS	PIZZATO
Modelo	3SE3 120-1G	FC SERIES
Voltaje de aislamiento	500 VAC; 600 VDC	500 VAC; 600 VDC
Corriente térmica	10 A	10 A
Corriente de trabajo	10 A (24 VDC)	6 A (24 VDC)
Resistencia mecánica y eléctrica	30M de conmutaciones	20M de conmutaciones
Frecuencia de conmutación	6k conmutaciones/hora	3,6k conmutaciones/hora
Temperatura ambiente	-40 – +85°C	-25 – +85°C
Grado de protección ambiental	IP67	IP67

Realizado por: Alex Aguirre

Fuente: <http://www.siemens.co.in/>; <http://www.pizzato.com/>

2.1.4 Selección del HMI

Para la comunicación con el usuario fue seleccionado un panel táctil TouchWin TH-765, del mismo fabricante del PLC, con lo cual la comunicación con el mismo se torna un poco más sencilla, de cierto modo. En la tabla 7-2 se presentan las especificaciones del HMI elegido.

Tabla 6-2: Especificaciones técnicas del HMI

Modelo	TH-765-NU
Puertos de comunicación	COM1: RS-232/485 COM2: RS-232/422/485 USB-A: exportar e importar datos a memoria externa USB-B: descargar programa desde la PC
Pantalla	LCD: 7 pulgadas Display: 65536 colores Resolución: 800*448 pixeles
Voltaje de alimentación	20-28 VDC
Consumo de corriente/ potencia	250 mA/ 7 W máx.
Temperatura de operación	0 – 50°C
Grado de protección ambiental	IP65

Realizado por: Alex Aguirre

Fuente: Xinje Electric, 2015

2.1.5 Selección del PLC

El PLC es el elemento central del sistema, de acuerdo a los datos expresados en la tabla 3-2, se necesitan 12 señales de entrada y 6 señales de salida, para lo cual un PLC 14/10 sería el indicado para este caso. Se seleccionó un PLC marca Xinje, modelo XC-3, la elección de este controlador se debió a las múltiples ventajas que ofrece: fuente interna para la conexión de señales de entrada, tamaño compacto, fácil comunicación con la PC; además el software para la programación es de fácil manejo y de licencia libre. En la tabla 6-2, se presentan sus principales características.

Tabla 7-2: Especificaciones técnicas del PLC

ESPECIFICACIONES GENERALES	
Modelo	XC3-24RT-E
Puertos de comunicación	COM1: RS-232, conexión con HMI, PC. COM2: RS-232/485, conexión con sensores, red, inverter, etc.
Capacidad del programa	8000 pasos
Componentes internos	Bobinas auxiliares (M) 8512 Temporizadores (T) 620, Contadores (C) 365 Registros de datos (D) 8512
Temperatura de operación	0 – 60°C
Voltaje de alimentación	100 – 240 VAC 50/60 Hz
Máxima potencia consumida	12 W
Fuente integrada para conexión de sensores	24 VDC±10% máx. 400mA
ESPECIFICACIONES DE ENTRADAS	
Entradas	14
Voltaje de la señal de entrada	24 VDC±10%
Corriente de la señal de entrada	7 mA (24 VDC)
Conexión al común	0 V
Corriente para nivel alto	Mayor a 4,5 mA
Corriente para nivel bajo	Menor a 1,5 mA
Tiempo de respuesta de entrada	Aprox. 10 ms
ESPECIFICACIONES DE SALIDAS	
Salidas	8 de relé, 2 de transistor, 10 total
Carga máxima (salidas de relé)	3 A (carga resistiva) 80 VA (carga inductiva) 100 W (lámpara)
Carga máxima (salidas de transistor)	0,8 A (carga resistiva) 12 W/24 VDC (carga inductiva) 1,5 W/24 VDC (lámpara)
Tiempo de respuesta (salida de relé)	10 ms
Tiempo de respuesta (salida de transistor)	Menor a 0,2 ms

Realizado por: Alex Aguirre

Fuente: Xinje Electric, 2015

2.1.6 Otros Elementos Seleccionados

Para la etapa de accionamiento de las bobinas de los contactores y la electroválvula, se seleccionaron relés, los cuales serían conectados directo a las salidas digitales del PLC; las características técnicas se pueden observar en la tabla 8-2.

Tabla 8-2: Especificaciones técnicas de los relés

Marca	Camsco
Bobina	24 VDC
Consumo	Aprox. 1,5 W
Contactos	250 VAC/7 A $\cos\phi=0,4$

Realizado por: Alex Aguirre

Fuente: Camsco, 2015

Para la alimentación del HMI y la energización de los relés se requiere una fuente DC externa, los sensores y elementos de mando no fueron considerados para su selección, debido a que estos componentes se energizan mediante la fuente DC del PLC. Sus características se observan en la tabla 9-2.

Tabla 9-2: Especificaciones técnicas de la fuente DC

Marca	EBC-HQ
Potencia	60W
Entrada	110/220 VAC 1,6/0,8 A
Salida	24 VDC – 2,5 A

Realizado por: Alex Aguirre

Fuente: EBCHQ, 2015

Entre otros elementos necesarios para la implementación del sistema se tienen: contactores y relés térmicos, seleccionados de acuerdo a las características de los motores; además de pilotos de señalización rojo y verde.

2.2 Diseño del Sistema Eléctrico

2.2.1 Elaboración de Esquemas Eléctricos

Para la elaboración de los diagramas eléctricos correspondientes a los circuitos que serían implementados posteriormente, se empleó un software CAD eléctrico, el software cuenta con la simbología normalizada de acuerdo a la norma IEC60617; por otra parte, el etiquetado de los conductores el software lo realiza automáticamente. Para una sencilla identificación de los cables y su función en el circuito implementado, la etiqueta designada a cada conductor se compone de tres números: el primero representa el número de plano, y los dos siguientes corresponde al número de cable. En las siguientes figuras se presentan los diagramas elaborados.

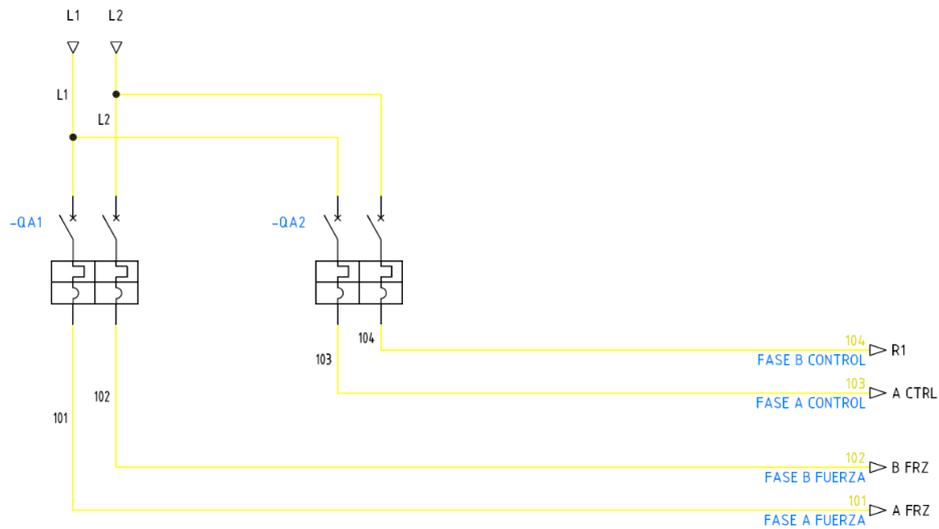


Figura 4-2. Diagrama de protecciones principales

Fuente: Aguirre A., 2015

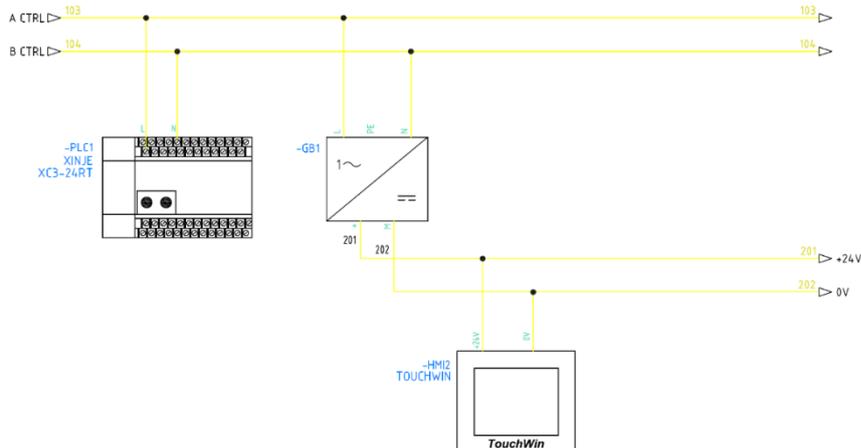


Figura 5-2. Diagrama de alimentación de control general

Fuente: Aguirre A., 2015

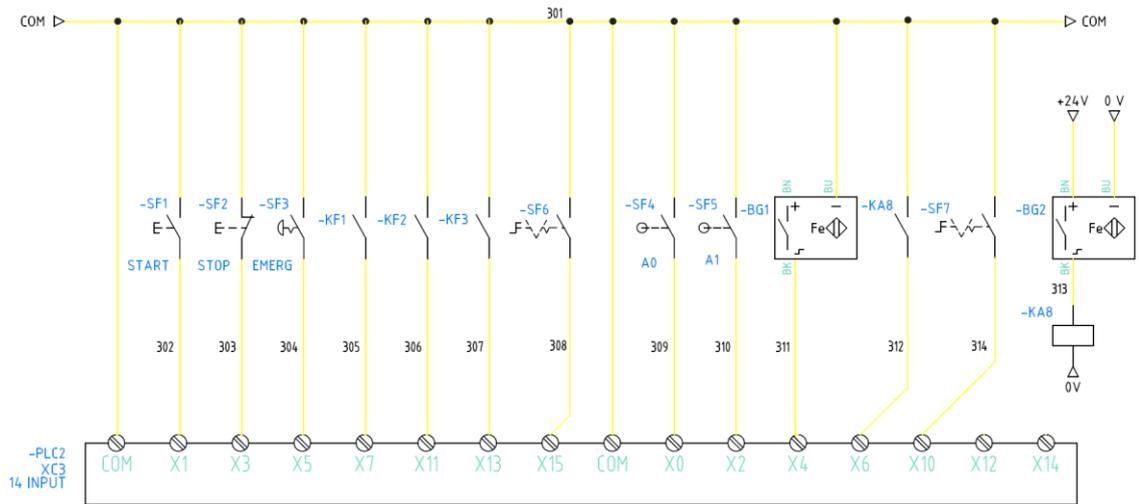


Figura 6-2. Diagrama de entradas digitales del PLC

Fuente: Aguirre A., 2015

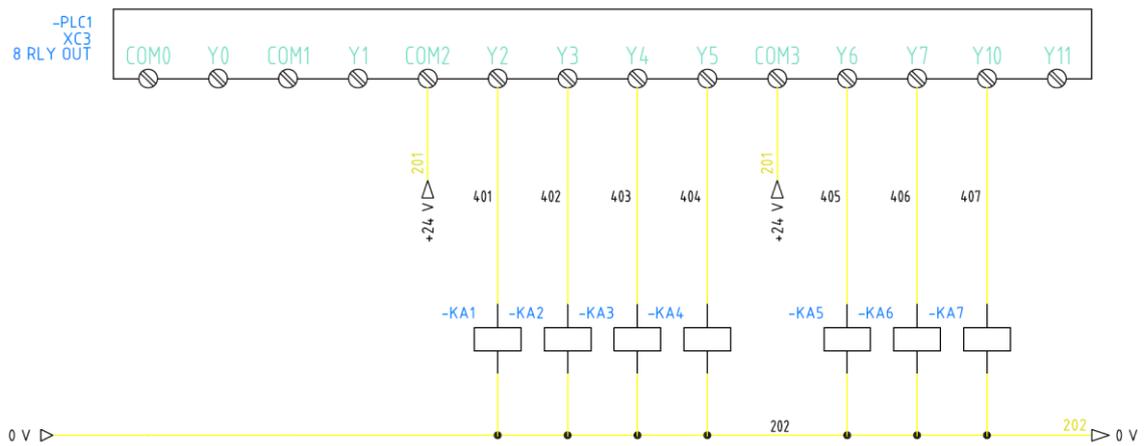


Figura 7-2. Diagrama de salidas digitales del PLC

Fuente: Aguirre A., 2015

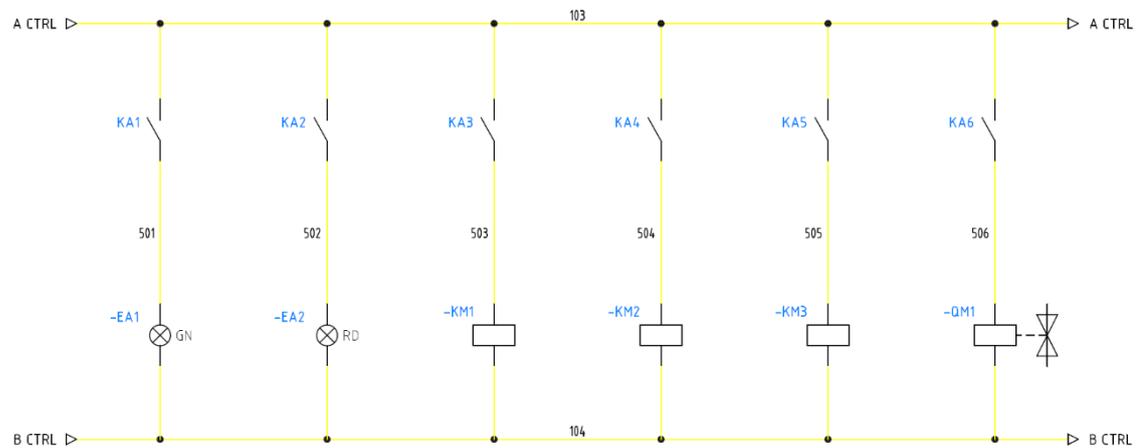


Figura 8-2. Diagrama de conexión de bobinas y pilotos

Fuente: Aguirre A., 2015

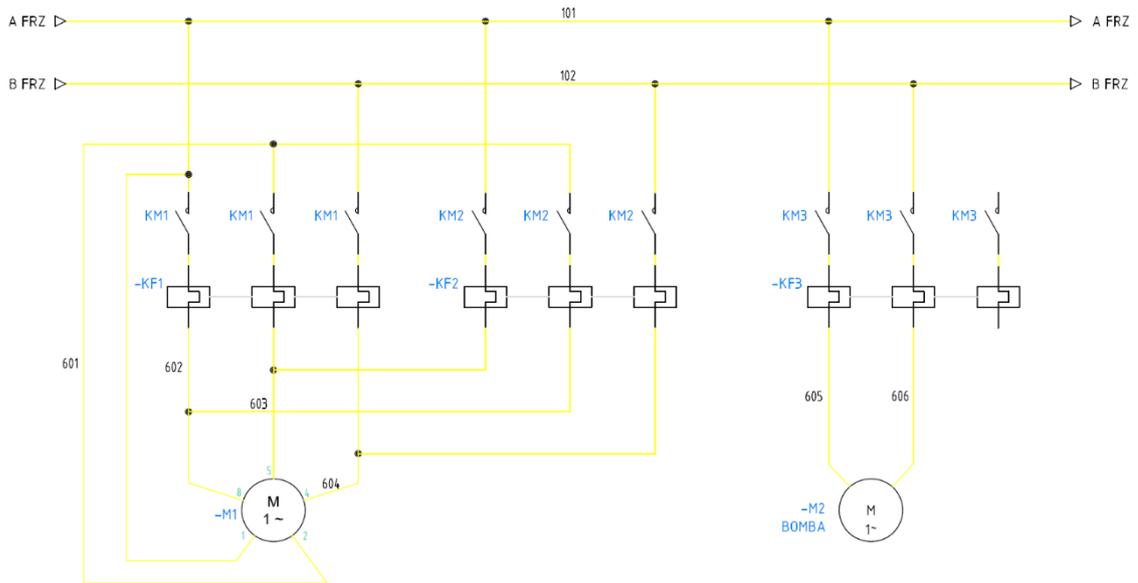


Figura 9-2. Diagrama de fuerza

Fuente: Aguirre A., 2015

En la figura 6-2 se puede observar que el elemento -BG2, que corresponde al sensor inductivo para la posición inicial, no se encuentra conectado directo a una entrada del PLC sino que activa un relé -KA8, y su contacto se conecta a la entrada X6 del PLC, el uso de esta etapa adicional fue debido a que la señal de salida del sensor no es compatible con la señal de entrada del PLC.

2.2.2 Dimensionamiento de Conductores

El dimensionamiento de un conductor consiste en determinar el calibre o sección del mismo de acuerdo a dos criterios: capacidad de conducción y caída de voltaje. Capacidad de conducción se refiere a la corriente que el conductor puede transportar sin sufrir calentamiento, y por lo tanto deterioro de su aislante. El término caída de voltaje significa, la diferencia entre el voltaje de alimentación y el voltaje que llega a los terminales de la carga, esta pérdida de voltaje se debe a la distancia y resistencia del conductor.

Ecuación 1-2: Cálculo de corriente para cargas AC

$$I = \frac{P}{V * \cos \varphi}$$

Ecuación 2-2: Cálculo de corriente para cargas DC

$$I = \frac{P}{V}$$

Ecuación 3-2: Caída de voltaje para redes bifásicas

$$V_P(\%) = \frac{\sigma * L * I}{V_L * Se} \times 100\%$$

Ecuación 4-2: Caída de voltaje para redes de corriente continua

$$V_P(\%) = \frac{2 * \sigma * L * I}{V_L * Se} \times 100\%$$

Donde:

I: corriente de la carga [A]

V: voltaje de la carga [V]

P: potencia de la carga [W]

cosφ: factor de potencia

V_L: voltaje de línea [V]

L: distancia de la fuente a la carga [m]

σ: resistividad del cobre 0,018 [Ωmm²/m]

Se: sección del conductor

Tabla 10-2: Especificaciones técnicas para conductores

CALIBRE AWG	SECCION [mm ²]	ESPESOR AISLAMIENTO [mm]	DIAMETRO EXTERIOR [mm]	CAPAC. DE CORRIENTE [A]	TIPO CABLE
18	0,82	0,76	2,54	7	TF
16	1,31	0,76	2,81	8	TF
14	2,08	0,76	3,15	15	TW
12	3,31	0,76	3,57	20	TW
10	5,26	0,76	4,11	30	TW
8	8,34	1,14	5,54	40	TW

Realizado por: ELECTROCABLES C.A.

Fuente: ELECTROCABLES C.A., 2013

2.2.2.1 Fuente DC

De acuerdo a las características eléctricas de la fuente DC (tabla 9-2), el consumo de corriente a la entrada es de 0,8A para una voltaje de 220VAC. Conforme a los valores de capacidad de corriente de la tabla 10-2, para un nivel de 0,8A corresponde el *calibre 18AWG*. Considerando la sección de éste conductor y una distancia máxima de 1m, reemplazando en la ecuación 3-2, se tiene:

$$V_P(\%) = \frac{\sigma * L * I}{V_L * Se} \times 100\% = \frac{0,018 * 1 * 0,8}{220 * 0,82} \times 100\% = 0,008\% \leq 2,5\%$$

El conductor de calibre 18AWG cumple los criterios de conducción y caída de voltaje, con lo que éste, u otro conductor con calibre superior, son correctos para su utilización.

2.2.2.2 PLC

De acuerdo a las características eléctricas generales del PLC (tabla 6-2), el controlador presenta un consumo máximo de potencia de 12W, a un voltaje de 220VAC y considerando un factor de potencia de 0,95; reemplazando en la ecuación 1-2, el nivel de corriente es.

$$I = \frac{P}{V * \cos \varphi} = \frac{12}{220 * 0,95} = 60\text{mA}$$

Conforme a los valores de capacidad de corriente de la tabla 10-2, para un nivel de 60mA corresponde el *calibre 18AWG*. Considerando la sección de este conductor y una distancia máxima de 1m, de acuerdo a la ecuación 3-2, se tiene:

$$V_P(\%) = \frac{\sigma * L * I}{V_L * Se} \times 100\% = \frac{0,018 * 1 * 0,06}{220 * 0,82} \times 100\% = 0,0006\% \leq 2,5\%$$

El conductor de calibre 18AWG cumple los criterios de conducción y caída de voltaje, con lo que éste, u otro conductor con calibre superior, son correctos para su utilización.

2.2.2.3 HMI

De acuerdo a las características eléctricas del HMI (tabla 7-2), el consumo de corriente es de 250mA y el voltaje aplicado de 24VDC. Conforme a los valores de capacidad de corriente de la tabla 10-2, para un nivel de 250mA corresponde el *calibre 18AWG*. Considerando la sección de éste conductor y una distancia máxima de 1m, reemplazando en la ecuación 4-2, se tiene:

$$V_P(\%) = \frac{2 * \sigma * L * I}{V_L * Se} \times 100\% = \frac{2 * 0,018 * 1 * 0,25}{24 * 0,82} \times 100\% = 0,046\% \leq 2,5\%$$

El conductor de calibre 18AWG cumple los criterios de conducción y caída de voltaje, con lo que éste, u otro conductor con calibre superior, son correctos para su utilización.

2.2.2.4 Alimentación de Sensores

De acuerdo a las características eléctricas de los sensores inductivos (tabla 4-2), el consumo de corriente es de 10mA (Autonics) y 17mA (Pepperl+Fuchs) y el voltaje aplicado de 24VDC.

Para el dimensionamiento de ambos elementos, se tomó en cuenta el mayor consumo, entonces conforme a los valores de capacidad de corriente de la tabla 10-2, para un nivel de 17 mA corresponde el *calibre 18AWG*. Considerando la sección de éste conductor y una distancia máxima de 2,5m, reemplazando en la ecuación 4-2, se tiene:

$$V_p(\%) = \frac{2 * \sigma * L * I}{V_L * Se} \times 100\% = \frac{2 * 0,018 * 2,5 * 0,017}{24 * 0,82} \times 100\% = 0,008\% \leq 2,5\%$$

El conductor de calibre 18AWG cumple los criterios de conducción y caída de voltaje, con lo que éste, u otro conductor con calibre superior, son correctos para su utilización.

2.2.2.5 Señales de Entrada al PLC

Las señales de entrada al PLC corresponden a la información enviada por los elementos de mando, finales de carrera y sensores. De acuerdo a las características eléctricas del PLC (tabla 6-2), la corriente para la señal de entrada es de 7mA y el voltaje aplicado de 24VDC. Conforme a los valores de capacidad de corriente de la tabla 10-2, para un nivel de 7mA corresponde el *calibre 18AWG*. Considerando la sección de éste conductor y una distancia máxima de 2,5m, reemplazando en la ecuación 4-2, se tiene:

$$V_p(\%) = \frac{2 * \sigma * L * I}{V_L * Se} \times 100\% = \frac{2 * 0,018 * 2,5 * 0,007}{24 * 0,82} \times 100\% = 0,003\% \leq 2,5\%$$

El conductor de calibre 18AWG cumple los criterios de conducción y caída de voltaje, con lo que éste, u otro conductor con calibre superior, son correctos para su utilización.

2.2.2.6 Relés

De acuerdo a las características eléctricas generales los relés (tabla 8-2), la bobina presenta un consumo aproximado de potencia de 1,5W a un voltaje de 24VDC, reemplazando en la ecuación 2-2, el nivel de corriente es.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1,5}{24} = 62,5\text{mA}$$

Conforme a los valores de capacidad de corriente de la tabla 10-2, para un nivel de 62,5mA corresponde el *calibre 18AWG*. Considerando la sección de este conductor y una distancia máxima de 1m, de acuerdo a la ecuación 4-2, se tiene:

$$V_P(\%) = \frac{2 * \sigma * L * I}{V_L * Se} * 100\% = \frac{2 * 0,018 * 1 * 0,06}{24 * 0,82} * 100\% = 0,01\% \leq 2,5\%$$

El conductor de calibre 18AWG cumple los criterios de conducción y caída de voltaje, con lo que éste, u otro conductor con calibre superior, son correctos para su utilización.

2.2.2.7 Electroválvula

De acuerdo a las características eléctricas generales de la electroválvula (tabla 2-2), su bobina presenta un consumo máximo de potencia de 20W, a un voltaje de 220VAC y considerando un factor de potencia de 0,5; reemplazando en la ecuación 1-2, el nivel de corriente es.

$$I = \frac{P}{V * \cos \varphi} = \frac{20}{220 * 0,5} = 180\text{mA}$$

Conforme a los valores de capacidad de corriente de la tabla 10-2, para un nivel de 180mA corresponde el *calibre 18AWG*. Considerando la sección de este conductor y una distancia máxima de 2,5m, de acuerdo a la ecuación 3-2, se tiene:

$$V_P(\%) = \frac{\sigma * L * I}{V_L * Se} * 100\% = \frac{0,018 * 2,5 * 0,18}{220 * 0,82} * 100\% = 0,005\% \leq 2,5\%$$

El conductor de calibre 18AWG cumple los criterios de conducción y caída de voltaje, con lo que éste, u otro conductor con calibre superior, son correctos para su utilización.

2.2.2.8 Bobinas de Contactores

Las bobinas de mando de los contactores, tienen características eléctricas similares a la bobina de la electroválvula, con lo que sería adecuado emplear el mismo conductor de *calibre 18AWG*.

2.2.2.9 Motor del Cabezal

De acuerdo a las características del motor para el cabezal (tabla 1-2), el consumo de corriente es de 13,8A para una voltaje de 220VAC. Para el caso de motores, el conductor debe ser dimensionado para un 125% de su corriente nominal, por lo tanto 17,25A. Conforme a los valores de capacidad de corriente de la tabla 10-2, para un nivel de 17,25A corresponde el calibre 12AWG, sin embargo para una carga de este tipo, mayor a 1kW, se recomienda emplear conductores de *calibre 10AWG*.

Considerando la sección de éste conductor y una distancia máxima de 2,5m, reemplazando en la ecuación 3-2, se tiene:

$$V_P(\%) = \frac{\sigma * L * I}{V_L * Se} \times 100\% = \frac{0,018 * 2,5 * 17,25}{220 * 5,26} \times 100\% = 0,067\% \leq 2,5\%$$

El conductor de calibre 10AWG cumple los criterios de conducción y caída de voltaje, con lo que éste, u otro conductor con calibre superior, son correctos para su utilización.

2.2.2.10 Motor de la Bomba Hidráulica

De acuerdo a las características del motor de la bomba (tabla 2-2), el consumo de corriente es de 10A para una voltaje de 220VAC. Para el caso de motores, el conductor debe ser dimensionado para un 125% de su corriente nominal, por lo tanto 12,5A. Conforme a los valores de capacidad de corriente de la tabla 10-2, para un nivel de 12,5A corresponde el calibre 14AWG, sin embargo para una carga de este tipo, mayor a 1kW, se recomienda emplear conductores de *calibre 10AWG*. Considerando la sección de éste conductor y una distancia máxima de 2,5m, reemplazando en la ecuación 3-2, se tiene:

$$V_P(\%) = \frac{\sigma * L * I}{V_L * Se} \times 100\% = \frac{0,018 * 2,5 * 12,5}{220 * 5,26} \times 100\% = 0,05\% \leq 2,5\%$$

El conductor de calibre 10AWG cumple los criterios de conducción y caída de voltaje, con lo que éste, u otro conductor con calibre superior, son correctos para su utilización.

2.2.2.11 Acometida Principal

La acometida principal corresponde a los conductores L1 y L2 de la figura 3-2, los cuales deben transportar la energía desde la red hasta los interruptores principales, se lo dimensionó para soportar una corriente de 30A que comprende el máximo consumo entre motores, PLC, HMI, sensores y fuente DC. Conforme a los valores de capacidad de corriente de la tabla 10-2, para un nivel de 30A corresponde el *calibre 10AWG*. Considerando la sección de éste conductor y una distancia máxima de 3m, reemplazando en la ecuación 3-2, se tiene:

$$V_P(\%) = \frac{\sigma * L * I}{V_L * Se} \times 100\% = \frac{0,018 * 2,5 * 12,5}{220 * 5,26} \times 100\% = 0,14\% \leq 2,5\%$$

Por lo tanto, el conductor de calibre 10AWG cumple el criterio de caída de voltaje.

2.2.3 Dimensionamiento de protecciones

Para circuito de control, que comprende el PLC, HMI, fuente DC, sensores, electroválvula, bobinas de mando de relés y contactores, y los indicadores piloto; la mayoría de ellos funciona al mismo tiempo, por lo tanto, se requiere un interruptor termomagnético de dos polos para 6A.

Por otra parte se tiene el circuito de fuerza que se compone del motor del cabezal y el motor para la central hidráulica; en algún momento determinado, ambos pueden funcionar en el mismo instante, de acuerdo a esto, sería necesario un interruptor termomagnético de dos polos para 30A.

En la tabla 11-2, se presenta un resumen de los requerimientos mínimos de conductores y protecciones para la implementación del sistema.

Tabla 11-2: Resumen de conductores y protecciones

ÍTEM	REQUERIMIENTO MÍNIMO
Conductor Fuente DC	18 AWG
Conductor PLC	18 AWG
Conductor HMI	18 AWG
Conductor Alimentación de Sensores	18 AWG
Conductor Señales de Entrada PLC	18 AWG
Conductor Relés	18 AWG
Conductor Electroválvula	18 AWG
Conductor Bobina Contactores	18 AWG
Conductor Motor del Cabezal	10 AWG
Conductor Motor de la Bomba	10 AWG
Conductor Acometida Principal	10 AWG
Protección Circuito de Control	Dos polos – 6A
Protección Circuito de Fuerza	Dos polos – 25A

Realizado por: Alex Aguirre P.

Fuente: Aguirre A., 2016

2.3 Diseño de Tablero de Control y Panel Frontal

En esta etapa se determinó la disposición de los componentes de los circuitos de mando y fuerza dentro del tablero de control, de acuerdo al espacio disponible para su implementación. De igual forma, para la parte del interfaz con el usuario se determinó la posición de los pulsadores de inicio, paro y emergencia, selector, indicadores piloto y HMI táctil, en el panel frontal.

Para esto se empleó un software CAD, en las siguientes figuras se presentan los diseños con sus medidas, expresadas en milímetros, además las denominaciones empleadas para cada componente corresponden a las etiquetas de los diagramas eléctricos.

2.3.1 Tablero de Control

Para el diseño del tablero de control (figura 10-2) se buscó seguir una distribución secuencial del proceso, partiendo desde la etapa de control hasta la etapa de potencia. Es así que, en la primera fila se ubicaron el controlador, la fuente DC, y el interruptor para el circuito de control; en las dos siguientes filas los relés, como preaccionamiento de los contactores, y las borneras para la conexión de los elementos de mando y tomas de corriente AC o DC, para la alimentación de los dispositivos.

En la cuarta fila, se puede encontrar los contactores y relés térmicos para la activación de los motores del cabezal y la bomba hidráulica, y en la parte inferior se colocaron borneras para la conexión de los elementos externos: motores, sensores y la acometida principal.

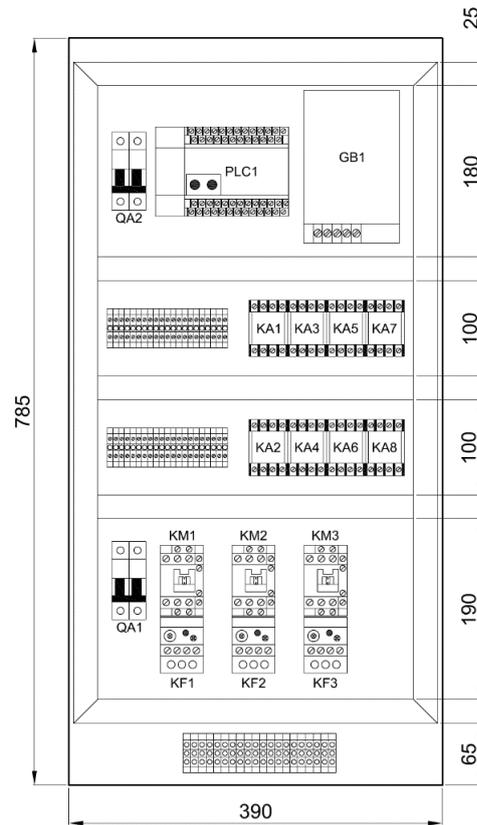


Figura 10-2. Diseño del tablero de control

Fuente: Aguirre A., 2015

2.3.2 *Panel Frontal*

Se puede decir que el panel frontal es la carta de presentación de toda máquina, ya que es la parte que se comunica con el usuario, por lo tanto, es importante que los elementos de mando se encuentren dispuestos de tal forma que se permita al operador un sencillo manejo del sistema, lo que incluye el control y monitorización de los procesos.

Para el diseño del panel frontal (figura 11-2), un aspecto muy importante a tomar en cuenta es la ubicación del pulsador de emergencia, el cual debe ser instalado en una posición para fácil acceso en caso de algún acontecimiento adverso, es por ello que se ubicó en la parte superior central del panel, donde no se encontraría ningún otro elemento de mando a su alrededor.

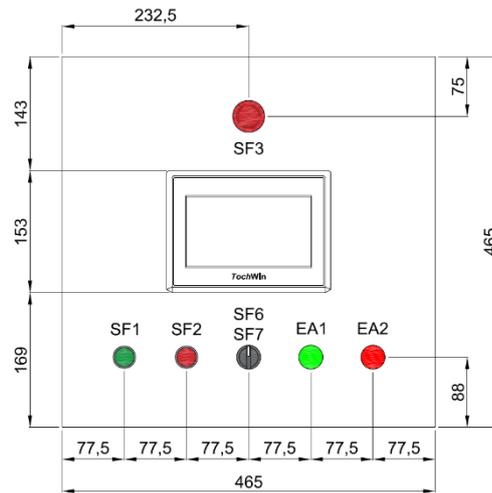


Figura 11-2. Diseño del panel frontal

Fuente: Aguirre A., 2015

El tablero de control y el panel frontal se localizan dentro de un gabinete (figura 12-2), el que sería construido más adelante.



Figura 12-2. Diseño del gabinete para el montaje del tablero y panel frontal

Fuente: Aguirre A., 2015

2.4 Implementación del Sistema Eléctrico

Una vez seleccionados los componentes, establecidos los circuitos y, dimensionados conductores y protecciones; se procede con la implementación del sistema de acuerdo a los diseños establecidos para el tablero de control y panel frontal.

2.4.1 Ubicación de los Componentes en el Panel Frontal

El montaje del panel frontal se lo realizó sobre una plancha de acero inoxidable siguiendo todas las especificaciones del diseño de la figura 13-2, el uso de este material se debe la resistencia que tiene contra la corrosión además del agradable impacto visual que produce.



Figura 13-2. Disposición de los elementos de mando y HMI

Fuente: Aguirre A., 2015

2.4.2 Cableado del Panel Frontal

Para el cableado de los elementos de mando y HMI, por motivos de disponibilidad, se empleó cable de calibre 16AWG que cumple con los requerimientos expresados en la tabla 11-2, de acuerdo a los diagramas de conexión establecidos previamente, etiquetas de identificación de conductores y, siguiendo la siguiente especificación de colores: rojo (+24 VDC), azul (0 VDC), verde (entrada al PLC) y negro (fases 220 VAC).



Figura 14-2. Cableado del panel frontal

Fuente: Aguirre A., 2015

2.4.3 *Ubicación de Componentes en el Tablero*

De igual manera para el tablero de control, se localizaron los componentes de acuerdo a lo establecido por el diseño de la figura 10-2, se realizó la instalación de la canaleta ranurada y el riel DIN, para la posterior ubicación de los componentes en su lugar correspondiente.

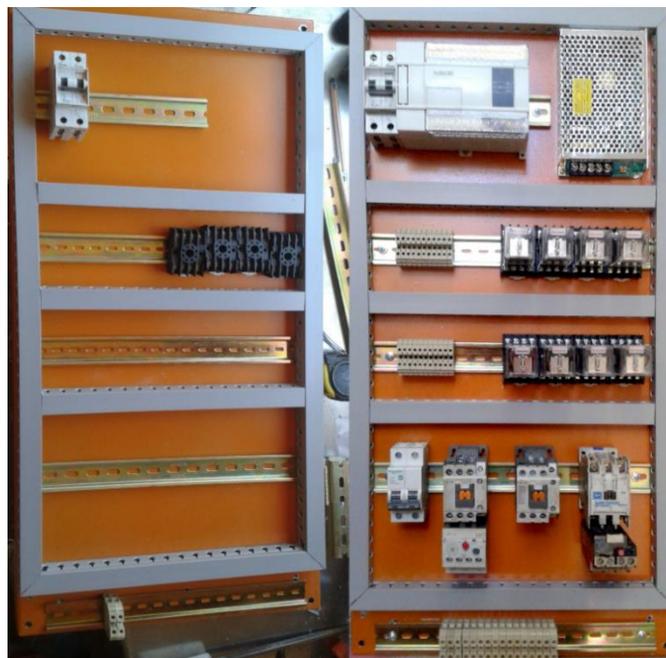


Figura 15-2. Disposición de componentes del tablero

Fuente: Aguirre A., 2015

2.4.4 Cableado de Circuitos de Mando y Fuerza

Como en el caso del panel frontal, el cableado del circuito de mando se realizó con cable calibre 16AWG, de acuerdo al diagrama de conexión, con su respectiva etiqueta, y siguiendo el mismo significado de colores: rojo (+24 VDC), azul (0 VDC), verde (entrada al PLC) y negro (fases 220 VAC). En varias secciones de las borneras, fila 2 y 3, se emplearon puentes equipotenciales que distribuyen el voltaje a dicha sección, de esta forma se tienen varios conjuntos de borneras comunes para la conexión de los elementos. Para el caso del circuito de fuerza, conforme a la tabla 11-2, se empleó cable calibre 10AWG.

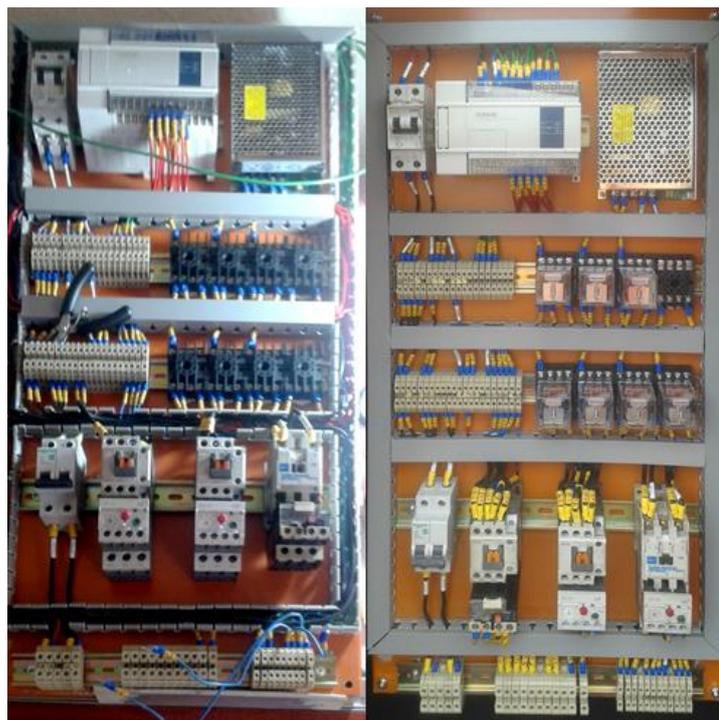


Figura 16-2. Cableado del tablero

Fuente: Aguirre A., 2015

2.5 Integración de los Sistemas Eléctrico, Mecánico e Hidráulico

2.5.1 Sistema Mecánico

El sistema mecánico, como se puede observar en la figura 2-2, lo componen el motor, la correa y sus poleas, la caja reductora, la cadena y sus ruedas dentadas, el eje de transmisión y el cabezal, dentro del cabezal se coloca la matriz correspondiente al tipo de pieza que se desea realizar. En las siguientes figuras se presentan dichos componentes y su disposición en la máquina.



Figura 17-2. Cabezal de la máquina

Fuente: Aguirre A., 2015



Figura 18-2. Motorreductor y cadena

Fuente: Aguirre A., 2015

2.5.2 Sistema Hidráulico

En la figura 19-2 se pueden observar los componentes del sistema hidráulico y su ubicación en la máquina.

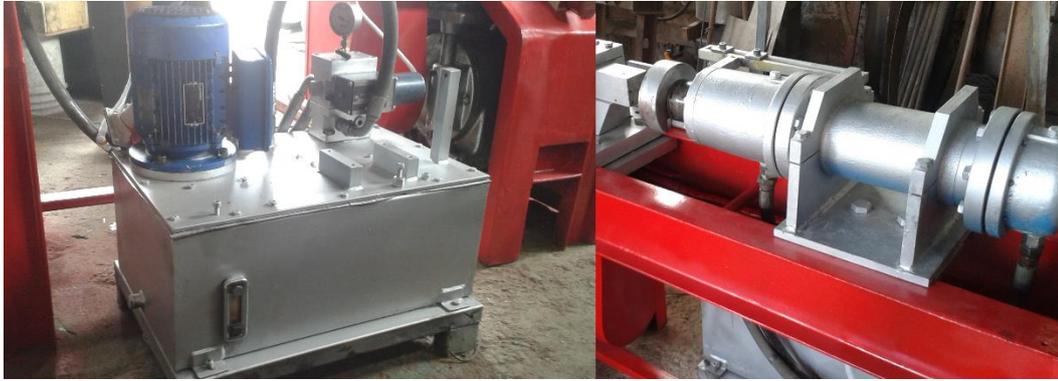


Figura 19-2. Central hidráulica y cilindro hidráulico

Fuente: Aguirre A., 2015

2.5.3 Instalación de Sensores

Para conocer el desplazamiento angular que realice el cabezal, se ubicó una rueda dentada de 22 dientes en el eje del cabezal, se instaló el sensor inductivo a un costado de la rueda, de tal forma que le sea posible detectar cada diente de la misma (figura 20-2).



Figura 20-2. Sensor inductivo contador de pulsos

Fuente: Aguirre A., 2015

La posición inicial corresponde a un punto específico que debe situarse el cabezal antes de realizar cualquier pieza, para determinarla se ubicó un perno en el borde del cabezal, el cual debe ser detectado por el sensor inductivo instalado en la parte superior (figura 21-2).



Figura 21-2. Sensor inductivo posición inicial

Fuente: Aguirre A., 2015

Los interruptores de posición, empleados para establecer la posición inicial y final de la carrera del cilindro hidráulico, se instalaron en una placa ranurada (figura 22-2) con el fin poder variar la ubicación de los sensores, y de esta manera cambiar la longitud de la trayectoria del cilindro.



Figura 22-2. Sensores de posición del cilindro hidráulico

Fuente: Aguirre A., 2015

2.5.4 *Instalación del Sistema Eléctrico*

La instalación del sistema eléctrico se llevó a cabo en dos partes: cableado de sensores, actuadores y la acometida principal, y la conexión con el tablero de control. El cableado se lo realizó a través de la estructura de la máquina, empleando los conductores del calibre seleccionado previamente (tabla 11-2). Para canalizar todos los conductores hacia el gabinete, que contiene el panel frontal y el tablero de control, se utilizó tubo eléctrico metálico flexible de 2½ pulgadas, para su posterior conexión a los circuitos del sistema.



Figura 23-2. Sistemas mecánico, hidráulico y eléctrico integrados

Fuente: Aguirre A., 2016

2.6 **Programación del HMI**

El programa realizado para el panel táctil contiene varias pantallas: presentación, menú principal, una pantalla para cada tipo de pieza y modo manual. La pantalla de presentación (figura 24-2) es la primera que aparece al iniciar todo el sistema; el botón localizado en la esquina inferior derecha se emplea para acceder a las opciones disponibles, dicho acceso se lo realiza por contraseña.

Una vez que el acceso por contraseña sea satisfactorio, la siguiente ventana en desplegarse es la del menú principal (figura 25-2), donde el operador puede seleccionar el tipo de pieza que desea realizar o ingresar al modo manual, cada una de las opciones activa una salida auxiliar del PLC; de acuerdo a esta información, el programa del controlador ejecuta la secuencia correspondiente.



Figura 24-2. Pantalla principal, acceso por contraseña

Fuente: Aguirre A., 2015



Figura 25-2. Menú principal

Fuente: Aguirre A., 2015

Una vez seleccionado el proceso que se desee realizar, se presenta la pantalla correspondiente para la elaboración de voluta (figura 26-2), piña (figura 27-2) o varilla torcida (figura 28-2). En cada pantalla se presenta un esquema de la máquina donde se indica qué componente se encuentra activo, también se incluye un botón de inicio (verde) y paro (rojo), de esta manera se puede enviar la señal desde el HMI o desde los pulsadores instalados en el panel frontal.

Por otra parte, el botón de reset (amarillo), permite realizar un nuevo proceso una vez que éste haya terminado o sido paralizado a causa de alguna situación de emergencia; otros elementos presentes en la pantalla son el botón de regreso al menú principal y un cuadro de texto que aparece cuando la pieza está lista para retirar de la máquina. Adicional a todo esto, en la pantalla para la varilla torcida se ubicó una caja de texto donde se debe seleccionar el sentido de giro del cabezal, e ingresar el número de vueltas que debe realizar.

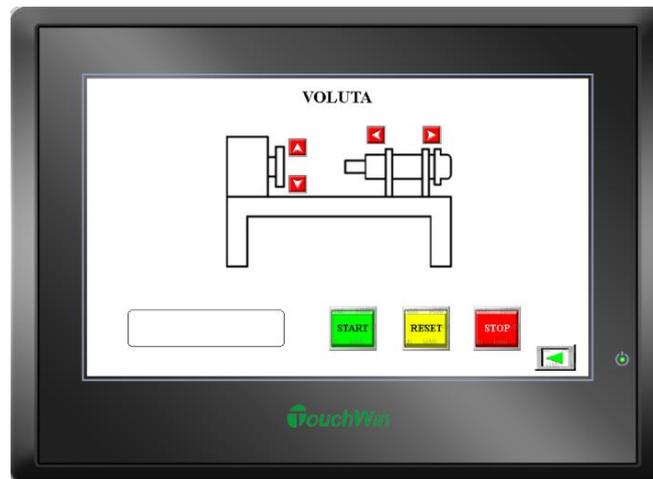


Figura 26-2. Ventana proceso de voluta

Fuente: Aguirre A., 2015

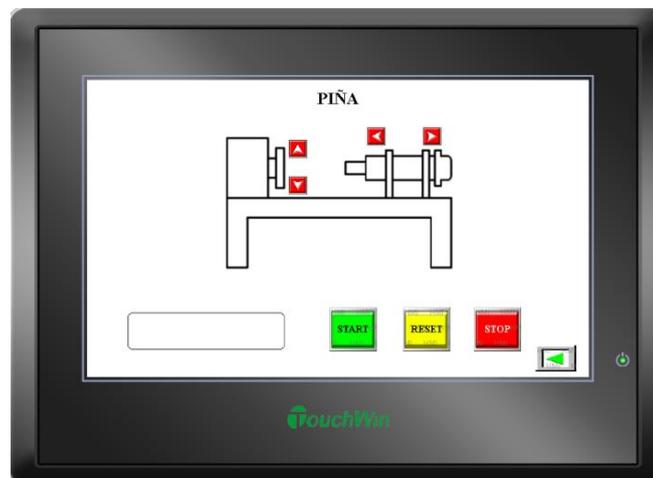


Figura 27-2. Ventana proceso de piña

Fuente: Aguirre A., 2015

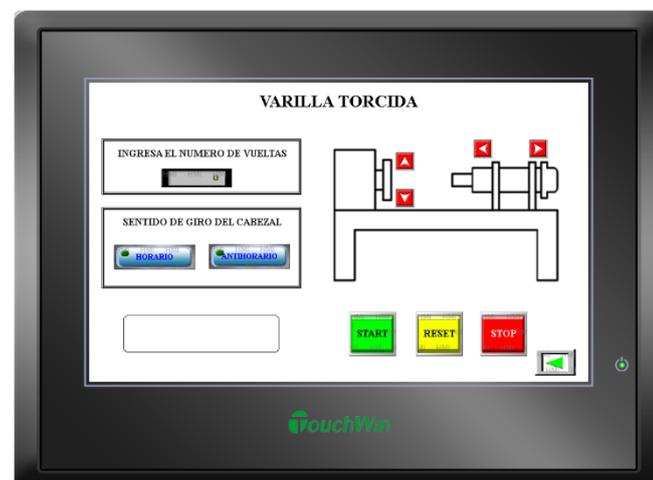


Figura 28-2. Ventana proceso de varilla torcida

Fuente: Aguirre A., 2015

En el modo manual, el operador tiene libertad en el control de los actuadores. En la pantalla correspondiente, a más del esquema de la máquina y los botones de marcha, paro y regreso al menú, se incluyen selectores para el accionamiento del giro del cabezal en sentido horario o antihorario, y para el avance o retroceso del cilindro hidráulico.

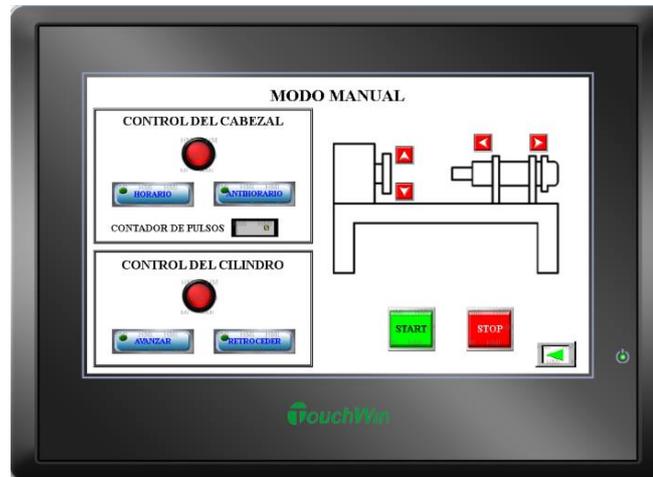


Figura 29-2. Ventana proceso manual

Fuente: Aguirre A., 2015

Otra parte importante que se programó en el HMI son las ventanas de alarma e información. Las ventanas de información aparecen al momento de seleccionar un tipo de pieza indicando la matriz que se debe colocar en el cabezal. Las ventanas de alarma se presentan cuando el operador envía alguna orden errónea, por ejemplo avanzar o retroceder el cilindro cuando éste se encuentra en su posición final o inicial, respectivamente.



Figura 30-2. Ventana información voluta

Fuente: Aguirre A., 2015



Figura 31-2. Ventana información piña

Fuente: Aguirre A., 2015



Figura 32-2. Ventana información varilla

Fuente: Aguirre A., 2015

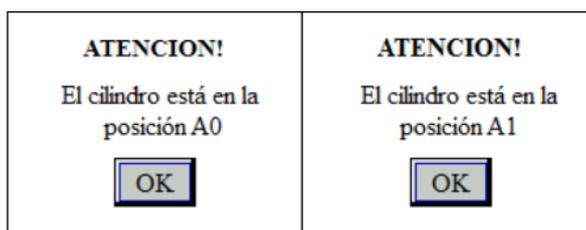


Figura 33-2. Ventana alarma cilindro

Fuente: Aguirre A., 2015

2.7 Programación del PLC

2.7.1 Tabla de Entradas/Salidas

Tabla 12-2: Tabla E/S del PLC

Entrada	Dirección	Salida	Dirección
Fin de Carrera A0	X0	LIBRE	Y0
Pulsador Marcha	X1	LIBRE	Y1
Fin de Carrera A1	X2	Indicador Piloto Verde	Y2
Pulsador Paro	X3	Indicador Piloto Rojo	Y3
Inductivo Pulsos	X4	Contactador Giro Horario	Y4
Pulsador Emergencia	X5	Contactador Giro Antihorario	Y5
Inductivo Pos. Inicial	X6	Contactador Motor Bomba	Y6
Relé Térmico 1	X7	Electroválvula	Y7
Contacto 2 Selector	X10	LIBRE	Y10
Relé Térmico 2	X11		
Relé Térmico 3	X13		
Contacto 1 Selector	X15		

Realizado por: Alex Aguirre P.

Fuente: Aguirre A., 2016

2.7.2 Puntos Internos Empleados

Tabla 13-2: Puntos Internos del PLC empleados

Salidas Auxiliares	Dirección	Contadores	Dirección
Control del Cabezal	M100	Contador Varilla Torcida	C0
Giro Horario	M101	Contadores Voluta	C1 – C3
Giro Antihorario	M102	Contadores Piña	C4 – C6
Control del Cilindro	M103	Temporizadores	Dirección
Avanzar Cilindro	M104	Timers Voluta	T0
Retroceder Cilindro	M105	Timers Piña	T1 – T5
Botón Inicio HMI	M106	Registros	Dirección
Botón Paro HMI	M107	Modo Manual	D0
Reset	M115	Varilla Torcida	D1 – D2
Selección Voluta	M150		
Selección Piña	M151		
Selección Varilla Torcida	M153		
Selección Modo Manual	M155		

Realizado por: Alex Aguirre P.

Fuente: Aguirre A., 2016

2.7.3 *Secuencias Programadas*

2.7.3.1 *Secuencia Varilla Torcida*

Para la elaboración de varilla torcida, se debe seleccionar dicha opción en el HMI, con lo que se activará la salida auxiliar correspondiente, con lo que el cabezal se ubica en su posición inicial; luego el proceso entra en una etapa de espera mientras el operador coloca la matriz y monta el material en la máquina, e ingresa los datos sobre el número de vueltas y sentido de giro del cabezal. Se envía la señal de inicio, y el cabezal realiza el giro conforme a la información anterior, una vez terminado el ciclo, el proceso entra en otra espera hasta que se presione el botón de reset o se seleccione otra opción. En la figura 34-2 se presenta el GRAFCET correspondiente.



Figura 34-2. GRAFCET varilla torcida

Fuente: Aguirre A., 2015

2.7.3.2 *Secuencia Voluta*

Para la elaboración de una voluta, se debe seleccionar dicha opción en el HMI, con lo que se activará la salida auxiliar correspondiente, con lo que el cabezal se ubica en su posición inicial; luego el proceso entra en una etapa de espera mientras el operador coloca la matriz y el material en la máquina.

Se envía la señal de inicio, el cabezal desarrolla una revolución en sentido antihorario, se desactiva el motor y se hace una espera de seguridad, luego el cabezal realiza un pequeño giro en sentido horario para posibilitar el retiro de la pieza finalizada, con lo que el proceso entra en otra espera hasta que se presione el botón de reset o se seleccione otra opción. En la figura 35-2 se presenta el GRAFCET correspondiente.



Figura 35-2. GRAFCET voluta

Fuente: Aguirre A., 2015

2.7.3.3 Secuencia Piña

Para la elaboración de una piña, se debe seleccionar dicha opción en el HMI, con lo que se activará la salida auxiliar correspondiente, con lo que el cilindro y el cabezal se ubican en su posición inicial; luego el proceso entra en una etapa de espera mientras el operador coloca la matriz y el material en la máquina.

Se envía la señal de inicio, el cabezal desarrolla una revolución en sentido antihorario, se desactiva el motor y se hace una espera de seguridad; luego el cabezal debe realizar dos revoluciones en sentido horario, a la mitad de la primera revolución, el cilindro hidráulico comienza a empujar hasta llegar a su posición final, inmediatamente regresa hasta su posición inicial, el cabezal continua su giro hasta completar las dos revoluciones.

Luego de esto el motor se desactiva, se realiza una espera de seguridad, y el cabezal realiza un giro de $\frac{3}{4}$ de revolución en sentido antihorario y se desactiva el motor. Una vez terminado el ciclo, el proceso entra en otra espera hasta que se presione el botón de reset o se seleccione otra opción. En la figura 36-2 se presenta el GRAFCET correspondiente.

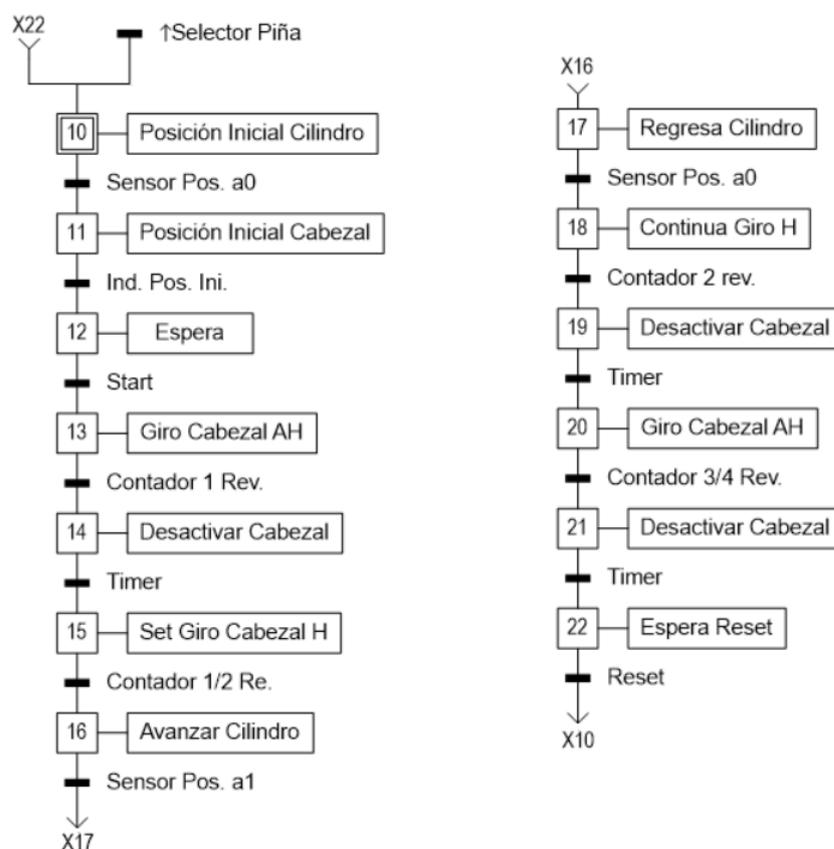


Figura 36-2. GRAFCET piña

Fuente: Aguirre A., 2015

2.7.4 Modo Manual

El modo manual no requiere de una secuencia determinada, ya que el operador tiene el control total sobre el funcionamiento de la máquina. El programa desarrollado para esta parte consiste en la activación o desactivación de los actuadores, mediante las señales enviadas desde los elementos de mando físicos y/o implementados en el HMI.

CAPÍTULO III

3 MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Puesta en Marcha, Pruebas y Corrección de Errores

Una vez integrados los sistemas eléctrico, mecánico e hidráulico; el siguiente paso consiste en la puesta en marcha de la máquina, es decir, el formado de piezas: piñas, volutas y varilla torcida. El PLC se programó de acuerdo a las secuencias descritas en el capítulo anterior, sin embargo, los valores propuestos en los diagramas secuenciales, para el número de revoluciones que debe desarrollar el cabezal y la distancia de la carrera del cilindro hidráulico, sirvieron únicamente como un punto de partida o referencia.

En la práctica se pudo notar cómo tendrían que ser los desplazamientos de los actuadores, o si algún componente mecánico debía ser modificado o reemplazado. Es así que se realizaron varias pruebas para cada tipo de pieza, hasta obtener un resultado aceptable a simple vista, en lo posterior se determinaría si dichas piezas cumplen con el criterio de uniformidad, además de la reducción del tiempo en su formado.

3.1.1 *Pruebas en el Formado de Volutas*

El formado de volutas no representa un proceso muy complejo, el cabezal gira un ángulo determinado para darle forma al material, como una referencia inicial se estableció dicho ángulo como una revolución. Luego de realizar varias pruebas se comprobó que al desarrollar dicho ángulo de una revolución, las piezas terminadas son visualmente correctas; a más de esto, los accesorios correspondientes para la elaboración de volutas, matriz espiral y apoyo, no presentaron complicaciones en el formado del material.



Figura 1-3. Matriz espiral para voluta y apoyo

Fuente: Aguirre A., 2016



Figura 2-3. Voluta terminada

Fuente: Aguirre A., 2016

3.1.2 *Pruebas en la Torsión de Varilla*

Al igual que para el caso del formado de volutas, el proceso de torsión de varilla es muy simple, el cabezal gira un ángulo, establecido por el usuario, quien introduce el número de revoluciones que debe realizar el cabezal. Luego de realizar las pruebas correspondientes, se observó que las piezas se forman correctamente y, como en el caso de la voluta, las matrices correspondientes cumplen su función. Un aspecto importante que se pudo percibir en los ensayos, fue el estado del sensor contador de pulsos en la posición inicial de la máquina, éste debe encontrarse activado cuando el cabezal esté en dicha posición, para asegurar que se realice el desplazamiento angular completo, caso contrario se llevaría un error de uno o dos pulsos por revolución.



Figura 3-3. Matrices para la torsión de varilla

Fuente: Aguirre A., 2016



Figura 4-3. Varilla torcida terminada

Fuente: Aguirre A., 2016

3.1.3 Pruebas en el Formado de Piñas

Por otra parte, el proceso de formado de piñas es mucho más complejo que los dos anteriores, ya que se combinan varios giros del cabezal en ambos sentidos, además de la acción del cilindro hidráulico empujando el material, como consecuencia de la mayor complejidad en el formado, se presentaron varios inconvenientes en las pruebas.

El principal inconveniente se relaciona con las matrices, en primer lugar se decidió el uso de las mismas matrices para la torsión de varilla, sin embargo, la estructura de la matriz longitudinal que comprende dos elementos independientes unidos mediante pernos, los que no pudieron soportar las fuerzas de torsión, además que en la matriz del cabezal, el material encajaba muy ajustado, con lo que se producía el quiebre de la varilla; es así, que se introdujo una matriz longitudinal sólida y una matriz rotativa con una medida de unos milímetros mayor a la del material.

En lo que respecta a los desplazamientos de los actuadores, para el cabezal se estableció el primer giro como 1 revolución, el segundo como 2 revoluciones y el tercero como $\frac{1}{2}$ revolución, y para el cilindro hidráulico un desplazamiento de 10 cm. Al realizar las pruebas se determinó que los giros deberían ser de: 1 revolución para el primer giro, $2\frac{1}{4}$ revoluciones para el segundo giro y de $\frac{3}{4}$ a 1 revolución, dependiendo el ancho que se desee dar a la pieza; por otra parte, se determinó que la distancia de la carrera del cilindro hidráulico es la adecuada.

En la figura 6-3 se pueden observar la evolución de las piezas terminadas, hasta obtener resultados visualmente correctos.

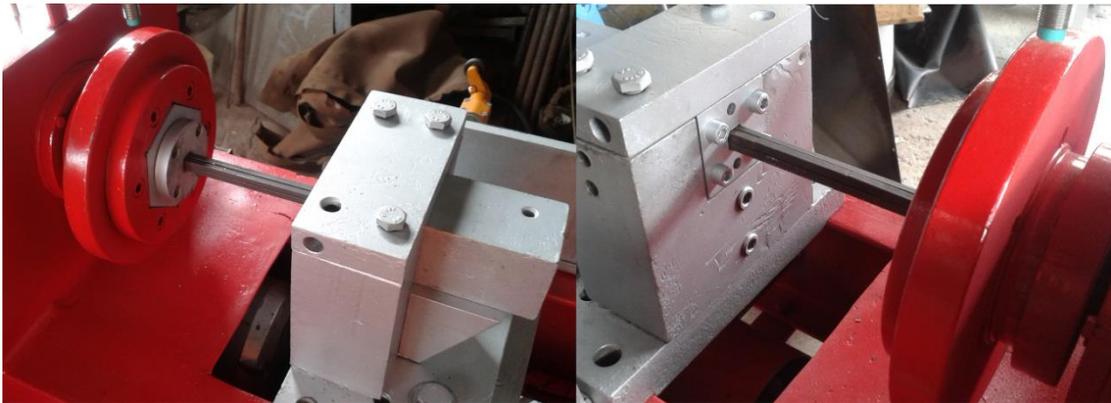


Figura 5-3. Matrices para el formado de piñas

Fuente: Aguirre A., 2016



Figura 6-3. Evolución de pruebas en el formado de piñas

Fuente: Aguirre A., 2016

Tabla 1-3: Resumen de desplazamientos de los actuadores

PIEZA	CABEZAL		CILINDRO HIDRÁULICO
	HORARIO	ANTIHORARIO	
Voluta	–	1 rev	–
Varilla Torcida	Establecido por el usuario		–
Piña	$2\frac{1}{4}$ rev	1 rev $\frac{3}{4}$ – 1 rev	10 cm

Realizado por: Alex Aguirre P.

Fuente: Aguirre A., 2016

3.2 Cálculo del Tamaño de la Muestra

De acuerdo a datos tomados de varias piezas formadas en la etapa de pruebas, fue posible determinar el número de muestras para volutas, varilla torcida y piñas, que habría que elaborarse para obtener resultados confiables. De esta manera es posible estimar una media poblacional para cada proceso que realiza la máquina, y así establecer un estándar en las dimensiones de cada tipo de pieza. La ecuación 1-3 fue empleada para realizar este cálculo.

Ecuación 1-3: Cálculo del tamaño de la muestra para estimar una media poblacional

$$n = \frac{t_{(\alpha/2, n-1)}^2 * S^2}{E^2}$$

Donde:

n: tamaño de la muestra

$t_{(\alpha/2, n-1)}$: valor perteneciente a la distribución T de Student, depende del nivel de confianza asignado y los grados de libertad. Se escoge esta distribución, debido a que el tamaño de la muestra previa (resultados de las pruebas), menor a 45.

S^2 : varianza de la muestra previa.

E^2 : error máximo esperado.

3.2.1 *Tamaño Muestral para Volutas*

En la etapa de pruebas para volutas, se realizaron 4 ensayos, de éstos se obtuvo una varianza de $0,089\text{mm}^2$, se estableció un error de 1mm y se asignó un nivel de confianza del 99%. Reemplazando estos datos en la ecuación 1-3, se tiene:

$$n = \frac{t_{(\alpha/2, n-1)}^2 * S^2}{E^2} = \frac{7,453^2 * 0,0891\text{mm}^2}{(1\text{mm})^2}$$

$$n = 4,95 \approx 5 \text{ muestras}$$

De acuerdo a esto, se deberían realizar 5 muestras para estimar la media poblacional de los dos parámetros considerados para este tipo de pieza (figura 7-3), y de esta manera establecer medidas estándar.

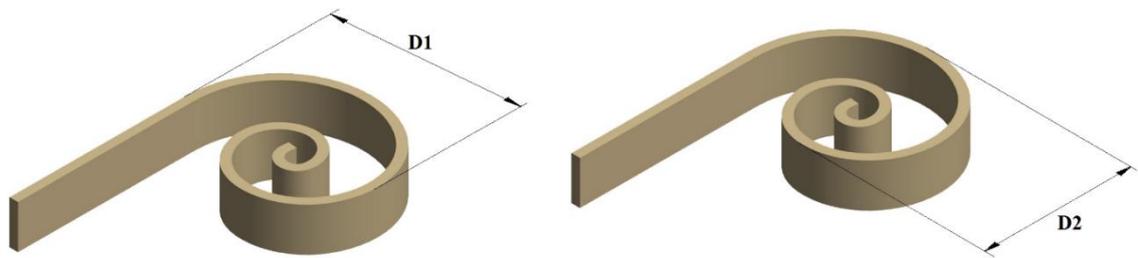


Figura 7-3. Parámetros medidos en una voluta

Fuente: Aguirre A., 2016

3.2.2 Tamaño Muestral para Piñas

En la etapa de pruebas para piñas, se realizaron 4 ensayos, de éstos se obtuvo una varianza de 0,905mm², se estableció un error de 3mm y se asignó un nivel de confianza del 99%. Reemplazando estos datos en la ecuación 1-3, se tiene:

$$n = \frac{t_{(\alpha/2, n-1)}^2 * S^2}{E^2} = \frac{7,453^2 * 0,905\text{mm}^2}{(3\text{mm})^2}$$

$$n = 5,59 \approx 6 \text{ muestras}$$

De acuerdo a esto, se deberían realizar 6 muestras para estimar la media poblacional de los dos parámetros considerados para este tipo de pieza (figura 8-3), y de esta manera establecer medidas estándar.

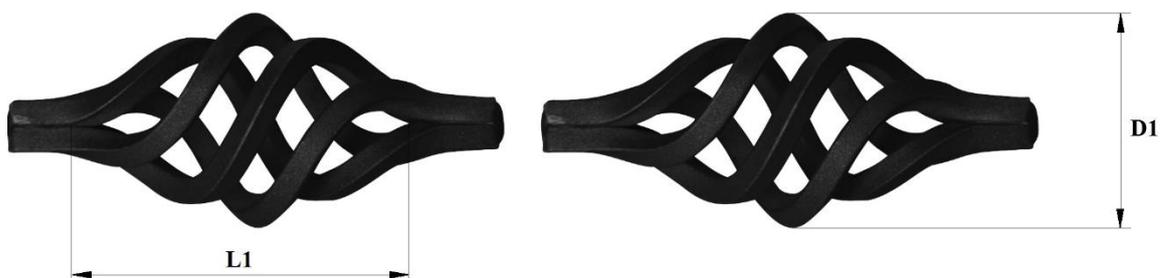


Figura 8-3. Parámetros medidos en una piña

Fuente: Aguirre A., 2016

3.2.3 Tamaño Muestral para Varilla Torcida

En la etapa de pruebas para varilla torcida, se realizaron 3 ensayos, de éstos se obtuvo una varianza de $0,01\text{mm}^2$, se estableció un error de $0,75\text{mm}$ y se asignó un nivel de confianza del 99%. Reemplazando estos datos en la ecuación 1-3, se tiene:

$$n = \frac{t_{(\alpha/2, n-1)}^2 * S^2}{E^2} = \frac{14,089^2 * 0,01\text{mm}^2}{(0,75\text{mm})^2}$$

$$n = 3,53 \approx 4 \text{ muestras}$$

De acuerdo a esto, se deberían realizar 4 muestras para estimar la media poblacional de los dos parámetros considerados para este tipo de pieza (figura 9-3), y de esta manera establecer medidas estándar.

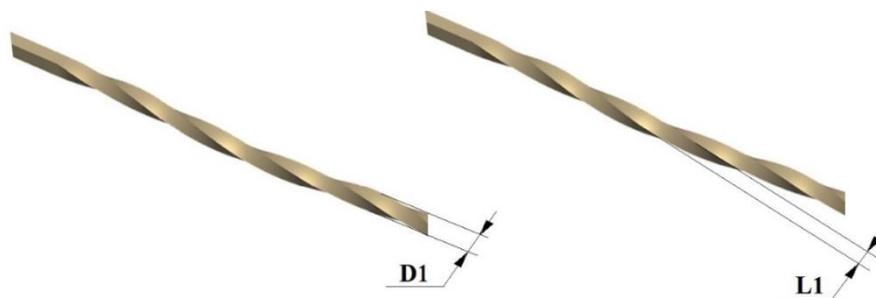


Figura 9-3. Parámetros medidos en la varilla torcida

Fuente: Aguirre A., 2016

3.3 Medición de Parámetros y Estimación de la Media Poblacional

3.3.1 Volutas

De acuerdo a lo determinado anteriormente, se elaboraron 5 muestras, en cada una de ellas se midieron los dos parámetros correspondientes a este tipo de pieza (figura 7-3). Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Resultados de las mediciones de volutas

PARÁMETRO	DIÁMETRO 1	DIÁMETRO 2
Media (mm)	95,975	76,84
Varianza (mm ²)	0,0225	0,068

Realizado por: Alex Aguirre P.

Fuente: Aguirre A., 2016

De estos resultados, es posible **afirmar la uniformidad de las piezas terminadas**; esto debido a la baja varianza presentada, que significa el nivel de dispersión que tienen los datos respecto a la media. Con eso se puede establecer un estándar para las dimensiones de las piezas considerando una tolerancia de 1mm, la misma que fue fijada para el cálculo del tamaño de la muestra, de esta forma se tiene: Diámetro 1 ($95,975 \pm 1$ mm), y Diámetro 2 ($76,84 \pm 1$ mm).

3.3.2 Piñas

De acuerdo a los cálculos anteriores, se elaboraron 6 muestras, en cada una de ellas se midieron los dos parámetros correspondientes a este tipo de pieza (figura 8-3). Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3-3.

Tabla 3-3: Resultados de las mediciones de piñas

PARÁMETRO	LONGITUD 1	DIÁMETRO 1
Media (mm)	92,03	46,57
Varianza (mm ²)	0,211	0,926

Realizado por: Alex Aguirre P.

Fuente: Aguirre A., 2016

De estos resultados, es posible **afirmar la uniformidad de las piezas terminadas**; esto debido a la baja varianza presentada, que significa el nivel de dispersión que tienen los datos respecto a la media. Con eso se puede establecer un estándar para las dimensiones de las piezas considerando una tolerancia de 3mm, la misma que fue fijada para el cálculo del tamaño de la muestra, de esta forma se tiene: Longitud 1 ($92,03 \pm 3$ mm), y Diámetro 1 ($46,57 \pm 3$ mm).

3.3.3 Varilla Torcida

De acuerdo a lo determinado anteriormente, se elaboraron 4 muestras, en cada una de ellas se midieron los dos parámetros correspondientes a este tipo de pieza (figura 9-3). Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 4-3.

Tabla 4-3: Resultados de las mediciones de varilla torcida

PARÁMETRO	DIÁMETRO 1	LONGITUD 1
Media (mm)	14,55	10,60
Varianza (mm ²)	0,02	0,0067

Realizado por: Alex Aguirre P.

Fuente: Aguirre A., 2016

De estos resultados, es posible **afirmar la uniformidad de las piezas terminadas**; esto debido a la baja varianza presentada, que significa el nivel de dispersión que tienen los datos respecto a la media. Con eso se puede establecer un estándar para las dimensiones de las piezas considerando una tolerancia de 0,75mm, la misma que fue fijada para el cálculo del tamaño de la muestra, de esta forma se tiene: Diámetro 1 (14,55±0,75 mm), y Longitud 1 (10,60±0,75 mm).

3.4 Tiempos en el Formado de Piezas

Para la obtención de piezas terminadas, el proceso comprende: el corte del material, soldado (en el caso de la piña), montaje del material en la máquina, secuencia automática y desmontaje de la pieza formada. Para el tiempo de formado, únicamente se consideró el intervalo de tiempo de la secuencia automática, es decir, desde que el operador envía la señal de inicio, hasta que la pieza está lista para ser retirada de la máquina.

En la tabla 5-3, se presenta el tiempo en el formado de cada pieza, no se considera una varianza ya que el tiempo es una magnitud constante en el funcionamiento de la máquina, definido por las características de los componentes, como la velocidad de rotación del cabezal o la velocidad de avance/retroceso del cabezal.

Tabla 5-3: Tiempo en el formado de piezas

PIEZA	TIEMPO
Voluta	20 s
Piña	68 s
Varilla Torcida	17 s/rev

Realizado por: Alex Aguirre P.

Fuente: Aguirre A., 2016

3.5 Comparación con el Trabajo Manual

En esta sección se realiza un contraste entre el trabajo realizado manualmente, al que se hará referencia como método manual, y el trabajo desempeñado por la máquina, al que se llamará método automático.

3.5.1 Voluta

El proceso manual de formado de volutas en frío es posible de ejecutarlo, se elaboraron cinco piezas, de las cuales se midieron los parámetros correspondientes (figura 7-3) y el tiempo que transcurre en el formado de las mismas. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6-3, en este caso sí fue considerada la varianza del tiempo, ya que su magnitud es afectada directamente por varios factores, entre ellos se tienen, el tipo de material empleado, la capacidad física, cansancio y estado de ánimo, estos tres últimos relacionados con la persona encargada del trabajo.

Tabla 6-3: Resultados de voluta (método manual)

PARÁMETRO	DIÁMETRO 1	LONGITUD 1	TIEMPO
Media	94,46 mm	70,34 mm	137,4 s
Varianza	23,41 mm ²	10,55 mm ²	753,8 s ²

Realizado por: Alex Aguirre P.

Fuente: Aguirre A., 2016

De acuerdo a los datos obtenidos, no es posible asegurar la uniformidad de las piezas terminadas mediante el método manual, debido a la alta varianza que presentan los dos parámetros medidos. Añadiendo a esto, el tiempo promedio en el formado manual (137,4 s) equivale a 6,87 veces más del tiempo empleado por la máquina (20 s), además tampoco se puede afirmar la igualdad en el tiempo de formado, debido a la varianza que muestran los datos.

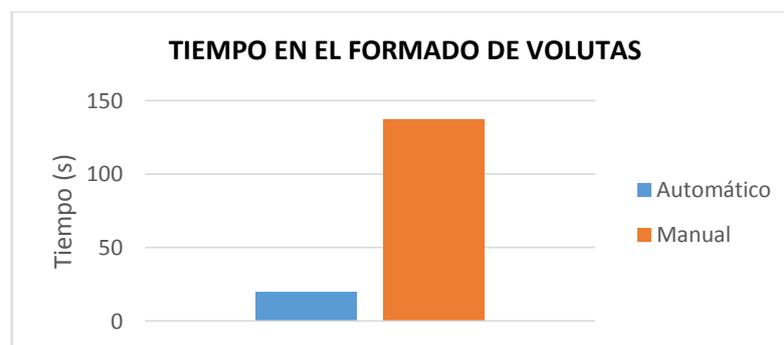


Figura 10-3. Comparación del tiempo en el formado de volutas

Fuente: Aguirre A., 2016

En la figura 11-3, se puede notar con claridad la diferencia en la calidad entre el trabajo manual, que no muestra un gran aspecto estético, y el efectuado por la máquina, que resulta muy agradable a la vista.



Figura 11-3. Comparación de voluta (manual y automático)

Fuente: Aguirre A., 2016

3.5.2 *Varilla Torcida*

El proceso de torsión de varilla es demasiado complicado llevarlo a cabo en frío manualmente, ya que debido a la elevada fuerza requerida para vencer la resistencia del material el esfuerzo que puede realizar una persona no es suficiente para lograr una pieza terminada, o por lo menos en un corto tiempo a causa del cansancio, lo que hace que el proceso sea pausado.

Por otra parte, empleando la máquina la torsión se realiza de forma continua, con mayor rapidez y sin importar el tipo del material utilizado. En la figura 12-3, se puede diferenciar la capacidad de torsión del método manual y del automático.



Figura 12-3. Capacidad de torsión (manual y automático)

Fuente: Aguirre A., 2016

Al tratar de torcer la varilla manualmente, ésta tiende a perder su linealidad como consecuencia de la fuerza aplicada, con lo que una pieza terminada no sigue la forma de una línea recta en su totalidad, situación que no ocurre con el método automático; en la figura 13-3 es posible percibir la diferencia entre los dos métodos respecto a este aspecto.

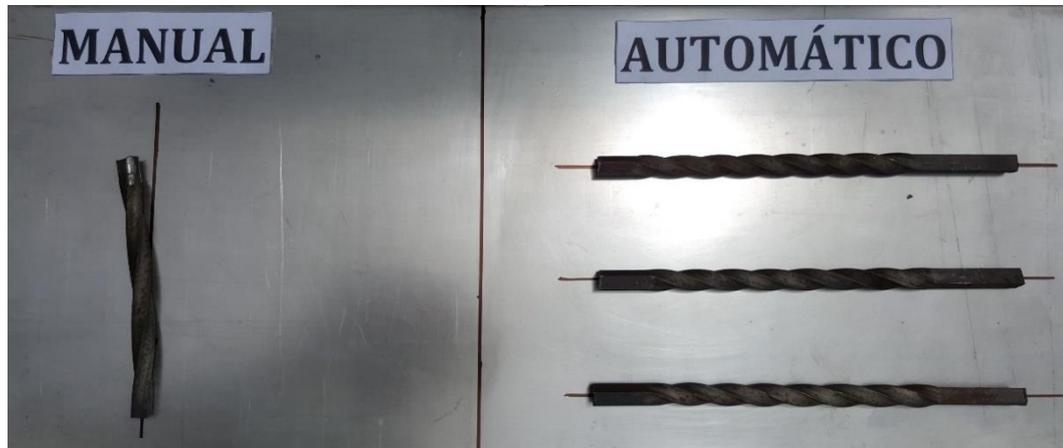


Figura 13-3. Comparación de varilla torcida (manual y automático)

Fuente: Aguirre A., 2016

Con la aplicación del método manual, el extremo de la varilla, sobre el que se aplica la fuerza, resulta severamente afectado al finalizar el proceso como se puede observar en la figura 14-3; todo lo contrario sucede con el uso de la máquina, donde ninguno de los dos extremos de la pieza terminada es dañado en el proceso de torsión.



Figura 14-3. Extremo varilla torcida (manual)

Fuente: Aguirre A., 2016

3.5.3 Piña

El formado de piñas es prácticamente imposible ejecutarlo en frío de forma manual, ya que el proceso es mucho más complejo que los dos anteriores; como se mencionó con anterioridad, para la torsión se requiere de una fuerza de gran magnitud, para realizar el empuje del material, y que éste tome la forma deseada, se necesita de una fuerza de mayores proporciones.

Mediante el método automático es posible el formado de piñas, consumiendo una pequeña cantidad de tiempo (68 s), en la figura 14-3 se pueden observar algunas de estas piezas terminadas, formadas con diferentes parámetros, ingresados en la máquina, para el diámetro de la pieza.



Figura 15-3. Piñas terminadas con diferentes parámetros para el formado

Fuente: Aguirre A., 2016

3.6 Recuperación de la Inversión

El monto de la inversión para la implementación del sistema automatizado comprende la adquisición de los componentes del mismo como: PLC, HMI, sensores y demás materiales requeridos. En la tabla 7-3, se presenta un detalle de la inversión realizada.

La estimación de la recuperación de la inversión se realizó en número de unidades producidas, es decir, determinar un punto en la cantidad de piezas formadas, que en lo posterior serían vendidas, a partir de cual el monto del dinero invertido queda cubierto, y se comienzan a generar ganancias; para esto es preciso establecer un precio de venta al público (PVP), y determinar los costos directos. Se destinó un porcentaje del total de la inversión, el cual deberá ser recuperado a través de cada tipo de pieza que es posible elaborar en la máquina: 30% para volutas (\$ 390), 30% para varilla torcida (\$ 390) y 40% para piñas (\$ 520). En la tabla 8-3, se presenta el PVP fijado para cada pieza.

Tabla 7-3: Detalle de la inversión

COMPONENTE	PRECIO
PLC Xinje XC3-24RT	\$ 240,00
HMI TouchWin TH765	\$ 680,00
Sensores Inductivos PNP	\$ 80,00
Relés 24VDC con zócalo	\$ 125,00
Pulsadores	\$ 15,00
Selector 3 posiciones	\$ 5,00
Interruptores Termomagnéticos	\$ 11,00
Indicadores Piloto	\$ 9,00
Gabinete Eléctrico	\$ 50,00
Materiales Adicionales	\$ 85,00
TOTAL INVERSIÓN	\$ 1.300,00

Realizado por: Alex Aguirre P.

Fuente: Aguirre A., 2016

Tabla 8-3: PVP establecido para cada pieza

COMPONENTE	PRECIO
Voluta	\$ 1,50
Varilla torcida	\$ 1,10
Piña	\$ 1,75

Realizado por: Alex Aguirre P.

Fuente: Aguirre A., 2016

En lo que respecta a los costos del formado de las piezas, se debe considerar los precios de materia prima, mano de obra y costos indirectos (energía eléctrica, electrodos para soldadura, entre otros). En la tabla 9-3, se puede observar un detalle de los costos de materiales el formado de volutas, varilla torcida y piñas; respecto a los rubros de los demás costos, se ha determinado tomar un 15% del PVP para mano de obra, y un 5% del PVP para costos indirectos.

Tabla 9-3: Detalle de costos de materia prima para cada pieza

PIEZA	MATERIAL		
	Cantidad (cm)	Descripción	Valor
Voluta	50	Platina 1x ¼ pulgada	\$ 0,69
Varilla Torcida	30	Varilla cuadrada ½ pulgada	\$ 0,28
Piña	4x15	Varilla cuadrada ¼ pulgada	\$ 0,18

Realizado por: Alex Aguirre P.

Fuente: Aguirre A., 2016

De acuerdo a lo expuesto anteriormente (tabla 8-3 y tabla 9-3), es posible obtener una utilidad bruta por unidad de cada tipo de pieza, este valor servirá para cubrir el porcentaje correspondiente de la inversión. En la tabla 10-3, se muestra la utilidad bruta y el número de productos de cada tipo que se han de formar para recuperar la inversión.

Tabla 10-3: Número de unidades para recuperar la inversión

CONCEPTO	VOLUTA	VARILLA TORCIDA	PIÑA
Precio de Venta al Público	\$ 1,50	\$ 1,10	\$ 1,75
- Materiales	\$ (0,69)	\$ (0,28)	\$ (0,18)
- Mano de Obra (15%)	\$ (0,23)	\$ (0,17)	\$ (0,26)
- Costos Indirectos (5%)	\$ (0,08)	\$ (0,06)	\$ (0,09)
UTILIDAD BRUTA	\$ 0,51	\$ 0,60	\$ 1,22
MONTO DE LA INVERSIÓN	\$ 390,00	\$ 390,00	\$ 520,00
NÚMERO DE UNIDADES PARA RECUPERAR LA INVERSIÓN	765	650	426

Realizado por: Alex Aguirre P.

Fuente: Aguirre A., 2016

De acuerdo a los datos obtenidos, se estima que con el formado de 765 volutas, 650 varillas torcidas y 426 piñas, y su posterior venta, se recupera el dinero invertido y a partir de ese punto se comienzan a generar ganancias.

CONCLUSIONES

- Una vez determinado el número de señales de E/S, para la selección del PLC y su posterior adquisición, es preciso destinar un porcentaje como reserva, en el posible caso de una futura expansión, o de requerirse señales de E/S adicionales, cuya necesidad pudiera ser advertida en la implementación del sistema, como ocurrió el sensor de posición inicial del cabezal y el selector de tres posiciones, que fueron añadidos luego del estudio.
- Mediante la implementación del sistema eléctrico, y su integración con los sistemas mecánico e hidráulico, fue posible lograr el funcionamiento y puesta en marcha de la máquina, que antes de la ejecución de este trabajo se encontraba en estado de inactividad.
- El PLC seleccionado cumple con todas las expectativas sobre su funcionamiento, es decir: capacidad de memoria, puntos E/S, contadores y temporizadores; las secuencias programadas en su memoria correspondientes a cada tipo de pieza, permitieron desde el inicio el correcto formado de las mismas, sin embargo, se debieron realizar pequeños ajustes, luego de las primeras pruebas, con respecto a los desplazamientos de los actuadores.
- A través de la programación de las pantallas y ventanas del HMI se ofrece al operador un modo sencillo e intuitivo del manejo de la máquina, con lo cual es posible acceder fácilmente a todos los tipos de piezas que se pueden formar; sin embargo, siempre es importante la presencia de elementos de mando físicos, por ejemplo el paro de emergencia, el cual debe localizarse de tal forma que pueda ser accionado rápidamente en alguna situación adversa.
- Por medio del manual de usuario se establecen los lineamientos generales para el uso correcto de la máquina, el operador cuenta con una guía detallada de las características técnicas de los componentes, el formado de las piezas y el mantenimiento; lo que asegura la durabilidad de la máquina, al seguir las instrucciones contempladas en el manual.
- Se afirma la uniformidad en los productos formados a través de la máquina, con lo que es posible establecer un estándar para cada tipo de pieza que se ofrece, reduciendo considerablemente el intervalo de tiempo consumido en la elaboración de cada una de ellas, y como consecuencia, generando un aumento en el volumen de producción. A diferencia de la calidad del formado manual en frío, donde las piezas terminadas difieren en gran proporción unas de otras, y tomándose gran cantidad de tiempo en el proceso, añadiendo a esto el hecho de que la cuota de productos se reduce, se tiene el ejemplo de las piñas, cuyo formado no es posible manualmente en frío, por otra parte, con la máquina sí lo es.

RECOMENDACIONES

- Reunir una gran cantidad de información sobre el proceso que se desee automatizar, esto permite tener conocimiento de las variables y parámetros que intervienen en el mismo, lo que a su vez va a permitir una correcta selección de los componentes del sistema automatizado.
- Al momento de seleccionar elementos como PLC, HMI y sensores, es importante considerar varias opciones, compararlas y decidir aquella que brindará mayores beneficios.
- Comparar entre el funcionamiento de finales de carrera y otros tipos de sensores de posición, para el control de la ubicación del vástago de un cilindro hidráulico, con el propósito de determinar cuál de ellos es la mejor opción para este fin.
- Previo al manejo de la máquina, es importante revisar detalladamente el manual de usuario desarrollado, para que el usuario tenga una idea clara de cómo debe llevarse a cabo el correcto formado de las piezas.

GLOSARIO

Bórax: Sal blanca compuesta de ácido bórico, sosa y agua, de sabor alcalino algo dulce.

Corriente alterna (AC): corriente eléctrica variante en el tiempo, es decir, que cambia su sentido de circulación, de manera periódica.

Corriente directa (DC): corriente eléctrica invariante en el tiempo, las cargas eléctricas circulan siempre en la misma dirección.

Corrientes de Foucault: son corrientes circulares inducidas en un conductor metálico macizo al introducirlo en un campo magnético variable o viceversa. Estas corrientes disipan energía en el metal en forma de calor.

Efecto Joule: cuando circula corriente eléctrica a través de un conductor, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor, elevando la temperatura del mismo.

Fragua: espacio abierto construido con una sustancia refractaria y duradera (ladrillo refractario), dotado de una serie de aberturas por las que se fuerza el aire mediante un fuelle o un ventilador. En la fragua se emplean como combustible diversos tipos de carbón.

Lámina bimetálica: es un elemento constituido por dos láminas de metal con diferentes coeficientes de dilatación; al calentarse estos metales, por consecuencia del Efecto Joule, se deforman de forma distinta, provocando la apertura o cierre de con contacto eléctrico.

Matriz: sólido metálico que se monta en la torsionadora de forja, que cumple la función de guía y soporte del material en el formado de piezas de forja ornamental.

Recristalización: cuando un metal, previamente deformado en frío, es sometido a una temperatura elevada, aparecen nuevos cristales en su microestructura con una estructura idéntica a los antiguos cristales no deformados.

Temperatura de recristalización: temperatura aproximada a la que un material altamente trabajado en frío se recristaliza por completo en una hora. Esta temperatura puede variar dependiendo del material.

BIBLIOGRAFÍA

ACERTEC. *Historia de la Forja* [En línea]. Barcelona-España, 2009.

[Consulta: 15 noviembre 2015].

Disponible en: <http://www.acertec.cat/es/artesania-i-forja/histr-de-la-forja>.

BALCELLS, J y ROMERAL, J. L. *Autómatas Programables*. 1ª ed. Barcelona-España : Marcombo, 1998. pp. 67-73

BORKOSKY, D. *Formado De Metales*. [En línea]. Argentina, 2010.

[Constulta: 15 noviembre 2015].

Disponible en: <http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/typp/files/2012/05/>

CEMBRANOS NISTAL, F. J. *Automatismos eléctricos, neumáticos e hidráulicos*. 5ª ed. Madrid-España: Paraninfo, 2008. pp. 2-6,18-20.

CERDÁ FILIU, L. M. *Instalaciones eléctricas y automatismos*. Madrid-España: Paraninfo, 2014. pp. 261-265.

COPA-DATA. *Interfaz Hombre-Máquina (HMI)*. [En línea] Austria, 2016.

[Consulta: 12 enero 2016].

Disponible en:

<https://www.copadata.com/es-es/soluciones-hmi-scada/interfaz-hombre-maquina-hmi/>.

CREUS SOLÉ, A. *Instrumentación Industrial*. 8ª ed. Barcelona-España: MARCOMBO, 2011. pp. 1-20.

DANERI, P. *Automatización y Control Industrial*. 1ª ed. Buenos Aires-Argentina: Hispano Americana S.A., 2008. pp. 44, 58-60.

DOMINGO PEÑA, J., y otros. *Diseño y aplicaciones con autómatas programables*. 1ª ed.

[En línea] Aragón-España: UOC, 2003. pp. 17-27.

[Consulta: 15 enero 2016].

Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=cwevB2i-fOsC&printsec>

EBEL, F., y otros. *Fundamentos de la técnica de automatización*. 1ª ed. Denkendorf-Alemania:

Festo Didactic, 2008. pp. 15-16.

FORJA ARTESANA. *Historia de la Forja*. [En línea]. España, 2016.

[Consulta: 15 noviembre 2015].

Disponible en: <http://forjaartesana.com/2015/10/23/historia-de-la-forja/>.

FORJAS CASADO. *Historia de la Forja*. [En línea]. España, 2016.

[Consulta: 15 noviembre 2015].

Disponible en: <http://www.forjascasado.com/web2/component/content/article/60.html>.

FRAILE MORA, J. *Máquinas Eléctricas*. 5ª ed. Madrid-España: McGraw-Hill, 2003. pp. 85-95.

GARCÍA, A. *Automatismos Cableados y Control de Potencia*. [En línea]. España, 2011.

[Consulta: 3 febrero 2016].

Disponible en: <https://issuu.com/jandrogc/docs/ud3/1?e=3602581/3524377>.

GESTIÓN DE COMPRAS. *Forja en Frío*. [En línea]. España, 2015.

[Consulta: 15 enero 2016]

Disponible en: <http://www.gestiondecompras.com/es/productos/forja/forja-en-frio>.

JOHN, K y TIEGELKAMP, M. *IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems*.

Berlín-Alemania: Springer, 2001. pp. 21-30, 65-75

LEWIS, R. *Programming Industrial Control Systems Using IEC 1131-3*. 1ª ed. [En línea].

Londres-Reino Unido: The Institution of Electrical Engineers, 1998. pp. 53-65.

[Consulta: 12 enero 2016].

Disponible en: <https://books.google.ru/books?id=sc-g9k6dPzMC> .

MANDADO PÉREZ, E, y otros. *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización*. 2ª ed. Barcelona-España: Marcombo, 2009. pp. 205-210, 429-440.

MATEOS, F. *Sistema Automatizado (PLCs)*. [En línea]. España, 2001.

[Consulta 1 febrero 2016].

Disponible en: <http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/plc.pdf>.

MAZA CABELLO, Ana Cristina. *Diseño de un sistema experto para el enderezado de chasis en frío* (Tesis). [En línea] Universidad de las Américas Puebla, Escuela de Ingeniería, Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica, México. 2009. pp. 52-55.

[Consulta 25 febrero 2016].

Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/maza_c_ac/capitulo5.pdf

MOTT, Robert. 2006. *Mecánica de Fluidos*. 6ª ed. México D.F.-México: Pearson Educación, 2006. pp. 385-390.

NARGESA. 2012. Torsionadora de forja en frío. [En línea]. España, 2012.

[Consulta: 5 diciembre 2015].

Disponible en: <http://www.nargesa.com/es/maquinaria-industrial/torsionadoras-de-forja-mt150a>.

ODETTO, A.R. 2011. Cadenas de Transmisión. [En línea]. Argentina, 2011.

[Consulta: 20 marzo 2016]

Disponible en:

http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/3_anio/mecanica_electrica/

OROZCO GUTIÉRREZ, A., GUARNIZO LEMUS, C. y HOLGUÍN LONDOÑO, M. *Automatismos Industriales*. 1ª ed. Pereira-Colombia: Taller de Publicaciones-Universidad Tecnológica de Pereira, 2008. pp. 5-11, 149-160.

PALLÁS ARENY, R. *Sensores y Acondicionadores de Señal*. 4ª ed. Barcelona-España: Marcombo, 2003. pp. 1-10.

PLCOPEN. IEC 61131-3: un recurso de programación estandar. *PLCopen*. [En línea]. Gorinchen, Países Bajos, 2010.
[Consulta 15 febrero 2016].
Disponible en: http://www.plcopen.org/pages/tc1_standards/iec61131-3/.

ROLDÁN, J. *Automatismos Industriales*. 4ª ed. Madrid-España: Paraninfo, 2011. pp. 12-15.

SACO, R. Introducción a HMI. [En línea]. Argentina, 2008.
[Consulta: 20 febrero 2016].
Diponible en: <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>.

SOLBES MONZÓ, R. *Automatismos Industriales. Conceptos y procedimientos*. 4ª ed. Valencia-España: Nau Libres, 2014. pp. 53-56.

TOTOSAUS GÓMEZ, C. *Introducción a la automatización. Autómatas programables*. [En línea]. España, 2009. [Consulta: 10 febrero 2016].
Disponible en: <http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/>

UNIVERDAD DEL PAÍS VASCO. *Tema 5: El proceso de forja*. [En línea]. España, 2013.
[Consulta: 15 diciembre 2015].
Disponible en: http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/713_ca.pdf.

UNIVERSIDAD CARLOS III. *Transmisión por Correas*. [En línea]. España, 2011.
[Consulta: 25 febrero 2016].
http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/diseno-mecanico-1/material_clase/ocw_correas1.

UNIVERSIDAD DE HUELVA. *Introducción a la Automatización*. [En línea]. España, 2011.
[Consulta: 2 febrero 2016].
Disponible en: http://www.uhu.es/diego.lopez/AI/auto_trans-tema1.pdf.

UNIVERSIDAD DE OVIEDO. *Resumen sobre GRAFCET.* [En línea]. España, 2008.

[Consulta: 20 febrero 2016].

Disponible en: http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/grafcet_resumen.pdf.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA. *Interfaz Hombre-Máquina.* [En línea]. Colombia, 2009.

[Consulta: 12 febrero 2016].

Disponible en:

<ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/SW%20para%20aplicaciones%20Industriales%20I/Teoria/3%20Interfaz%20Hombre-maquina.pdf>.

YAHUACHI, C. *Lenguajes de Programación de PLCs.* [En línea]. Ecuador, 2009.

[Consulta: 25 febrero 2016].

Disponible en:

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9276/6/LENGUAJES%20DE%20PROGRAMACION%20DE%20PLC.doc>.

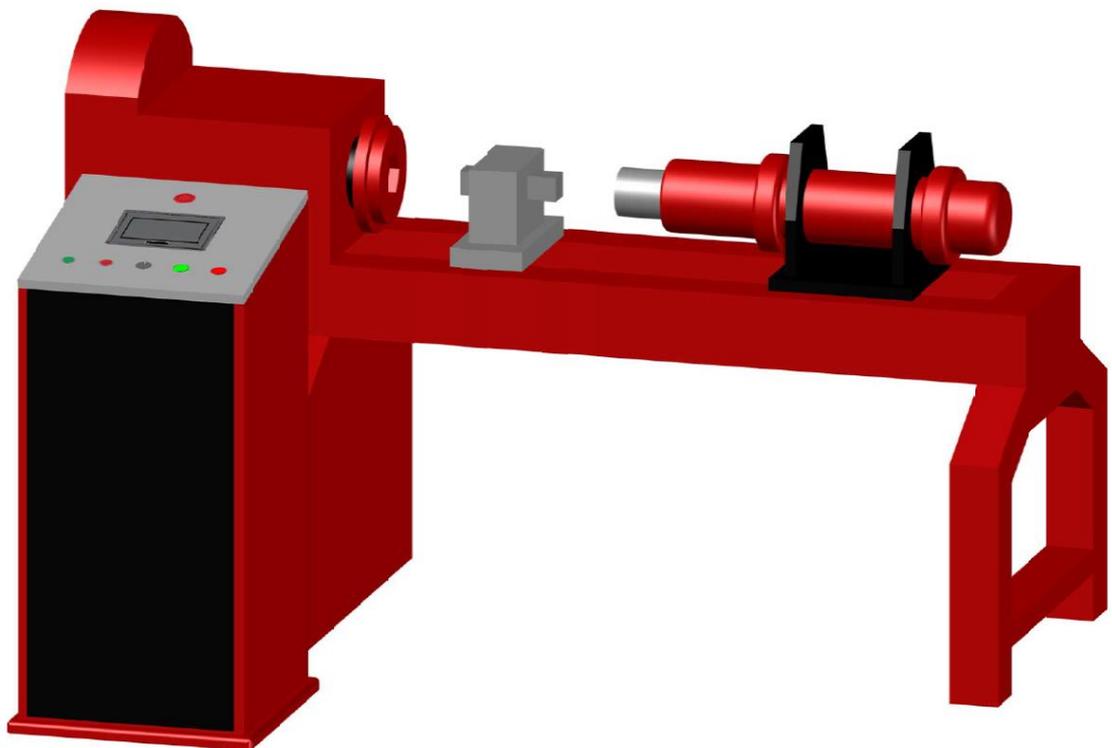
ANEXOS

ANEXO A. Manual de Usuario



FUEGO

EL ARTE DE MOLDEAR LOS METALES



TORSIONADORA DE FORJA EN FRÍO

MANUAL DE USUARIO



TABLA DE CONTENIDOS

1. INFORMACIÓN DE LA MÁQUINA.....	3
1.1. Descripción de la máquina.....	3
1.2. Datos Técnicos de la Máquina.....	4
2. ACCESORIOS DE LA MÁQUINA.....	5
2.1. Matrices para varilla torcida.....	5
2.2. Matrices para platina torcida.....	6
2.3. Matrices para volutas.....	6
2.4. Matrices para piñas.....	6
3. FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA.....	7
3.1. Ingreso al sistema.....	8
3.2. Modo Automático.....	9
3.3. Modo manual.....	11
4. INSTRUCCIONES PARA EL MANEJO.....	12
4.1. Sobre el equipo de protección personal (EPP).....	12
4.2. Sobre accesorios y materiales.....	13
4.3. Sobre el modo manual.....	13
4.4. Sobre la calibración de los sensores.....	13
5. MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA.....	13
6. ELABORACIÓN DE PIEZAS PASO A PASO.....	14
6.1. Formado de volutas.....	14
6.2. Formado de piñas.....	15
6.3. Torsión de varilla.....	16
ANEXO TÉCNICO	
ANEXO I. Especificaciones Técnicas de los Componentes del Tablero de Control.....	1
ANEXO II. Planos Eléctricos.....	5

1. INFORMACIÓN DE LA MÁQUINA

1.1. Descripción de la máquina

La torsionadora de forja en frío se emplea para dar la forma deseada al material a temperatura ambiente, para ello se requiere una gran cantidad de fuerza. Dentro de la máquina se tienen dos sistemas bien definidos: el mecánico y el hidráulico.

El sistema mecánico, que corresponde al CABEZAL, es la parte que se encarga de la torsión del material; se puede hacer todo tipo de piezas únicamente se necesita del molde y un punto de apoyo. Para el movimiento del cabezal, el sistema se compone de un motor eléctrico, correas de transmisión, una caja reductora, cadenas de transmisión y un eje de transmisión.

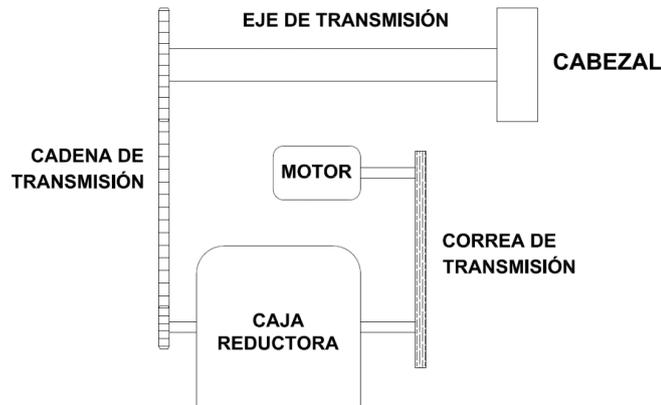


Figura 1. Diagrama del cabezal

Por otra parte, el sistema hidráulico, se emplea para empujar el material; se compone de una bomba de engranes, una válvula limitadora de presión, una electroválvula, su tanque reservorio y el actuador corresponde a un cilindro.

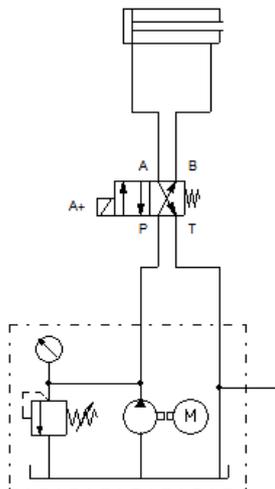


Figura 2. Circuito hidráulico de la máquina

Adicional a esto la máquina cuenta con un gabinete eléctrico, donde se aloja el tablero de control que permite el manejo de la máquina.

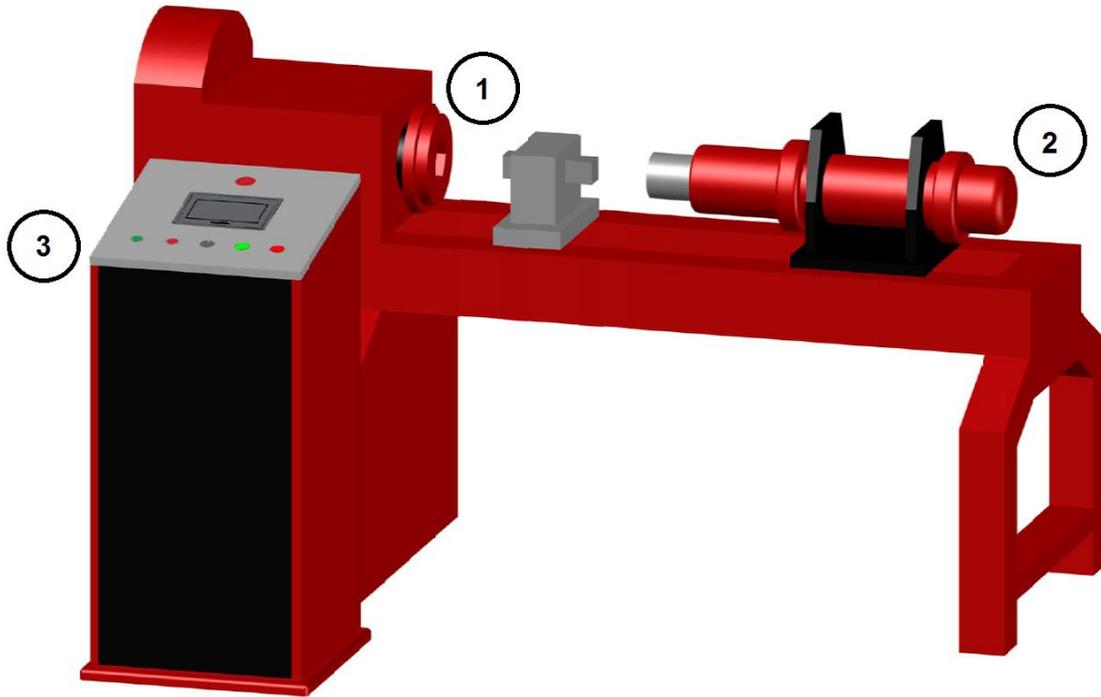


Figura 3. (1) Cabezal, (2) Cilindro Hidráulico, (3) Gabinete Eléctrico

1.2. Datos Técnicos de la Máquina

A continuación se presentan las características técnicas de los sistemas que componen la máquina.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del cabezal

MOTOR ELÉCTRICO		TRANSMISIÓN POR CORREA	
Voltaje (V)	220 AC 1Ø	Diámetro motriz (D1)	100 mm
Corriente (I)	13,8 A	Diámetro conducido (D2)	200 mm
Potencia (P)	2 hp	Relación de transmisión (i_{CR})	2
Velocidad (n)	1720 rpm	Velocidad salida (n_{OUT})	860 rpm
CAJA REDUCTORA		TRANSMISIÓN POR CADENAS	
Relación de reducción (i_{CJ})	50:1	Dientes del conductor (N_1)	11
Velocidad salida (n_{OUT})	17,2	Dientes del conducido (N_2)	32
Par desarrollado (T_{MAX})	830 Nm	Relación de transmisión (i_{CD})	2,9
		Velocidad salida (n_{OUT})	5,93 \approx 6 rpm

Tabla 2. Especificaciones técnicas del sistema hidráulico

MOTOR ELÉCTRICO		CENTRAL HIDRÁULICA	
Voltaje (V)	220 AC 1Ø	Presión máx. bomba	280 bar
Corriente (I)	10 A	Velocidad de rotación	3000 rpm
Potencia (P)	2 hp	Cilindrada	16 cm ³ /rev
Velocidad (n)	1700 rpm	Capacidad del tanque	62 L
ELECTROVÁLVULA		CILINDRO DOBLE EFECTO	
Tipo	Monoestable 4/2	Diámetro del cilindro	160 mm
Voltaje	220 VAC	Diámetro del émbolo	70 mm
Potencia	20 W	Longitud de la carrera	60 cm
Presión máx.	280 bar	Velocidad de desplazamiento	0,5 m/s
		Fuerza entregada	25000 kgf

2. ACCESORIOS DE LA MÁQUINA

La máquina cuenta con diferentes matrices para la elaboración de diferentes tipos de piezas como: varilla o platina torcida, volutas y piñas.

2.1. Matrices para varilla torcida

Para la elaboración de este tipo de pieza, se tiene disponible matrices para varilla de ½ pulgada y ¾ de pulgada.

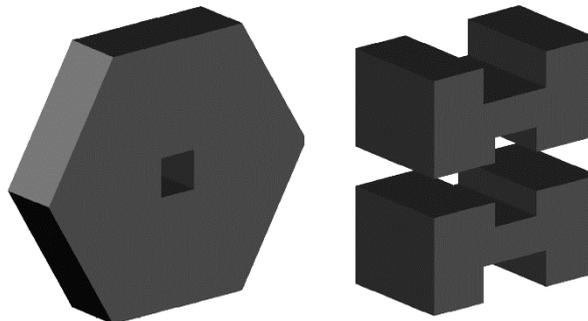


Figura 4. Matrices para varilla de ½"

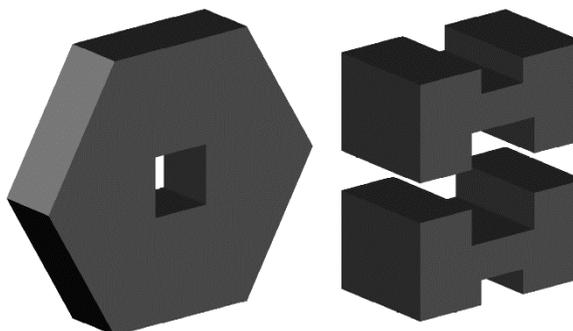


Figura 5. Matrices para varilla de ¾"

2.2. Matrices para platina torcida

La máquina tiene disponible matrices para la torsión de platina de 1 pulgada y 1½ de pulgada.

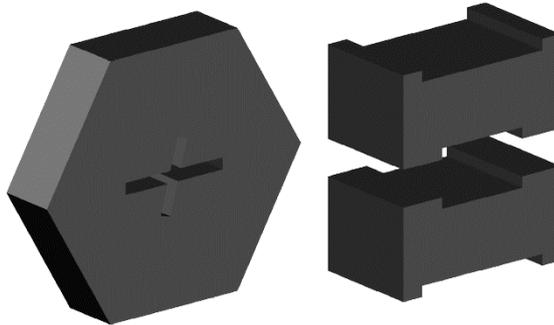


Figura 6. Matrices para torcer platina

2.3. Matrices para volutas

La máquina cuenta con una matriz espiral y un elemento para el apoyo del material en el momento de la torsión.

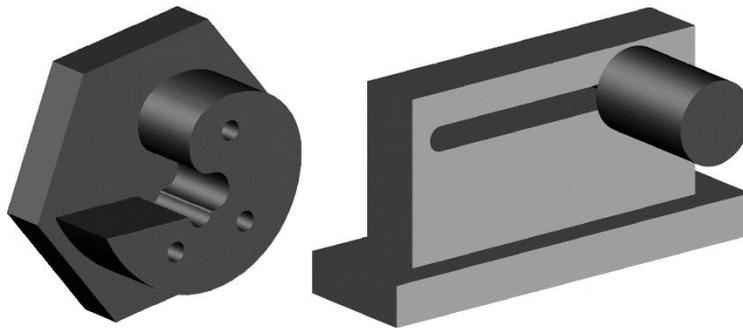


Figura 7. Matriz y apoyo para la formación de volutas

2.4. Matrices para piñas

La máquina dispone de una matriz rotacional y una matriz con movimiento longitudinal para la elaboración de piñas.

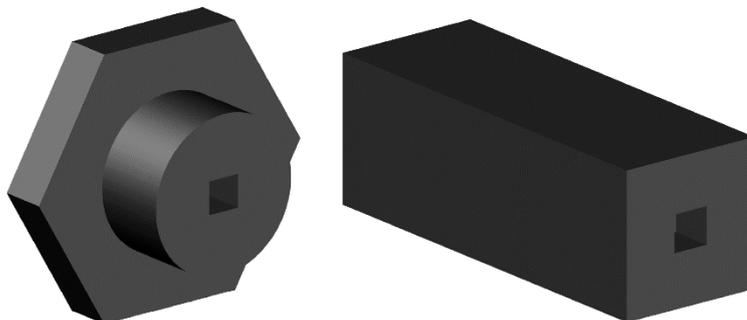


Figura 8. Matrices para la elaboración de piñas

3. FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

La máquina ha sido programada con dos modos de funcionamiento: automático y manual. En el modo automático, el operador selecciona el tipo de pieza que desea realizar, monta el herramental sobre la máquina, ubica el material entre el cabezal y la matriz secundaria, y el programa interno realiza la secuencia correspondiente. Por otra parte, en el modo manual, el usuario tiene un control total sobre el movimiento rotacional y longitudinal de la máquina; es decir que, en este modo es posible hacer que el cabezal gire en sentido horario o antihorario y/o que el cilindro hidráulico avance o retroceda.

El manejo de la máquina se lo realiza mediante el panel frontal, donde es posible seleccionar el tipo de pieza a realizar o ingresar al modo manual, también se envía señales de inicio o paro del proceso. Además, se tienen dos indicadores luminosos que señalan el estado de la máquina.

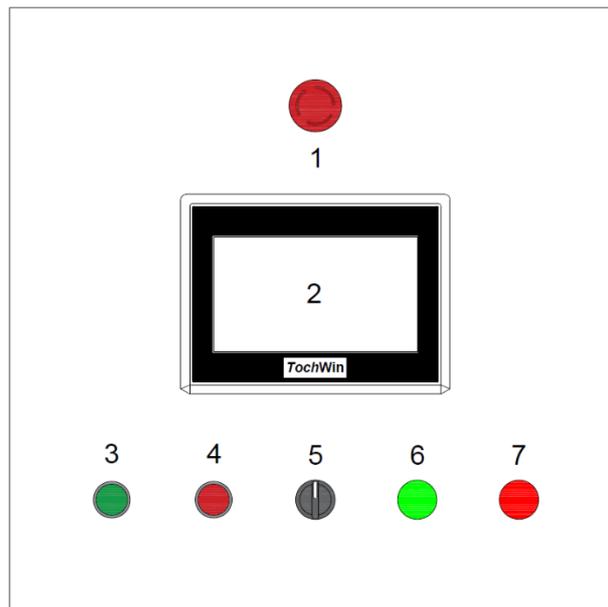


Figura 9. Panel frontal

El pulsador de emergencia (1), se encuentra ubicado en un lugar estratégico del panel frontal, para que pueda ser accionado de forma sencilla ante cualquier percance que se presente. El touchpanel HMI (2), es el principal elemento de comunicación con el operador, a través de él se accede a cualquier modo de funcionamiento, sirve para el monitoreo de la máquina y presenta ventanas de información y/o alarma al usuario. Los pulsadores de marcha (3) y paro (4) envían las señales de inicio o detención del proceso, de la misma forma el selector (5) permite elegir el giro del cabezal, por ejemplo. Los indicadores piloto verde (6) y rojo (7), son elementos para la visualización del estado de la máquina, es decir, si está en funcionamiento o no.



3.1. Ingreso al sistema

1. La primera pantalla que se despliega en el HMI al encender la máquina, es la de presentación, una vez que se actúa sobre el botón  aparece un teclado para el ingreso de la contraseña de acceso a los modos de funcionamiento.



Figura 10. Pantalla de presentación

2. Una vez que el acceso por contraseña sea satisfactorio, la siguiente ventana en desplegarse es la del menú principal, el operador puede seleccionar el tipo de pieza que desee realizar o ingresar al modo manual, de acuerdo a la elección se presenta la pantalla correspondiente al proceso que se desee realizar. Se tienen cuatro modos de funcionamiento, formado de volutas, de piñas y varilla torcida, estos tres automáticos, y el modo manual. Mediante el botón  se puede regresar a la pantalla de presentación.



Figura 11. Menú principal

3.2. Modo Automático

1. Al seleccionar cualquiera de las opciones automáticas, la máquina se ubica en la posición inicial para el cabezal y el cilindro; en el touchpanel se muestra una ventana de información sobre la matriz que se debe colocar para la elaboración de la pieza seleccionada. Una vez posicionada la máquina en su punto inicial, ésta entra en una etapa de espera hasta que el operador envíe una señal de inicio.



Figura 12. Ventana información voluta



Figura 13. Ventana información piña



Figura 14. Ventana información varilla

Al cerrarse cada una de las ventanas de información, aparece la pantalla correspondiente a cada proceso.

2. Las pantallas para el formado de piñas y volutas son similares. Se incluyen los botones  y , adicionales a los pulsadores físicos,  y  presentes en el panel frontal, para enviar las señales de inicio o paro del proceso.
3. El botón  se emplea para reiniciar el proceso una vez que ya haya terminado o haya sido detenido, y finalmente el botón  es posible regresar al menú principal. En el recuadro de la parte inferior izquierda aparece un mensaje indicando que la pieza está lista y se puede retirar de la máquina.
4. También se presenta un diagrama de la máquina con indicadores que señalan la parte activa, es así que:  indica giro en sentido horario del cabezal,  indica el giro en sentido antihorario del cabezal,  indica el avance del cilindro hidráulico y  indica el retroceso del cilindro hidráulico.

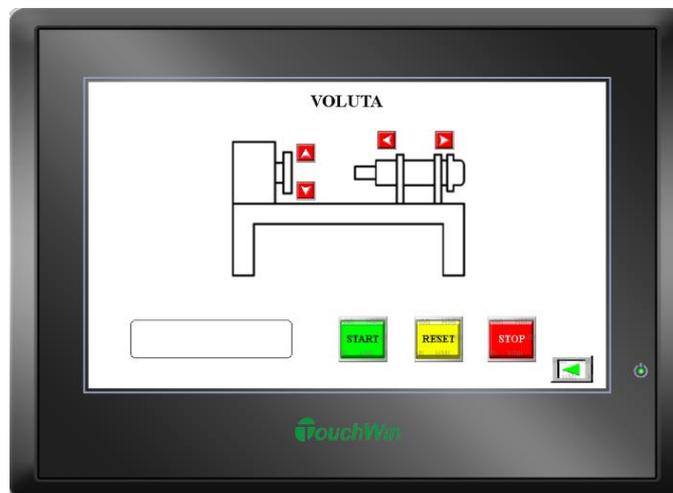


Figura 15. Pantalla de proceso de voluta

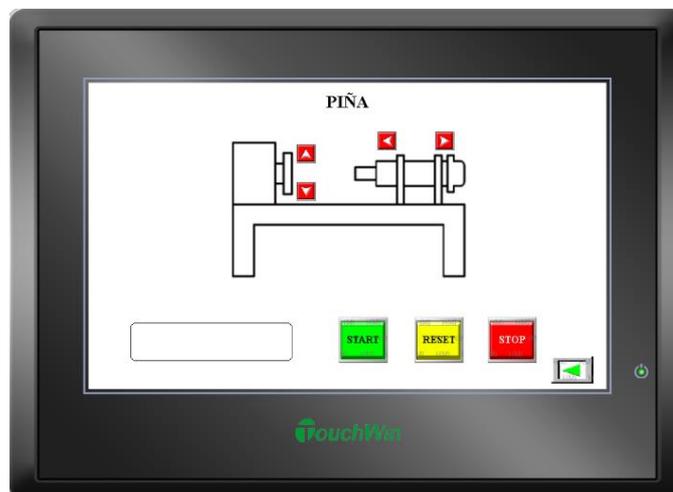


Figura 16. Pantalla de proceso de piña

5. Para el caso de la varilla torcida, la pantalla presenta los mismos botones e indicadores con las mismas funciones señaladas anteriormente, se añade el ingreso del número de revoluciones que se desea que realice el cabezal y el sentido al que debe girar, para la selección del giro se actúa sobre el selector en el panel frontal , hacia la izquierda sentido horario y hacia la derecha antihorario.

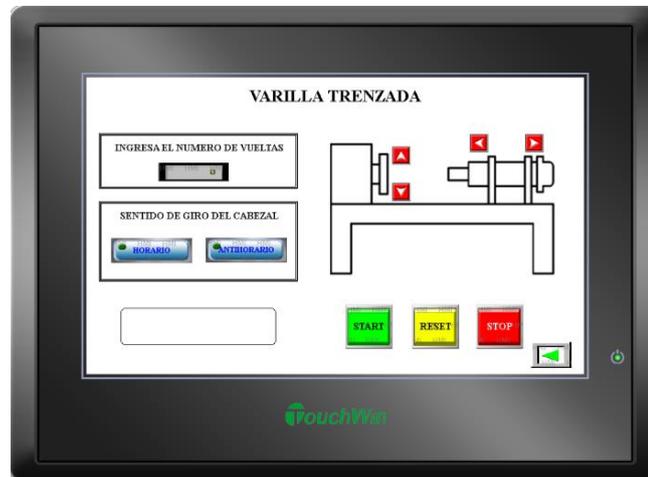


Figura 17. Pantalla de proceso de piña

3.3. Modo manual

1. Cuando el usuario seleccione el modo manual, se despliega una pantalla muy similar a las anteriores, sin la presencia del botón de reset, con los botones de  y , adicionales a los pulsadores físicos,  y  presentes en el panel frontal, para enviar las señales de inicio o paro del proceso y finalmente el botón  es posible regresar al menú principal.

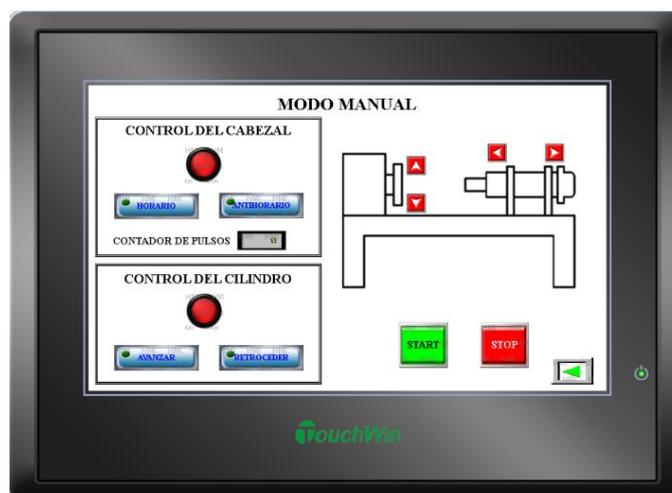


Figura 18. Pantalla de proceso manual



- De igual manera, como en el modo automático, se presenta un diagrama de la máquina con indicadores que señalan la parte activa, es así que: indica giro en sentido horario del cabezal, indica el giro en sentido antihorario del cabezal, indica el avance del cilindro hidráulico y indica el retroceso del cilindro hidráulico.
- Para el ejecutar las acciones, el operador debe seleccionar el elemento que desea controlar, cabezal, cilindro o ambas; además de ello, para el cabezal debe elegir el sentido de giro, y para el cilindro la dirección del recorrido, una vez hecho esto se puede dar la señal de inicio ya sea desde el touchpanel o desde el pulsador físico.
- Para este modo se incluyen dos ventanas de advertencia, para informar al operador operaciones con el cilindro que no se puede realizar, es decir, retroceder cuando se encuentra en su posición inicial, y avanzar cuando se encuentra en su posición final.

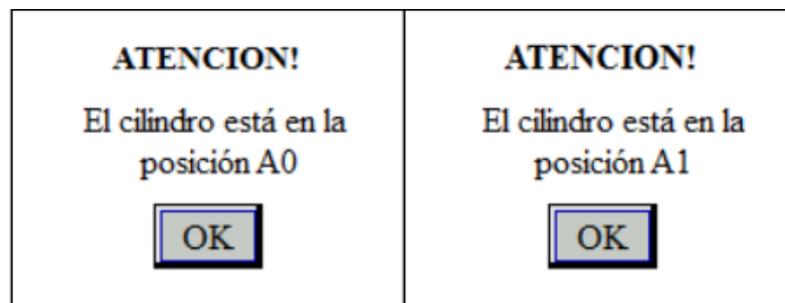


Figura 19. Ventanas de advertencia

4. INSTRUCCIONES PARA EL MANEJO

4.1. Sobre el equipo de protección personal (EPP)

Durante el manejo de la máquina, el operador debe ocupar guantes, gafas y calzado adecuado, para asegurar su integridad.



Figura 20. EPP obligatorio para el manejo de la máquina



4.2. Sobre accesorios y materiales

Emplear la matriz correspondiente a la pieza que se desee realizar y de acuerdo a la medida del material que se vaya a emplear. Es muy importante colocar las matrices luego de que la máquina se haya ubicado en la posición inicial. Otro aspecto a considerar es el uso de las herramientas adecuadas como llaves de tuerca, llaves Allen, para el ajuste de las matrices en la máquina.

4.3. Sobre el modo manual

Al manejar la máquina en el modo manual, el usuario tiene un control total del cabezal y el cilindro hidráulico. El usuario debe controlar la máquina de forma responsable, es decir, no forzar los componentes de la máquina, ni tampoco llevar al quiebre al material.

4.4. Sobre la calibración de los sensores

Para obtener resultados más exactos en el giro del cabezal, el sensor inductivo localizado en su eje, se debe encontrar activado cuando el cabezal esté ubicado en su posición inicial, es decir, antes de enviar la señal de inicio de proceso, el sensor debe detectar un diente de la rueda dentada. Respecto a los sensores de posición del cilindro hidráulico, el operador debe ubicarlos de acuerdo a la distancia de la carrera que se desea que desarrolle el mismo.

5. MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA

El mantenimiento es un aspecto muy importante para no reducir la vida útil de los componentes de la máquina, en la siguiente tabla se presentan el número de horas recomendadas para el reemplazo de los componentes de los sistemas.

Tabla 3. Reemplazo de componentes de la máquina

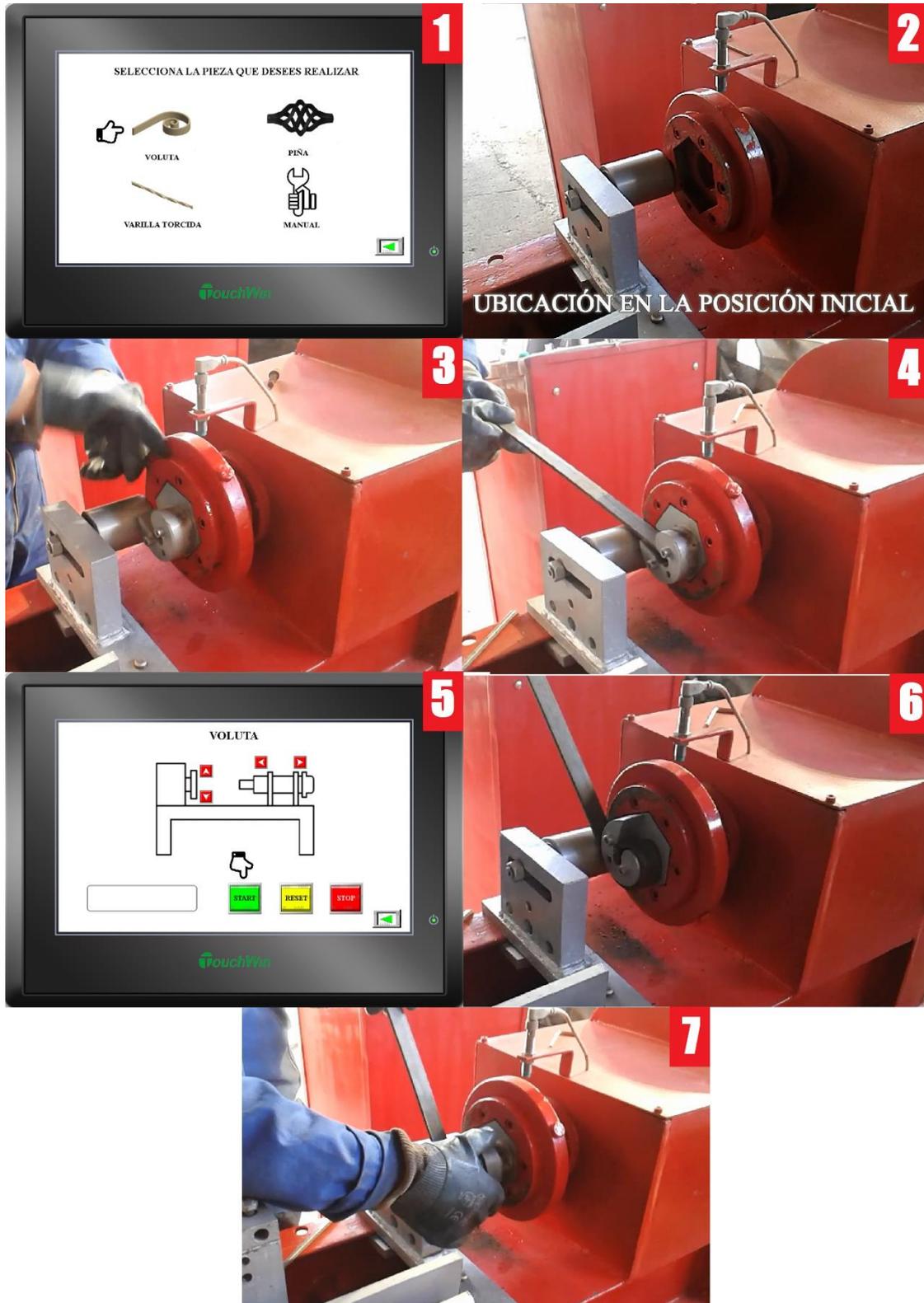
SISTEMA HIDRÁULICO		SISTEMA MECÁNICO	
COMPONENTE	HORAS	COMPONENTE	HORAS
Aceite	5000	Correas	8000
Filtro de Aceite	5000	Cadena	4000

Respecto a los componentes del sistema eléctrico, finales de carrera, pulsadores, selector, relés y contactores se recomienda realizar periódicamente una limpieza de los contactos, y revisar su funcionamiento al menos una vez al año.



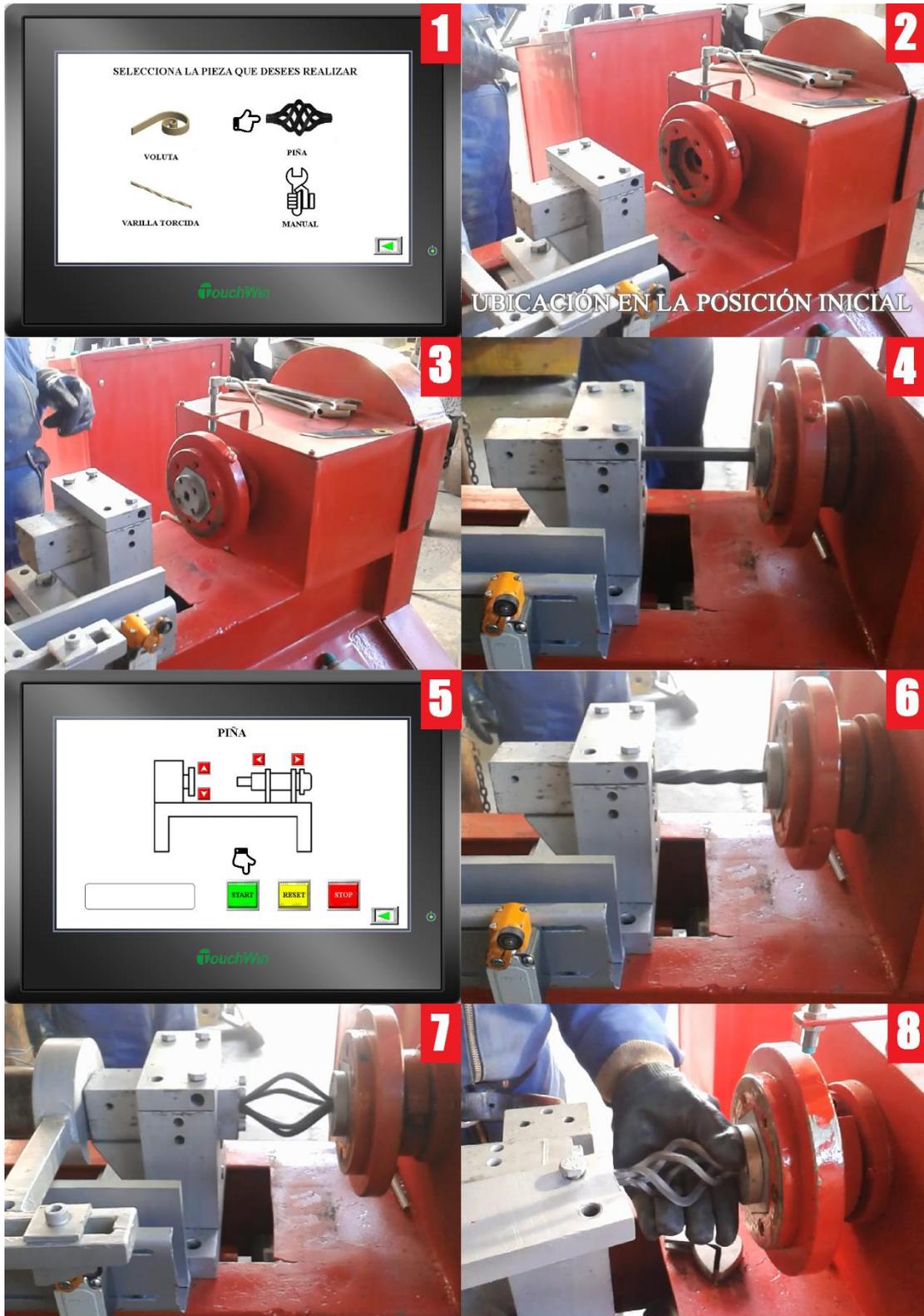
6. ELABORACIÓN DE PIEZAS PASO A PASO

6.1. Formado de volutas





6.2. Formado de piñas





6.3. Torsión de varilla

1 SELECCIONA LA PIEZA QUE DESEES REALIZAR

VOLUTA PISA
VARILLA TORCIDA MANUAL

2 UBICACIÓN EN LA POSICIÓN INICIAL

3 MONTAJE DE MATRIZ Y MATERIAL

4

5 VARILLA TORCIDA

INGRESA EL NUMERO DE VUELTAS

SENTIDO DE GIRO DE [Diagram]

INGRESA EL NUMERO DE VUELTAS

SENTIDO DE GIRO DEL CAREZAL [Diagram]

6

7

8

ANEXO TÉCNICO

ANEXO I. Especificaciones Técnicas de los Componentes del Tablero de Control

Tabla 1. Especificaciones técnicas de los sensores inductivos

Característica \ Marca	AUTONICS	PEPPERL+FUCHS
Tipo	PNP	PNP
Modelo	PR12-4DP	NBN4-12GM50-E2-V1
Distancia nominal	4 mm	4 mm
Histéresis	10%	5%
Distancia de detección	0 – 2,8 mm	0 – 3,24 mm
Voltaje de alimentación	10 – 30 V	10 – 30 V
Consumo de corriente máx.	10 mA	17 mA
Frecuencia de conmutación	500 Hz	1200 Hz
Salida de control	200 mA	200 mA
Temperatura ambiente	-25 – +70°C	-25 – +70°C
Circuito de protección	Contra picos de voltaje Polarización inversa Sobrecorriente Cortocircuito	Polarización inversa Cortocircuito
Grado de protección ambiental	IP67	IP67

Tabla 2. Especificaciones técnicas de los finales de carrera

Característica \ Marca	SIEMENS	PIZZATO
Modelo	3SE3 120-1G	FC SERIES
Voltaje de aislamiento	500 VAC; 600 VDC	500 VAC; 600 VDC
Corriente térmica	10 A	10 A
Corriente de trabajo	10 A (24 VDC)	6 A (24 VDC)
Resistencia mecánica y eléctrica	30M de conmutaciones	20M de conmutaciones
Frecuencia de conmutación	6k conmutaciones/hora	3,6k conmutaciones/hora
Temperatura ambiente	-40 – +85°C	-25 – +85°C
Grado de protección ambiental	IP67	IP67

Tabla 3. Especificaciones técnicas del PLC

ESPECIFICACIONES GENERALES	
Modelo	XC3-24RT-E
Puertos de comunicación	COM1: RS-232, conexión con HMI, PC. COM2: RS-232/485, conexión con sensores, red, inverter, etc
Capacidad del programa	8000 pasos
Componentes internos	Bobinas auxiliares (M) 8512 Temporizadores (T) 620, Contadores (C) 365 Registros de datos (D) 8512
Temperatura de operación	0 – 60°C
Voltaje de alimentación	100 – 240 VAC 50/60 Hz
Máxima potencia consumida	12 W
Fuente integrada para conexión de sensores	24 VDC±10% máx. 400mA
ESPECIFICACIONES DE ENTRADAS	
Entradas	14
Voltaje de la señal de entrada	24 VDC±10%
Corriente de la señal de entrada	7 mA (24 VDC)
Conexión al común	0 V
Corriente para nivel alto	Mayor a 4,5 mA
Corriente para nivel bajo	Menor a 1,5 mA
Tiempo de respuesta de entrada	Aprox. 10 ms
ESPECIFICACIONES DE SALIDAS	
Salidas	8 de relé, 2 de transistor, 10 total
Carga máxima (salidas de relé)	3 A (carga resistiva) 80 VA (carga inductiva) 100 W (lámpara)
Carga máxima (salidas de transistor)	0,8 A (carga resistiva) 12 W/24 VDC (carga inductiva) 1,5 W/24 VDC (lámpara)
Tiempo de respuesta (salida de relé)	10 ms
Tiempo de respuesta (salida de transistor)	Menor a 0,2 ms

Tabla 4. Especificaciones técnicas del HMI

Modelo	TH-765-NU
Puertos de comunicación	COM1: RS-232/485 COM2: RS-232/422/485 USB-A: exportar e importar datos a memoria externa USB-B: descargar programa desde la PC
Pantalla	LCD: 7 pulgadas Display: 65536 colores Resolución: 800*448 pixeles
Voltaje de alimentación	20-28 VDC
Consumo de corriente/ potencia	250 mA/ 7 W máx.
Temperatura de operación	0 – 50°C
Grado de protección ambiental	IP65

Tabla 5. Especificaciones técnicas de los relés

Marca	Camsco
Bobina	24 VDC
Consumo	Aprox. 1,5 W
Contactos	250 VAC/7 A $\cos\phi=0,4$

Tabla 6. Especificaciones técnicas de la fuente DC

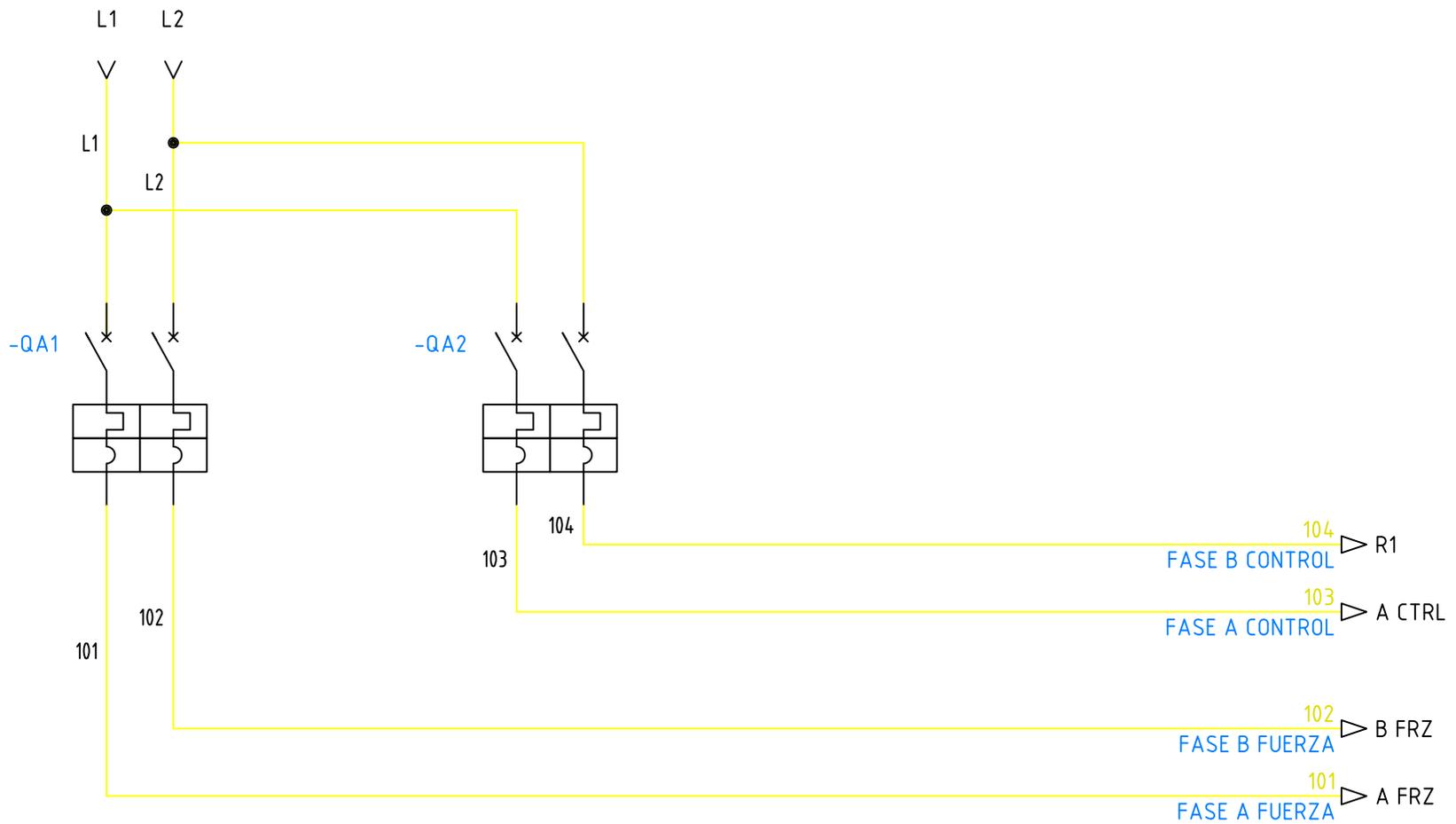
Marca	EBCHQ
Potencia	60W
Entrada	110/220 VAC 1,6/0,8 A
Salida	24 VDC – 2,5 A

ANEXO II. Planos Eléctricos

Guías para la interpretación de los esquemas:

- Las etiquetas de identificación de los conductores del tablero de control, tienen el formato **XYX**, X representa el número de plano donde se encuentra el conductor, YX representa el número del conductor. De esta forma es posible conocer la función de cada conductor.
- La ubicación de cada componente en el tablero de control y panel frontal, se presentan en los planos 7 y 8, respectivamente; donde se incluye la etiqueta de identificación empleada en los diagramas eléctricos.
- El significado de las etiquetas de identificación se presenta a continuación:

ETIQUETA	COMPONENTE
-BGX	Sensor Inductivo
-EAX	Indicador Piloto
-GBX	Fuente DC
-HMIX	Interfaz Hombre-Máquina
-KAX	Relé
-KFX	Relé Térmico
-KMX	Contactador
-PLCX	Controlador Lógico Programable
-QAX	Interruptor Termomagnético
-QMX	Electroválvula
-SFX	Pulsador/Interruptor



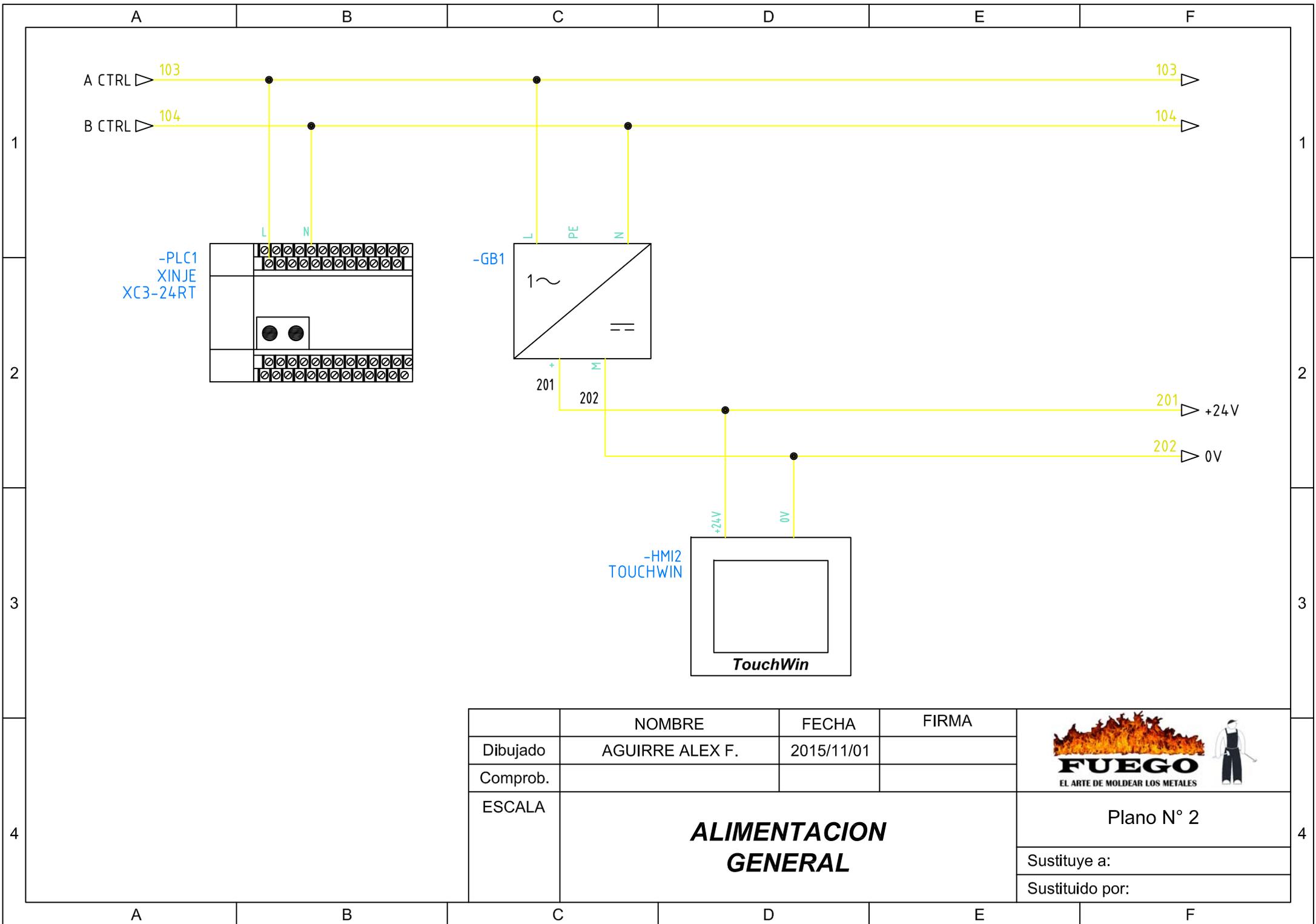
	NOMBRE	FECHA	FIRMA
Dibujado	AGUIRRE ALEX F.	2015/11/01	
Comprob.			
ESCALA	PROTECCIONES GENERALES		



Plano N° 1

Sustituye a:

Sustituido por:



	NOMBRE	FECHA	FIRMA
Dibujado	AGUIRRE ALEX F.	2015/11/01	
Comprob.			
ESCALA	ALIMENTACION GENERAL		

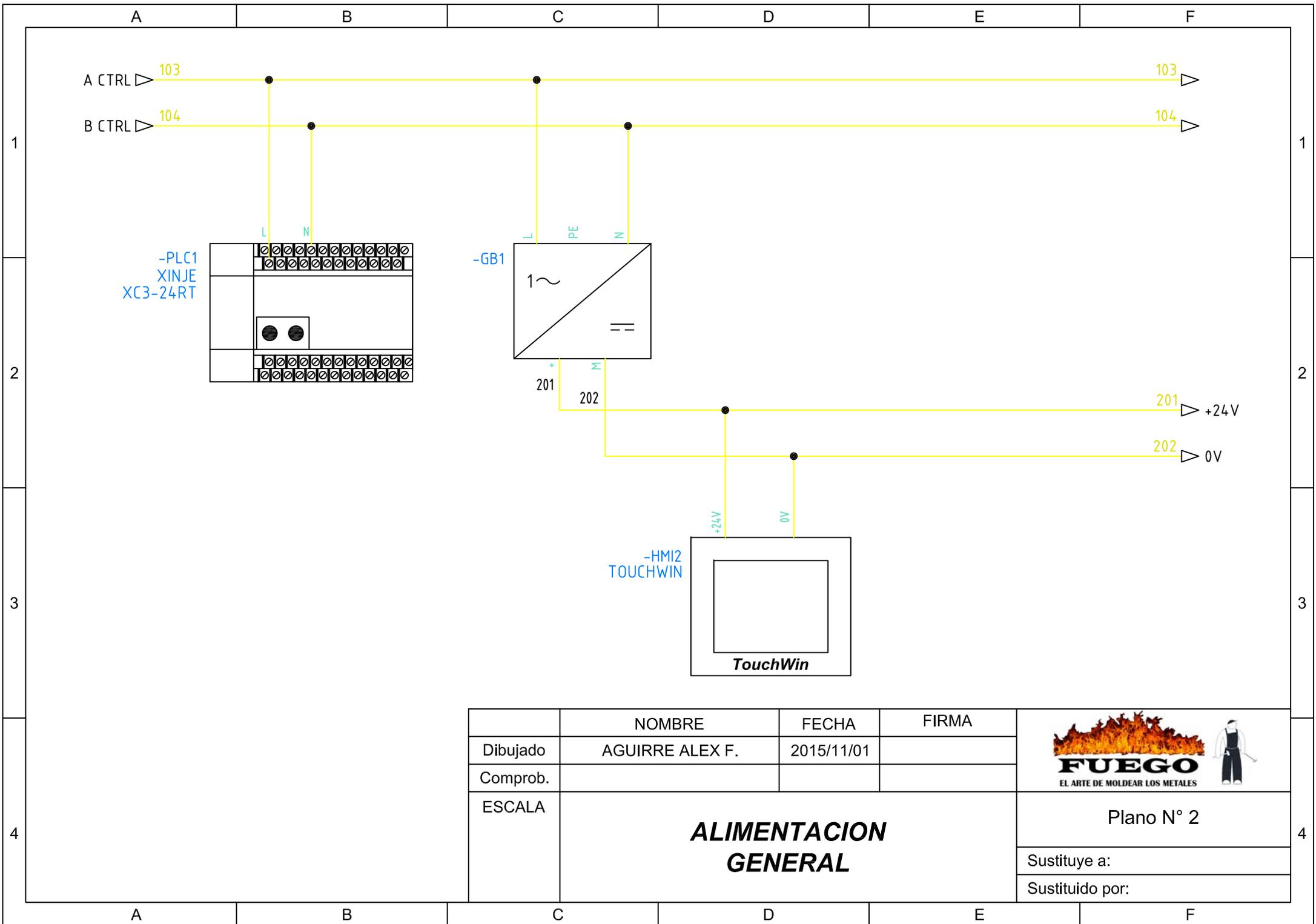


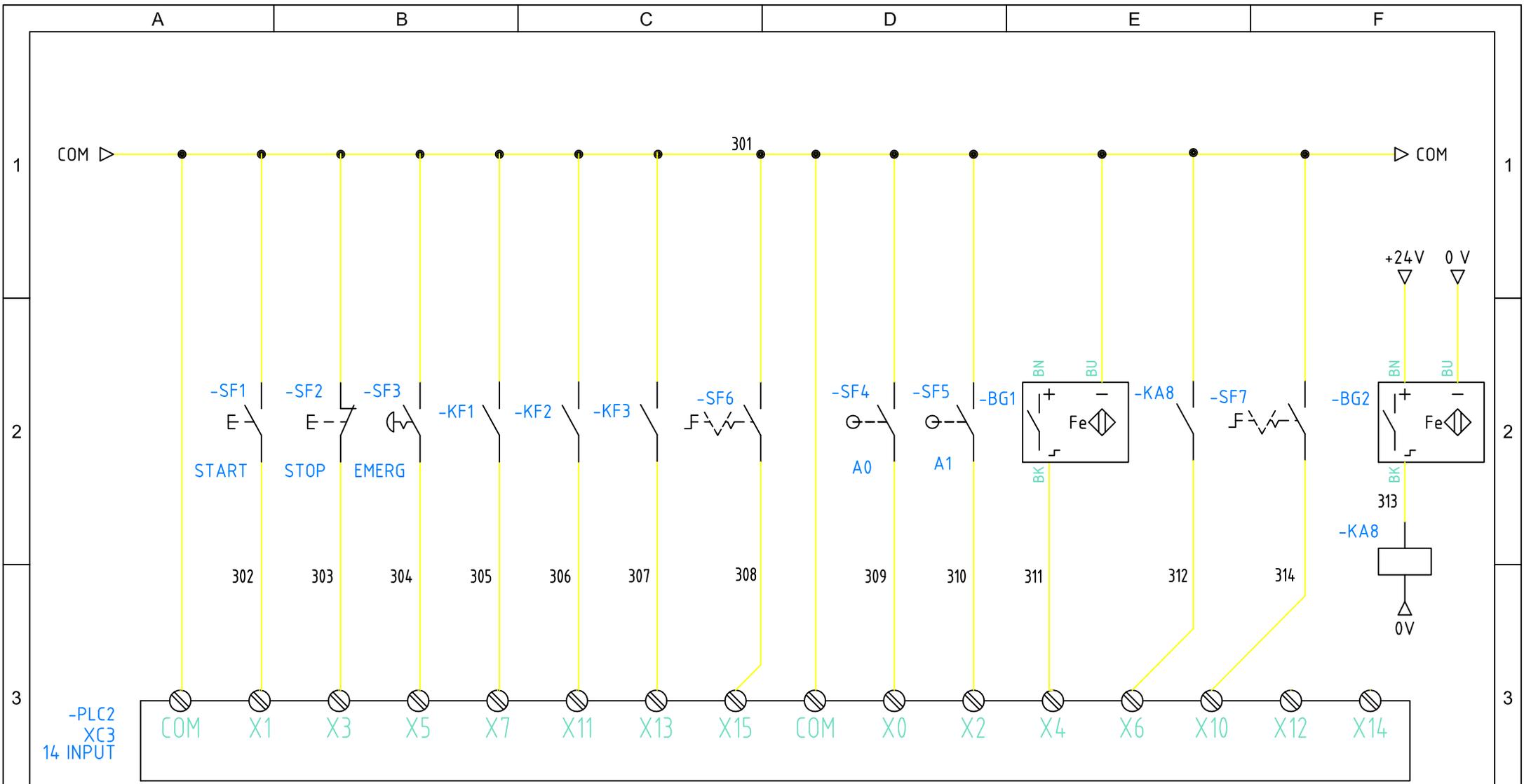
FUEGO
EL ARTE DE MOLDEAR LOS METALES

Plano N° 2

Sustituye a:

Sustituido por:





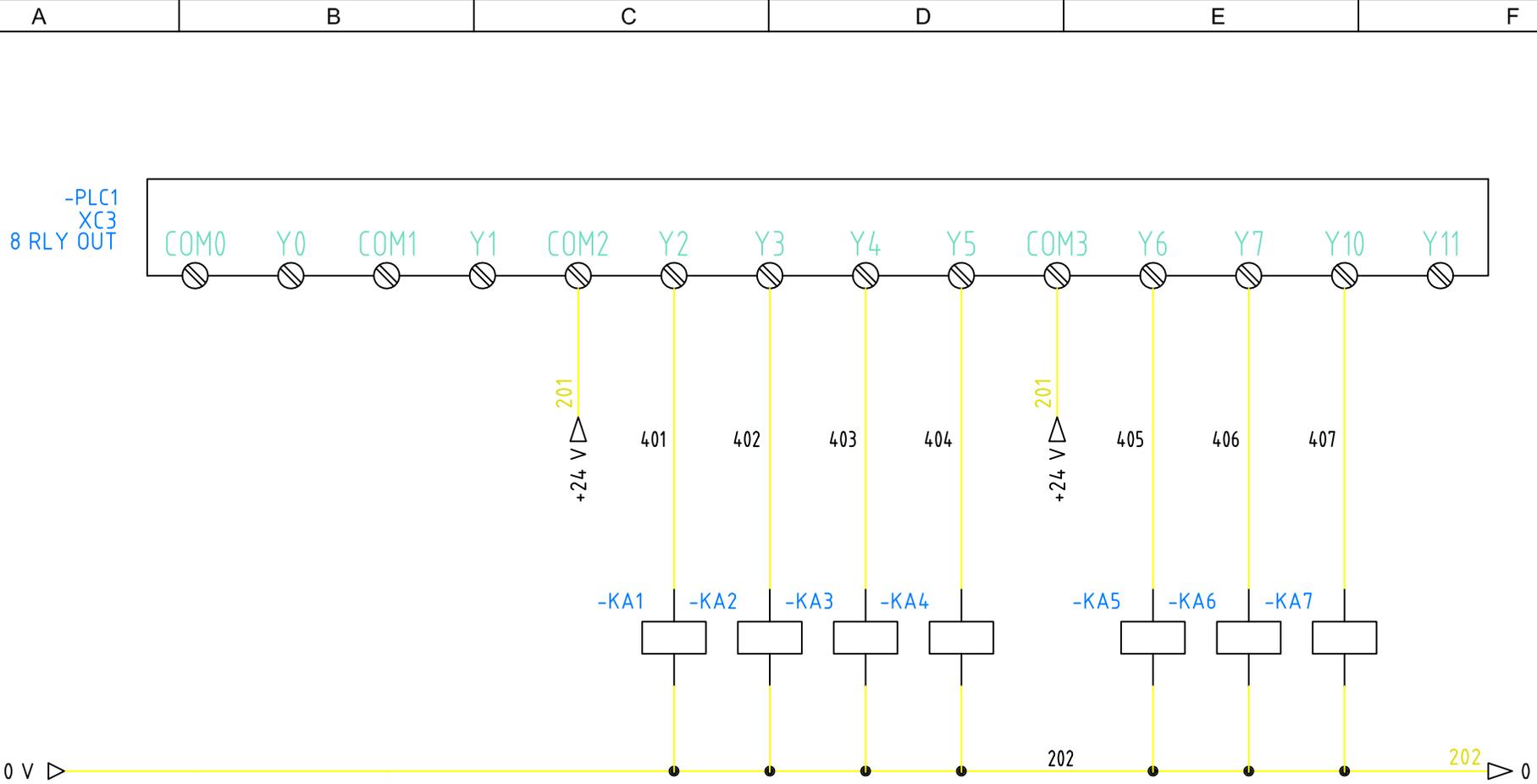
	NOMBRE	FECHA	FIRMA
Dibujado	AGUIRRE ALEX F.	2015/11/01	
Comprob.			
ESCALA	ENTRADAS DIGITALES PLC		

FUEGO
EL ARTE DE MOLDEAR LOS METALES

Plano N° 3

Sustituye a:

Sustituido por:



	NOMBRE	FECHA	FIRMA
Dibujado	AGUIRRE ALEX F.	2015/11/01	
Comprob.			
ESCALA	SALIDAS DIGITALES PLC		

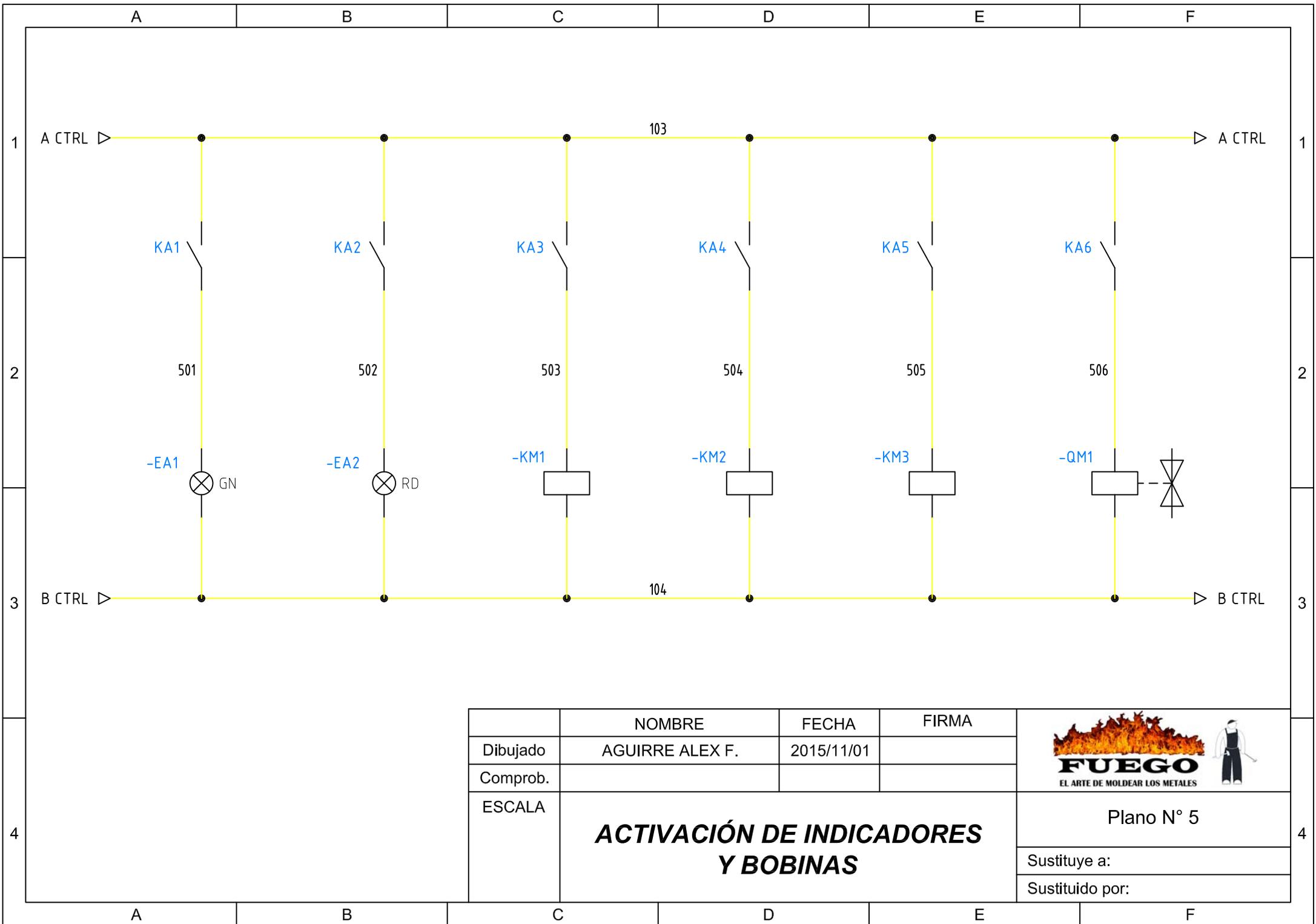


FUEGO
EL ARTE DE MOLDEAR LOS METALES

Plano N° 4

Sustituye a:

Sustituido por:



	NOMBRE	FECHA	FIRMA
Dibujado	AGUIRRE ALEX F.	2015/11/01	
Comprob.			
ESCALA	ACTIVACIÓN DE INDICADORES Y BOBINAS		

FUEGO
EL ARTE DE MOLDEAR LOS METALES

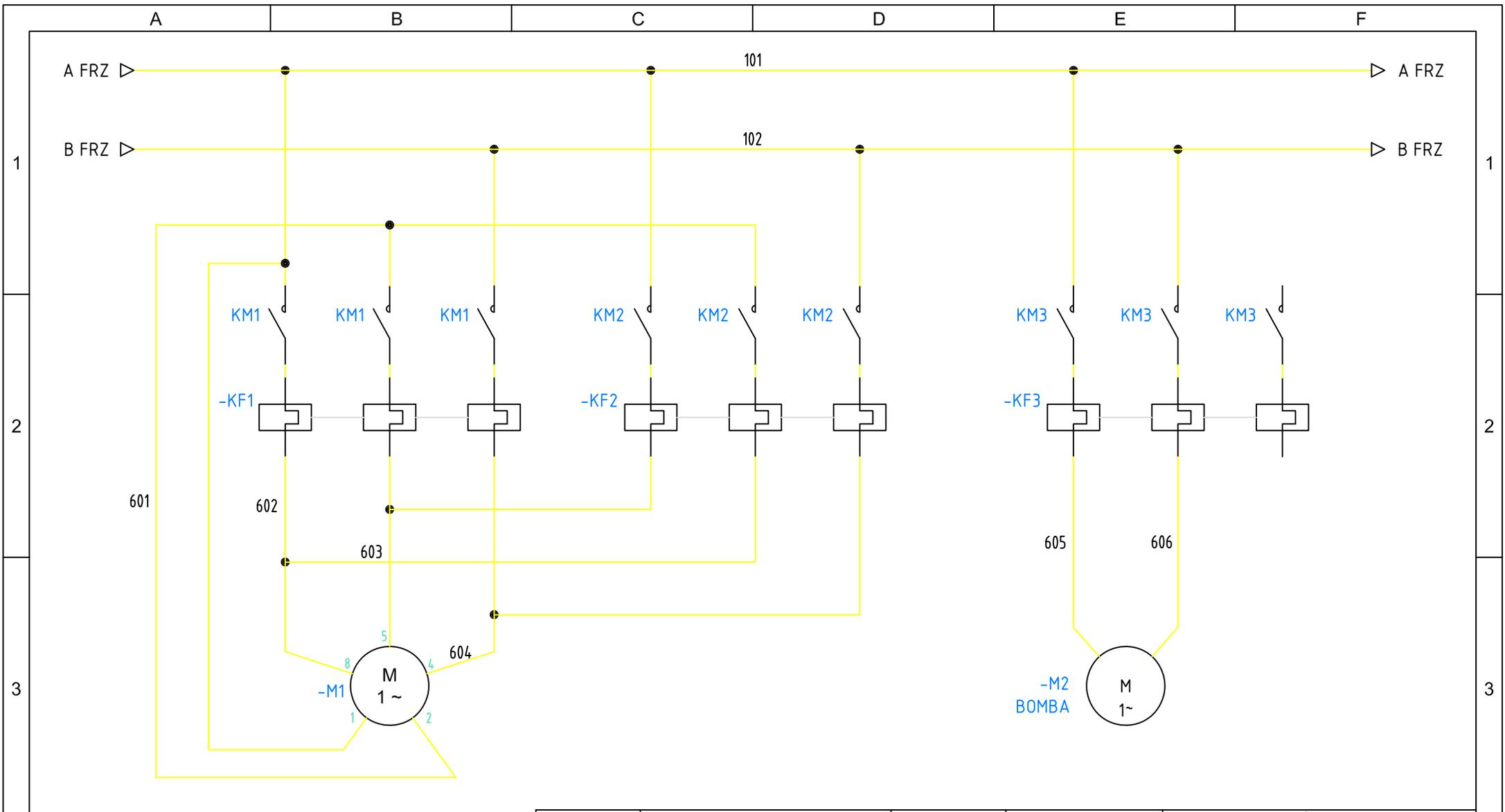
Plano N° 5

Sustituye a:

Sustituido por:

4

4



	NOMBRE	FECHA	FIRMA
Dibujado	AGUIRRE ALEX F.	2015/11/01	
Comprob.			
ESCALA	CONEXIONES DE FUERZA		

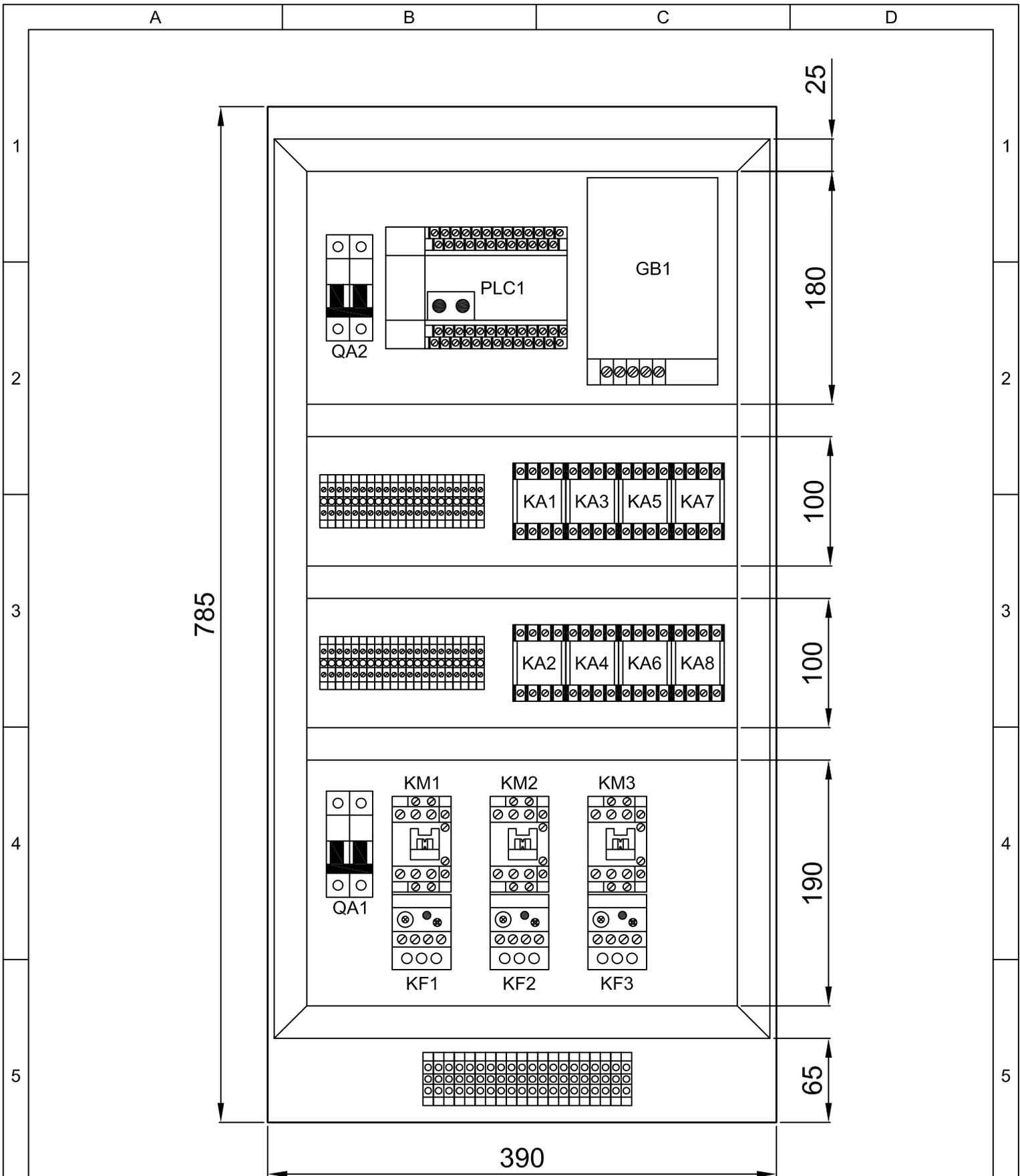


FUEGO
EL ARTE DE MOLDEAR LOS METALES

Plano N° 6

Sustituye a:

Sustituido por:



	NOMBRE	FECHA	FIRMA
Dibujado	AGUIRRE ALEX F.	2015/11/01	
Comprob.			
ESCALA	DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL		



Plano N° 7

Sustituye a:

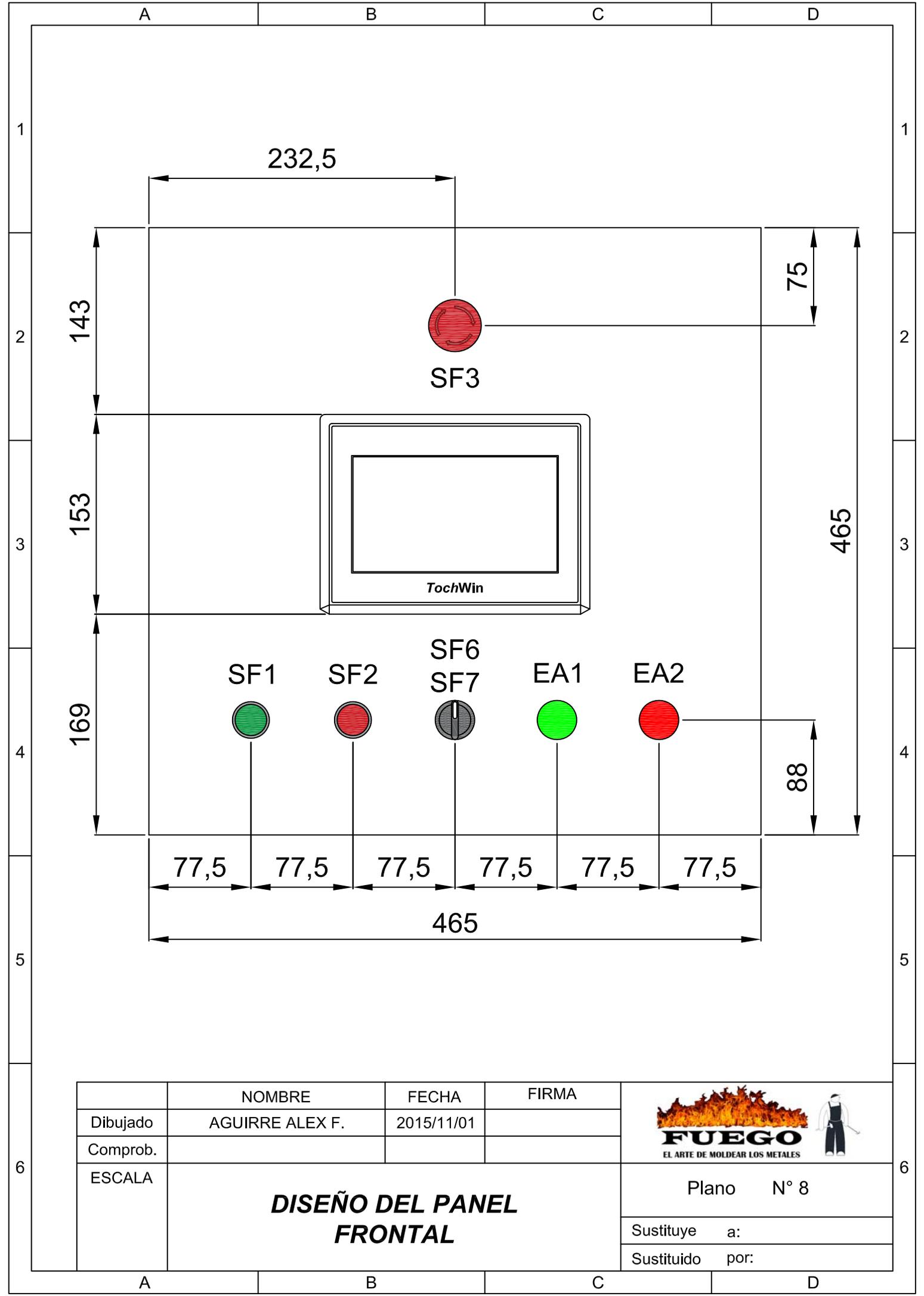
Sustituido por:

A

B

C

D



	NOMBRE	FECHA	FIRMA
Dibujado	AGUIRRE ALEX F.	2015/11/01	
Comprob.			
ESCALA	DISEÑO DEL PANEL FRONTAL		

FUEGO
EL ARTE DE MOLDEAR LOS METALES

Plano N° 8

Sustituye a:

Sustituido por: