

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

Escuela de Ingeniería Electrónica

Proyecto de graduación para optar por el grado académico de Bachiller en Ingeniería Electrónica

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL AUTOMÁTICO DE LA TROQUELADORA DE LA PERFILADORA 5, EN SUSTITUCIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL DAÑADA DEL EQUIPO PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLER EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Estudiante:

Manrique Aguilar López

Tutor:

Guillermo Zúñiga Meléndez

Febrero de 2017

## CARTA DEL TUTOR

San José, 21 de abril del 2017

Señores  
Departamento de Registro  
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Manrique Aguilar López, cédula de identidad número 603130495, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "Diseño e implementación de control automático de la troqueladora de la perfiladora 5, en sustitución de la tarjeta de control dañada del equipo para optar por el grado de bachiller en ingeniería electrónica", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

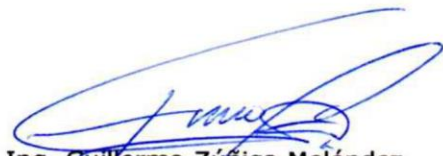
De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

**Tabla 1** Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10 %	8%
b	Cumplimiento de entrega de avances de avances.	20 %	16%
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30 %	28 %
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20 %	18 %
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20 %	20 %
Total:		100 %	90 %

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

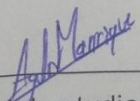


Ing. Guillermo Zúñiga Meléndez  
Cédula de identidad: 110210043  
Carné colegio profesional: IET-16885

## DECLARACIÓN JURADA

Yo Manrique Aguilar López, mayor de edad, portador de la cédula identidad número 603130495 egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de trabajo de tesis para optar por el título de Bachiller en Ingeniería Electrónica juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: Diseño e implementación de control automático de la troqueladora de la perfiladora<sup>5</sup>, en sustitución de la tarjeta de control dañada del equipo para optar por el grado de bachiller en ingeniería electrónica, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los veintiún días del mes de abril del año dos mil diecisiete.

  
Firma del estudiante

6 0313 0495  
Cédula

## CARTA DEL LECTOR

San José, 22 de Mayo de 2017.

**Ing. José Luis Medrano**

**Carrera Ingeniería Electrónica.**

**Universidad Hispanoamericana**

Estimado señor:

El estudiante **Manrique Aguilar López**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL AUTOMÁTICO DE LA TROQUELADORA DE LA PERFILADORA 5, EN SUSTITUCIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL DAÑADA DEL EQUIPO PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLER EN INGENIERÍA**, el cual ha elaborado para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería Electrónica.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente, lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y el análisis de datos; la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre estos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública. Atentamente,



---

Ing. Daniel Rodríguez

# Carta del Filólogo

Puntarenas, 26 de julio de 2017

Señores:  
Escuela de Ingeniería Electrónica  
Universidad Hispanoamericana  
S.O

Por este medio hago constar que he revisado y corregido la sintaxis, la morfología y la semántica del texto denominado: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL AUTOMÁTICO DE LA TROQUELADORA DE LA PERFILADORA 5, EN SUSTITUCIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL DAÑADA DEL EQUIPO PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLER EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA", propiedad de MANRIQUE AGUILAR LÓPEZ, CÉDULA DE IDENTIDAD 603130495, el cual se ha presentado como requisito para optar por el título de Bachiller en Ingeniería Electrónica.

Cordialmente,



Lcda. Magdalena Venegas Porras  
Filóloga  
Carné 10785.  
Cédula 6-230-116

## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis a mi esposa, por su apoyo incondicional; a mis hijos, por su paciencia y amor. Ellos son el pilar de mi vida y mi motivo de superación.

## **Agradecimiento**

Agradezco primeramente a Dios, por la oportunidad de llegar a este momento tan especial en mi vida; a mi familia por haber creído en mí; y a todas esas personas que de una u otra forma aportaron un granito de arena para brindarme su mano.

Un agradecimiento muy especial a mi tutor de tesis, por todo el tiempo dedicado, por su confianza y apoyo; también a los profesores que de algún modo me condujeron hasta esta meta.

## Abreviaturas

API: Autómata Programable Industrial

ASCII: American Standard Code for Information Interchange

Código Estándar Estadounidense para el Intercambio de Información

CPU: La unidad central de procesamiento o unidad de procesamiento central

GPIO: General Purpose Input/Output, Entrada/Salida de Propósito General

HMI: Interfaz Hombre Máquina (Human Machine Interface).

IEC: La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI)

IP: Protocolo de internet

PDU: Unidades de datos de protocolo (Protocol Data Units)

PID: Proporcional integral y derivativa

PLC: Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller).

POP-UP: Ventana de emergencia

PWM: Modulación de ancho de pulso

RTU: Unidad Terminal Remota

SGC: Sistema de Gestión de Calidad

TCP: Transmission Control Protocol (TCP) o Protocolo de Control de Transmisión

TIR: Tasa interna de retorno o rentabilidad

UDP: User Datagram Protocol (UDP) es un protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas

USB: La memoria USB (Universal Serial Bus) denominado también lápiz de memoria,

VAN: Valor actual neto

## Resumen

El presente documento constituye el desarrollo del proyecto: “Diseño e implementación de control automático de la troqueladora de la perfiladora5, en sustitución de la tarjeta de control dañada del equipo para optar por el grado de bachiller en ingeniería electrónica”; se logró realizar mediante el desarrollo y puesta en marcha de un panel de control completo, utilizando dispositivos modernos. El sistema controla la posición angular del cigüeñal mediante cinco sensores llamados levas, con lo cual permite o no detiene el avance del material aportado a la máquina; además, cuenta con una serie de sensores de puertas de seguridad y actuadores y una pantalla táctil en la cual se podrán visualizar los distintos mensajes de fallo, error y otros datos importantes de la del troquel, con lo cual se reduce el tiempo de diagnóstico de fallos, pues en la pantalla se muestran las respectivas averías. También se implementa un sistema de monitoreo remoto, mediante la utilización de una pantalla táctil ubicada en el taller de mantenimiento. Dicha pantalla se utiliza originalmente para monitorear otros equipos; incorpora el sistema del troquel y en ella se podrá apreciar, mediante mensajes de estado, el funcionamiento. La comunicación se realiza mediante un Arduino Uno, al cual se incorpora un módulo Ethernet, que se comunica mediante el protocolo Modbus TCP/IP; aunque el sistema permite enviar gran cantidad de información, en este caso únicamente se transmite un registro de 16 bits, donde se contiene toda la información necesaria para el proyecto.

Se obtiene como resultado una reducción significativa de tiempos de fallo y mayor control de algunas variables de funcionamiento del troquel.

# Contenido

Contenido .....	x
Índice de Tablas .....	xvii
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción al tema del proyecto .....	1
1.2 Antecedentes del contexto de la empresa .....	2
1.2.1 Misión, visión, política de calidad y política ambiental .....	3
1.2.2 Proceso de producción .....	6
1.2.3 Ubicación geográfica .....	7
1.3 Justificación del proyecto .....	9
1.4 Definición del problema.....	12
1.5 Objetivo general y los específicos.....	12
1.5.1 Objetivo General.....	12
1.5.2 Objetivos Específicos.....	13
1.6 Alcance y limitaciones.....	13
1.6.1. Alcances .....	13
1.6.2 Limitaciones.....	14
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
2.1. Marco conceptual general.....	15
2.1.1. Sistema de control automático.....	15
2.1.2. Autómata Programable Industrial (API): .....	16
2.1.3. HMI .....	25
2.1.4. Perfiladora .....	26
2.1.5. S.A.P.....	27
2.1.6. Troquel.....	28

2.1.7 Cigüeñal.....	28
2.1.8 Arduino Uno.....	29
2.1.9 Puertos Arduino .....	35
2.1.10 Pantalla TS8006 .....	39
2.1.11 Ethernet .....	44
2.1.12 Modbus .....	44
2.1.13 Arduino IDE .....	67
2.1.14 Eplan Electric.....	68
2.1.15 Cx Programmer.....	68
2.1.16 Software NTXS .....	69
2.2. Marco de la gestión del proyecto .....	70
2.2.1. Planeación del proyecto.....	70
2.2.2. Desarrollo .....	71
2.2.3. Implementación.....	71
2.2.4. Control .....	72
2.2.5. Evaluación .....	73
2.3. Marco conceptual referente al impacto del proyecto.....	73
2.4. Antecedentes experiencias semejantes.....	74
CAPITULO III. Marco Metodológico .....	75
3.1. Tipo de investigación .....	75
3.1.1 Finalidad. ....	75
3.1.2 Dimensión temporal. ....	75
3.1.3 Marco.....	75
3.1.4 Naturaleza .....	76
3.1.5 Carácter .....	76
3.2 DISEÑO METODOLÓGICO.....	76

3.2.1 Metodología para la propuesta de mejora, construcción o puesta en práctica de un nuevo proceso, producto o servicio. ....	76
3.2.2 Metodología para la implementación del proyecto. ....	77
3.2.3 Metodología de control .....	79
CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO .....	84
4.1. Determinar la situación actual .....	84
4.2. Recolección de datos, características .....	85
4.3. Desarrollo de prototipo .....	85
CAPÍTULO V: DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO.....	87
5.1 Selección de la propuesta .....	87
5.2 Análisis de funcionamiento actual del sistema .....	88
5.3 Mapeo de variables eléctricas de entrada y salida.....	88
5.3.1 Descripción general de las variables de control. ....	90
5.3.2 Diagrama de flujo de operación del troquel. ....	91
5.4. Nuevo diseño del sistema de control automático de la troqueladora .....	92
5.4.1 Esquema Eléctrico.....	92
5.4.2 Programa de PLC .....	107
5.4.3 Sistema de fallos HMI local.....	115
5.4.4 Sistema HMI remoto .....	118
5.4.5 Sistema Arduino, monitoreo remoto .....	126
5.5. Costos de la implementación del sistema en la producción .....	128
5.6 Flujo de inversión .....	130
5.7 Algoritmo de control .....	133
5.8 Descripción de actividades.....	133
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	135
6.1 Conclusiones.....	135

6.2	Recomendaciones.....	136
6.3	Bibliografía .....	137

## Índice de ilustraciones

Figura 1. Mapa de ubicación plantas de proceso. ....	8
Figura 2. Mapa de ubicación bodegas, ventas y distribución. ....	8
Figura 3. Estructura de sistema automatizado. ....	15
Figura 4. Esquema de la arquitectura de un PLC. ....	18
Figura 5. Entrada digital con opto acoplador. ....	20
Figura 6. Entrada digital con opto acoplador. ....	21
Figura 7. Salida digital por relé. ....	22
Figura 8. Salida digital estado sólido, NPN. ....	22
Figura 9. Salida digital estado sólido, PNP. ....	22
Figura 10. Salida digital estado sólido, con Triac. ....	23
Figura 11. Salida digital de relé. ....	23
Figura 12. Salida digital opto acoplada. ....	23
Figura 13. Salida digital opto acoplado PNP. ....	24
Figura 14. Pantalla Táctil HMI. ....	26
Figura 15. Perfiladora 5, Tren de formado. ....	26
Figura 16. Logo SAP. ....	27
Figura 17. Troquel Perfiladora 5. ....	28
Figura 18. Troquel con Cigüeñal. ....	29
Figura 19. Una relación maestro esclavo. ....	45
Figura 20. Intercambio de Orden de Bytes para Datos de Múltiples Palabras. ....	52
Figura 21. Reversión de Orden de Bytes en secuencias de Modbus. ....	53
Figura 22. La PDU de Modbus. ....	53
Figura 23. Leer Diagrama de Estado de Bobinas. ....	55
Figura 24. La ADU de TCP/IP. ....	61
Figura 25. La ADU de RTU. ....	62
Figura 26. La ADU de ASCII. ....	64
Figura 27. Modificación de ejemplo de la ADU de TCP. ....	67
Figura 28. Panel de control antiguo Troquel Perfiladora. ....	70
Figura 29. PLC Omron. ....	71

Figura 30. Panel nuevo. ....	72
Figura 31. Diagrama de control. ....	91
Figura 32. Distribución 460Vac. ....	92
Figura 33. Distribución 120Vac. ....	93
Figura 34. Distribución 24Vdc. ....	94
Figura 35. Variador del Volante. ....	95
Figura 36. Visualización de velocidad del Volante. ....	96
Figura 37. PLC del Troquel. ....	97
Figura 38. Entradas Digitales E0.00-E0.07. ....	98
Figura 39. Entradas Digitales E0.08-E0.15. ....	99
Figura 40. Entradas Digitales E1.00-E1.07. ....	100
Figura 41. Entradas Digitales E1.08-E1.15. ....	101
Figura 42. Salidas Digitales A2.00-E2.07. ....	102
Figura 43. Salidas Digitales A2.08-E2.15. ....	103
Figura 44. Electroválvulas y luces. ....	104
Figura 45. Detector de Chapa. ....	105
Figura 46. Diagrama Arduino Uno. ....	106
Figura 47. Programa PLC, Hoja 1. ....	107
Figura 48. Programa PLC, Hoja 2. ....	108
Figura 49. Programa PLC, Hoja 3. ....	108
Figura 50. Programa PLC, Hoja 4. ....	109
Figura 51. Programa PLC, Hoja 5. ....	109
Figura 52. Programa PLC, Hoja 6. ....	110
Figura 53. Programa PLC, Hoja 7. ....	110
Figura 54. Programa PLC, Hoja 8. ....	111
Figura 55. Programa PLC, Hoja 9. ....	111
Figura 56. Programa PLC, Hoja 10. ....	112
Figura 57. Programa PLC, Hoja 11. ....	112
Figura 58. Programa PLC, Hoja 12. ....	113
Figura 59. Programa PLC, Hoja 13. ....	113
Figura 60. Programa PLC, Hoja 14. ....	114
Figura 61. Programa PLC, Hoja 15. ....	114

Figura 62. Programa PLC, Hoja 16. ....	115
Figura 63. Programa PLC, Hoja 17 .....	115
Figura 64. Configuración de Conexión, HMI.....	116
Figura 65. Nodos de conexión, HMI. ....	116
Figura 66. Etiquetas, HMI.....	116
Figura 67. Etiquetas de Mensajes, HMI. ....	117
Figura 68. Pantalla Principal.....	117
Figura 69. Pantalla de Totalizadores.....	117
Figura 70. Pantalla Tiempos Lubricación. ....	118
Figura 71. Pantalla Ingreso de datos, POP-UP.....	118
Figura 72. Configuración pantalla remota, TS8006, Inicio.....	119
Figura 73. Selección del protocolo. ....	120
Figura 74. Configuración de la conexión. ....	120
Figura 75. Configuración conexión modbus. ....	121
Figura 76. Configuración de etiquetas o Tags.....	121
Figura 77. Configuración de las etiquetas, bits.....	122
Figura 78. Configuración de bits.....	122
Figura 79. Selección del Tag.....	123
Figura 80. Configuración de bits, tags.....	123
Figura 81. Configuración de bits, tags.....	124
Figura 82. Pantalla Ingreso de datos, POP-UP.....	124
Figura 83. Configuración de alarmas, tags.....	125
Figura 84. Vista de pantalla de mensajes y bits. ....	125
Figura 85. Programación Arduino Uno, Captura 1. ....	126
Figura 86. Programación Arduino Uno, Captura 2. ....	127
Figura 87. Programación Arduino, Captura 3.....	127
Figura 88. Pantalla Ingreso de datos, POP-UP.....	128
Figura 89. Fórmula del VAN.....	131
Figura 90. Algoritmo de control. ....	133

## Índice de Tablas

Tabla 1. Información general de Metalco S.A.....	2
Tabla 2. Lista de fallas registradas en el troquel .....	9
Tabla 3. Horas de fallas registradas en el troquel .....	10
Tabla 4. Bloque de modelo de Datos de Modbus.....	47
Tabla 5. Prefijos de Rangos de Datos.....	49
Tabla 6. Esquemas de Índice de Registros.....	50
Tabla 7. Compatibilidad con códigos Clase 0.....	56
Tabla 8. Compatibilidad con códigos Clase 1.....	57
Tabla 9. Compatibilidad con códigos clase 2 .....	58
Tabla 10. Códigos de excepción de Modbus comunes .....	59
Tabla 11. Etapas del proyecto y su respectivo rol.....	80
Tabla 12. Variables de entrada/salida. ....	88
Tabla 13. Costo de materiales.....	128
Tabla 14. Horas Técnico. ....	130
Tabla 15. Flujo del proyecto .....	132
Tabla 16. Cronograma de actividades.....	133

# **CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1 Introducción al tema del proyecto**

Este trabajo de implementación consta de seis capítulos que se desarrollarán dentro del proceso de perfilado de la empresa METALCO SA, de la perfiladora cinco, encargada de la producción de angulares lisos, rugosos y rugosos perforados. A lo largo de estos se detallarán los antecedentes y justificación del proyecto, definiendo el problema con sus objetivos generales y específicos, para determinar las limitaciones y los alcances que se encontraron en la investigación.

En el capítulo primero se realiza la definición del problema, junto con los objetivos del proyecto, los alcances y limitaciones.

En el capítulo dos se contiene toda la teoría necesaria para el desarrollo de la investigación, incluyendo tres apartados que serán la base de esta; el marco conceptual relativo a electrónica, el cual sirve de fundamento para el progreso del trabajo; el marco de gestión de proyectos y el marco conceptual del proyecto.

El capítulo tres abarca el apartado metodológico que describe el tipo de investigación y la metodología empleada para concretar los resultados del proyecto.

El capítulo cuatro incluye la parte diagnóstica, donde se incorpora la descripción de las actividades y la duración de cada una de ellas, la recolección de los datos con sus características.

El capítulo cinco del diseño y desarrollo del proyecto, donde se selecciona y detalla la propuesta; los costos de implementación el impacto económico, beneficio y costo, la descripción de las actividades llevadas a cabo, la bitácora,

detección de debilidades o carencias y acciones de mejoramiento en cada una de ellas.

El sexto capítulo contiene las recomendaciones y conclusiones una vez finalizado el proyecto.

## **1.2 Antecedentes del contexto de la empresa**

Metalco S.A, es una empresa consolidada en la producción de aceros recubiertos y pintados; así como también en la fabricación de tubos y perfiles. Con más de 50 años de ofrecer a sus clientes productos de alta calidad, ha logrado un reconocimiento en el área de la construcción por lo que sus actividades se enfocan en un mejoramiento continuo de sus procesos productivos y hacia la comercialización de sus productos: láminas y cubiertas para techo galvanizado, metaluminizado y/o pintado, perfiles en C y Z, tubos galvanizados y/o en hierro negro.

Sus productos son para ventas nacionales e internacionales, las bobinas galvanizadas, metaluminizadas y/o pintadas son distribuidas a las diferentes empresas en territorio costarricense y fuera de él.

Metalco Costa Rica cuenta en su área productiva con cuatro plantas de proceso (productos largos, productos recubiertos, productos planos 1 y 2) las cuales se encuentran ubicadas en la Ceiba de Orotina en la provincia de Alajuela. Además, un centro de distribución y ventas (antiguas instalaciones), en Colima de Tibás, en la provincia de San José.

**Tabla 1.** Información general de Metalco S.A.

Razón Social	METALCO S.A.
Cédula Jurídica	3-101-007474

Ubicación geográfica	Ruta 27 (Carretera a Puerto Caldera) km 70.5, La Ceiba de Orotina, Alajuela, Costa Rica.	
Tipo de industria	Manufactura de Acero, Metalurgia.	
Representante Legal	Santiago Dapena Rivera, Cédula: 800840096	
Edificaciones en centro de trabajo	Cuatro naves industriales con oficinas administrativas y una soda comedor de empleados.	
Teléfonos	2427-6000	
Fax	24276149, 2427-6159	
Apartado Postal	1131-1000 San José	
Tipo Jornada laboral	Administrativa diurna, operativa diurna, mixta y nocturna.	
Número de total empleados	Fijos: 620	Ocasionales: NA
Empleados administrativos	100	
Empleados operativos	520	
Empleados	Masculinos: 550	Femeninas: 70

**Fuente:** Elaboración Metalco, 2013.

### 1.2.1 Misión, visión, política de calidad y política ambiental

#### 1.2.1.1 Misión de Metalco

Somos la empresa líder en la producción de aceros recubiertos y conformados, orientamos nuestros esfuerzos a maximizar la vida útil del acero, para brindar la mejor relación costo-beneficio a nuestros consumidores.

Buscamos generar valor a nuestros clientes, dirigiendo nuestras acciones a la búsqueda constante de la excelencia con una amplia disposición de servicio y fundamentados en los principios de respeto, honestidad y lealtad.

Al cumplir con lo anterior, contribuimos al desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad, de todos los miembros de nuestra organización y a fortalecer la confianza de nuestros accionistas. (Metalco, 2016)

#### 1.2.1.2 Visión de Metalco

Seremos la compañía líder en aceros recubiertos y conformados en los mercados que atendemos. Los clientes serán nuestra razón de ser y la fuerza que nos impulsa a ser mejores cada día.

Seremos una empresa enfocada en el desarrollo y participación de quienes conformemos el equipo METALCO, en el incremento continuo de nuestra productividad, en la protección del medio ambiente, en la proyección social a la comunidad y en el desarrollo de prácticas de servicio al cliente.

Fomentaremos un ambiente que estimule la investigación y el desarrollo de nuevos productos y la mejora de los actuales.

La integración de centros productivos y de servicios pertenecientes a nuestro grupo corporativo, serán factores clave del crecimiento y expansión de nuestra compañía. (Metalco, 2016)

#### 1.2.1.3 Política de calidad

Garantizamos que nuestros productos cumplen con las normas especificadas por la compañía y que nuestros servicios satisfacen las necesidades de nuestros clientes, buscando exceder sus requerimientos.

Nuestra gestión se basa en la búsqueda constante de la excelencia y la disposición al servicio. (Metalco, 2016)

#### 1.2.1.4 Política ambiental

El compromiso de METALCO, S.A. con respecto a la protección del ambiente y la prevención de la contaminación, se establece en su Política Ambiental, la cual indica que:

Metalco y sus colaboradores, reconocen la enorme importancia que tiene el medio ambiente y la naturaleza, para el convivir armónico de nuestras sociedades.

Por lo anterior, a través de la mejora continua, nos comprometemos a:

- Cumplir con la legislación ambiental vigente, sin limitarnos solo a su ejecución.
- Promover una cultura de prevención de la contaminación en las operaciones diarias.
- Procurar que los colaboradores, tengan un nivel de conciencia y responsabilidad ambiental que trascienda la frontera laboral, aplicándose a su ámbito doméstico. (Castrillo, 2010). (Metalco, 2016)

#### 1.2.1.5 Política de seguridad y salud ocupacional

Metalco S.A., mantiene como compromiso el asegurar y proveer protección a todos los colaboradores, mediante la aplicación de normas de seguridad e higiene; cumpliendo con las regulaciones y normas vigentes en el área de seguridad e higiene industrial; garantizando la salud física y mental de los trabajadores y manteniendo un equilibrio social y ambiental. METALCO S.A. fundamenta su gestión de seguridad en una labor preventiva y permanente. (Metalco, 2016)

### 1.2.2 Proceso de producción

El proceso de producción empieza con la llegada de la materia prima al país vía marítima y el transporte al complejo industrial por plataformas *tráiler*. Se importa acero laminado empacado en forma de bobinas con un promedio de peso de 10 a 14 toneladas.

De acuerdo con un programa de producción, las variables que se toman en cuenta como tipo de tubo, calibre, pronósticos de venta, y otros, se decide a dónde se transportarán las bobinas dentro de las instalaciones para prepararlas en una primera operación de corte, la cual se determina de acuerdo con las dimensiones del tubo o perfil que se vaya a fabricar. En este punto, las bobinas se desenrollan y se pasan por unos discos cortadores que se separan a distancias estrictamente estandarizadas, las cuales tronzan la lámina con el ancho requerido y con obtención de flejes que se vuelven a enrollar para dejarlos listos para la etapa de conformado. Esta distancia de corte se convertirá posteriormente en la circunferencia del tubo o en el contorno del perfil.

Posteriormente, las bobinas cortadas se transportan a las diferentes líneas de producción, formado de tubos y seis líneas de formado de perfiles, con las que cuenta la planta. Una vez en los acumuladores, la materia prima empieza a alimentar a las líneas de formado, las cuales, a través de una serie de rodillos, van dando forma a los diferentes diámetros de los tubos y así, aproximadamente a mitad del proceso de formado; el material es soldado por fusión por medio de un sistema eléctrico de alta frecuencia.

Acabado el proceso de formado, la tubería, al fabricarse de forma continua, pasa por un sistema de corte automático que hace la operación de cortado cada 6 metros o según se necesite. La pieza que se cortó se deposita en una mesa de

embalaje. Una vez que se tienen separados los productos por tamaños, calibres y tipos, se debe decidir si el producto pasa a bodega o al proceso de galvanizado.

Si se somete al proceso de galvanizado, los tubos se sumergen en un baño de zinc y luego se sacan para ser soplados con vapor con el fin de que no queden residuos de zinc en su interior. Posteriormente, se roscan los extremos si es necesario y se empacan para ir a la *bodega de producto terminado*.

En el caso de los materiales que se utilizan para perfilado, la bobina cortada se monta en un desenrollador y en algunos casos se aplica un proceso de troquelado que posteriormente pasa por un tren de formado de rodillos, donde se le da la forma correcta, luego se corta a la medida correspondiente para almacenar en una mesa de embalaje y enviarla a la *bodega de producto terminado*.

Metalco S.A se ubica en La Ceiba de Orotina, Alajuela. Sus coordenadas Lambert son 210200 m Norte, 462800 m Este.

En la figura 1 se muestra la ubicación geográfica de las plantas de proceso.

### 1.2.3 Ubicación geográfica

Metalco S.A se ubica en La Ceiba de Orotina, Alajuela. Sus coordenadas Lambert son 210200 m Norte, 462800 m Este.

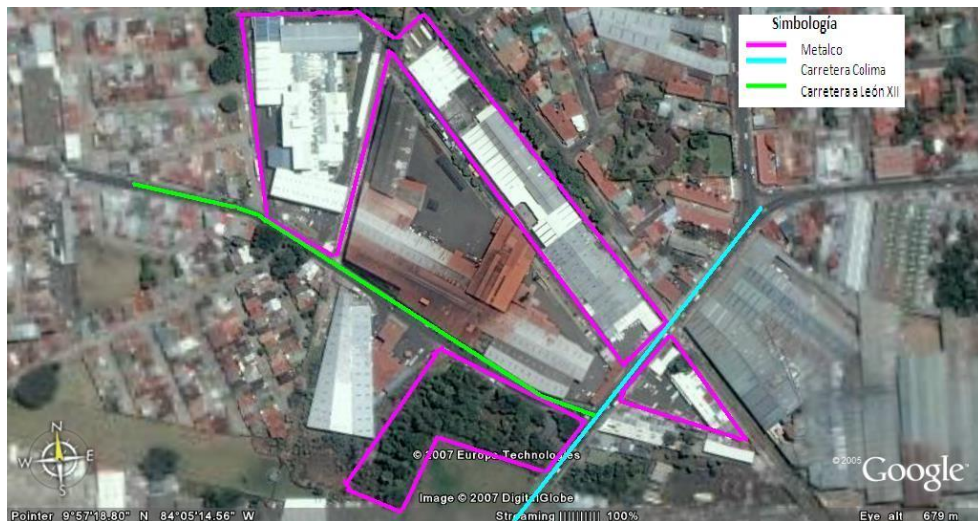
En la Figura 1 se muestra la ubicación geográfica de las plantas de proceso.



**Figura 1.** Mapa de ubicación plantas de proceso.

**Fuente:** Elaboración Metalco, 2011.

En la Figura 2 se muestra la ubicación geográfica del centro de distribución, bodegas y áreas de ventas.



**Figura 2.** Mapa de ubicación bodegas, ventas y distribución.

**Fuente:** Elaboración Metalco, 2012.

### 1.3 Justificación del proyecto

El ingeniero encargado del área de mantenimiento del complejo Industrial METALCO SA, ha detectado que los tiempos de reparación de la troqueladora de la perfiladora 5 son muy prolongados, con lo cual se reduce la producción por las fallas eléctricas, como se muestra en la tabla 1; las causas del problema no pueden ser detectadas rápidamente porque la máquina presenta mensajes de error, cuyo significado se desconoce, como por ejemplo E27, *rotolo aperto davanti*, entre otros.

En la tabla 2 se muestra una serie de fallas correspondientes al troquel, registradas en el sistema SAP:

**Tabla 2.** Lista de fallas registradas en el troquel

Descripción
Fallo en controlador de la troqueladora
Fallo en troquel de punzonado
Troquel de corte no funciona bien
Revisar accionamiento de troquel
Monitorear funcionamiento de troquel
Revisar troquel punzonado, no funciona

Elaboración del SAP.

En la tabla 3 se muestra un resumen mensual de las horas totales que la perfiladora 5 registra problemas directamente con el troquel.

**Tabla 3.** Horas de fallas registradas en el troquel

Mes (2016)	Horas de parada mensual
Junio	3.3
Julio	4.6
Agosto	4.2
Septiembre	3.85
Octubre	4.9
Noviembre	5.2
Promedio Mensual	4.34

Elaboración SAP.

Según el departamento de producción la perfiladora 5 produce un ingreso por hora de ₡434 700, equivalente ₡20 865 600 semanales, con un solo turno de 48 horas, que normalmente es el horario de producción de la línea; ello corresponde a ₡90 417 600 colones mensuales.

En el mes de mayo del 2016 la tarjeta de control del troquel tuvo una avería seria en un componente electrónico; la pérdida de producción ocasionada por dicho fallo es de dos días, con un turno de 8 horas, lo cual es el equivalente a ₡6 955 200. Desde el mes de mayo la línea ha tenido muchos fallos recurrentes con dicha tarjeta, tal como se muestra en la tabla 3.

El personal de mantenimiento eléctrico pierde mucho tratando de diagnosticar la causa de la avería, tiempo que podría dedicarse a la reparación y mantenimiento preventivo de otros equipos.

Al cambiar el panel completo que contiene una tarjeta central por un panel con un control automático escalable, el remplazo de equipos o tarjetas sería más fácil, pues se cuenta con un stock suficiente en bodega; además, al tener una pantalla con mensajes de fallos en idioma español, se pueden corregir fácilmente dichos fallos.

Esto reduciría notablemente los paros de producción de la máquina por fallas eléctricas y electrónicas, lo cual conlleva una importante pérdida económica y de recursos técnicos que podrían ser aprovechados en otras áreas de la empresa.

La máquina en cuestión es un troquel de agujeros. El mando principal tiene una tarjeta "Sangiaco" de fabricación italiana; todos los mensajes de error o fallos están en abreviados en italiano o simplemente son un código alfa numérico y provoca que los técnicos no tengan un panorama claro de los fallos presentes. Tal situación conlleva mucho tiempo en cada reparación al no estar clara la causa del fallo. La empresa que fabricó el troquel es de origen español y cerró sus operaciones hace aproximadamente dos años, por lo que el soporte técnico a dicha tarjeta solo lo puede dar el fabricante de la tarjeta principal. Los esquemas eléctricos que venían con la máquina no corresponden en un 100% a lo instalado; algunos componentes son difíciles de adquirir o son muy caros. Por ejemplo, solo la tarjeta principal tiene un valor más elevado que el de los componentes utilizados para cambiar el panel completo con el PLC. Sumado al alto costo de la tarjeta principal, también está el tiempo que se tarda el envío del repuesto desde la casa matriz en Italia. Se aprovecharía una pantalla táctil (HMI) ya instalada en la máquina para mostrar los mensajes de error y fallos de la troqueladora. La pantalla cuenta con dos puertos de comunicación y actualmente solo se utiliza uno de ellos; también en esta misma pantalla se introducirán ciertos parámetros del troquel, y se observarán algunos otros parámetros de tipo control para

mantenimiento preventivo y otros diagnósticos, como por ejemplo tiempos de funcionamientos.

Este proyecto permitirá que la empresa logre una producción más eficiente de la máquina mediante esta implementación práctica; se contribuirá a reducir la pérdida de tiempo por diferentes tipos de fallas.

## **1.4 Definición del problema**

El problema surge ante la situación de que la tarjeta de control de la troqueladora está dañada y el costo es muy elevado; por ello se requiere implementar un nuevo sistema de control que permita un reemplazo de componentes, a más bajo costo.

La troqueladora de la perfiladora 5 de la empresa METALCO S.A. tiene el sistema de control dañado y no permite el funcionamiento correcto de la máquina.

¿Cómo se puede solucionar el problema del sistema de control dañado de la troqueladora de la perfiladora 5 de la empresa METALCO S.A ?

La solución del funcionamiento del sistema de control requiere un reemplazo por un sistema de control más efectivo, que reduzca los tiempos de detección de fallos, con un menor costo económico, para cualquier sustitución de componentes dañados en la empresa durante la operación de la máquina, y que además, permita un monitoreo remoto del equipo.

## **1.5 Objetivo general y los específicos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Implementar un control automatizado en la troqueladora de la perfiladora 5 sustituyendo la tarjeta de control original dañada del equipo para la reducción del tiempo de detección de fallos por un sistema de control funcional.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

1. Determinar los defectos de funcionamiento y operación del sistema actual de la troqueladora.
2. Determinar las variables de entradas y salidas digitales del sistema de control.
3. Diseñar el sistema de control automático de la troqueladora nuevo.
4. Evaluar el impacto económico de la implementación del sistema en la producción.
5. Implementar el sistema capaz de realizar un autodiagnóstico de los fallos.
6. Realizar el monitoreo remoto de la máquina dentro de la misma compañía.

## 1.6 Alcance y limitaciones

### 1.6.1. Alcances

La implementación de este diseño permitirá algunos aspectos importantes, como los siguientes:

- Construir un sistema de control automático que sustituya el control antiguo.
- Mejorar el diagnóstico de fallas de troqueladora con un control funcional nuevo.

- Bajar los costos de piezas de reemplazo del sistema de la troqueladora con un sistema de control moderno y adaptado a las necesidades de la empresa.
- Reducir el tiempo de paros improductivos por desperfectos de funcionamiento de la troqueladora por medio de la implementación del nuevo sistema diseñado.
- Capacitación para el personal operativo de la máquina en el uso del nuevo sistema de control.
- Capacidad de monitoreo remoto a través de la red interna de la compañía en una pantalla ubicada lejos de la máquina.

### 1.6.2 Limitaciones

Este diseño enfrentará posibles inconvenientes al ser implementado, como:

- El tiempo disponible de la máquina para realizar pruebas y estudios es muy reducido por la carga de producción de la troqueladora.
- La empresa deberá asignar un periodo de tiempo de capacitación para el personal que opera la máquina, para el manejo del nuevo sistema de control.
- La bodega carece de algunos equipos necesarios para la implementación del sistema de control.
- El tiempo de llegada de algunos equipos requeridos para la implementación varía y puede atrasar el desarrollo del proyecto.
- El PLC únicamente posee un puerto serial, el cual es RS-232, por lo que la comunicación con el Arduino se debe realizar mediante salidas binarias digitales del PLC, lo cual limita la cantidad de datos por controlar.
- El monitoreo remoto está limitado a la presencia de algún técnico en el taller de mantenimiento.

# CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

## 2.1. Marco conceptual general

### 2.1.1. Sistema de control automático

Se define un sistema (máquina o proceso) automatizado como aquel capaz de reaccionar ante un proceso de forma automática (sin la intervención de un operario) ante los cambios que se producen, realizando las acciones adecuadas para cumplir la función para la cual ha sido diseñado. La figura 3 muestra la estructura típica de un sistema automatizado.

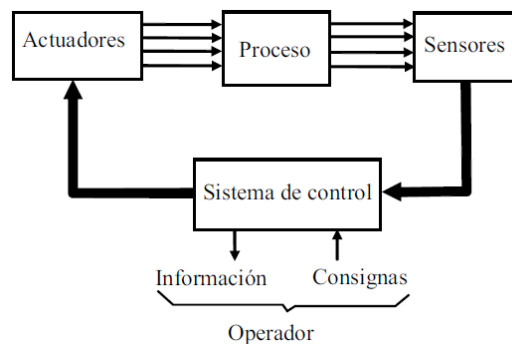


Figura 3. Estructura de sistema automatizado.

Como se observa en la figura 3, se trata de un sistema de bucle cerrado, donde la información sobre los cambios del proceso captada por los sensores es procesada, dando lugar a las acciones necesarias, que se implementan físicamente sobre el proceso, por medio de los actuadores. Este sistema de control se comunica eventualmente con el operario, mediante consignas de

producción, u otros y brinda información sobre el estado del proceso (para la supervisión del correcto funcionamiento).

Se denomina automatismo al sistema completo, aunque con este término suele hacerse referencia fundamentalmente al sistema de control, pues este produce, de forma automática, las acciones sobre el proceso, a partir de una señal captada por los sensores. Las señales de entrada y salida pueden ser de cualquier tipo; sin embargo, el concepto tradicional de automatismo se utiliza para sistemas de eventos discretos (también llamados sistemas secuenciales) en los que esas señales son binarias; es decir, solo pueden tomar 2 valores, activa o inactiva (estos valores suelen representarse como 1 o un 0). En ese caso, el sistema de control implementa el algoritmo de lógica binaria el cual relaciona los valores que deben ir tomando en cada instante las estradas (1 o 0) con los que deben de ir tomando en cada instante las salidas (también 1 o 0), para que el sistema funcione adecuadamente. (Llopis Roberto Sanchis, 2010, pág. 7)

### 2.1.2. Autómata Programable Industrial (API):

Un autómata programable industrial es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar, en tiempo real y en ambiente de tipo industrial procesos secuenciales.

El API también se le conoce como PLC, que es la sigla de Programmable Logic Controller. Como se resume en la definición, se trata de un computador especial, tanto en el software como en el hardware. En el software, porque se programa en un lenguaje especial, diseñado específicamente para generar de forma sencilla el programa que implementa el algoritmo de control programado, el cual es ejecutado de forma periódica en un ciclo temporal bastante breve como para poder controlar los procesos en tiempo real. En el hardware, porque utiliza componentes robustos que soportan condiciones de trabajo adversas, como la que se dan en ambientes industriales (polvo, temperatura, vibraciones, otros), y

porque su constitución física incluye los circuitos de interfaz necesarios para conectarlo de forma directa a los sensores y actuadores del proceso.

Arquitectura:

La figura muestra, de forma esquemática, la arquitectura interna de un autómata programable industrial típico. Como computador que es, tiene un procesador que ejecuta el programa almacenado en la memoria del programa. La memoria de programa y la de datos están físicamente separadas, constituyendo una arquitectura tipo Harvard; además, la memoria de datos está separada en dos tipos, que en la figura se denominan memoria de datos y memoria interna. Esta última se utiliza para almacenar los valores de las señales de entrada y salida, por lo que están conectadas con los módulos de entradas y salidas, que son los elementos de interfaz donde se conectan los sensores y actuadores del proceso. También dispone de periféricos para comunicarse con otros dispositivos, como pantallas táctiles, ordenadores y otros autómatas. (*Roberto Sanchis LLopis, 2010, p 111*)

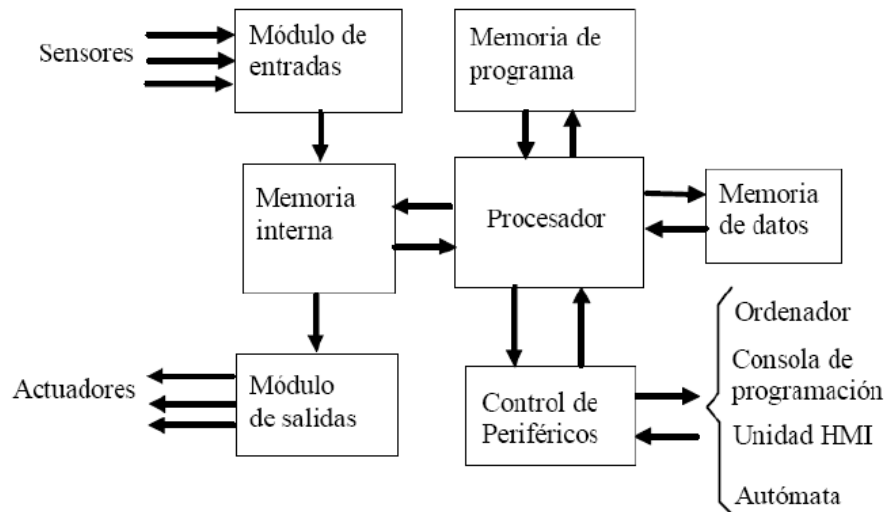


Figura 4. Esquema de la arquitectura de un PLC.

Para la programación de un PLC se deben seguir una serie de pasos básicos:

1. Configurar el equipo (tipo de PLC, módulos de entradas y salidas, comunicaciones, otros).
2. Identificar el programa (nombre, empresa, fecha, versión, otros).
3. Crear la estructura básica del programa (bloques y grupos dentro de los bloques).
4. Hacer la lista de etiquetas (nombres) de las variables por utilizar (entradas, salidas, variables internas, datos, temporizadores, contactores), asignándoles una dirección en memoria.
5. Introducir el programa (diagrama de contactos).
6. Comprobar el programa. Si el software lo permite, se puede simular la ejecución del programa del PLC y verificar el funcionamiento correcto.
7. Transferir el programa al autómata.
8. Ejecutar el programa en el PLC en modo monitor y comprobar el funcionamiento correcto.

Criterios de selección de un autómata programable industrial:

1. Número máximo de entradas y salidas (digitales).
2. Memoria de programa.
3. Memoria de datos.
4. Velocidad de proceso (es por instrucción).
5. Posibilidad de entradas/salidas especiales (analógicas, PID, contador de alta velocidad, salidas de pulsos PWM)
6. Lenguaje de programación (diagrama de contactos, lista de instrucciones, Grafcet, Basic) y dispositivos de programación (ordenador, consola).
7. Comunicación. Posibilidad de conexión en redes de comunicación (E/S remotas, bus de campo, red de área local, red de nivel superior).
8. Capacidad para implementar funciones complejas. (Llopis Roberto Sanchis, 2010, pág. 136)

#### 2.1.2.1. Módulo de entradas digitales

Son módulos que permiten leer señales binarias (digitales) obtenidas a partir de detectores (cuya salida es activa o inactiva). Normalmente van aisladas por medio de opto acopladores. Suelen funcionar con niveles de tensión de 24 V (de continua o de alterna) o niveles de 220 V (de alterna). La figura representa el circuito de entrada típico. La utilización de 2 diodos emisores en antiparalelo hace que la entrada pueda activarse con cualquier polaridad. Se observa que uno de los dos bornes en común (es compartido por todas las entradas digitales del módulo). Este borne común se puede conectar o bien a tensión (a 24 Vcc) o bien a masa, en función de que el detector que se conecta sea NPN o PNP. Si se conecta un detector con salida NPN, el borne común se debe conectar a tensión, mientras que, si el sensor es PNP, el borne común se debe conectar a masa. Debido a eso, no se pueden mezclar sensores NPN y PNP en el mismo módulo (todos los sensores que van al mismo módulo tienen que ser del mismo tipo, iguales). Los

sensores con salida a relé se pueden conectar como si fueran NPN o como si fueran PNP, por lo que se podrían combinar sin problemas con los NPN o con los PNP. (Llopis Roberto Sanchis, 2010, pág. 120)

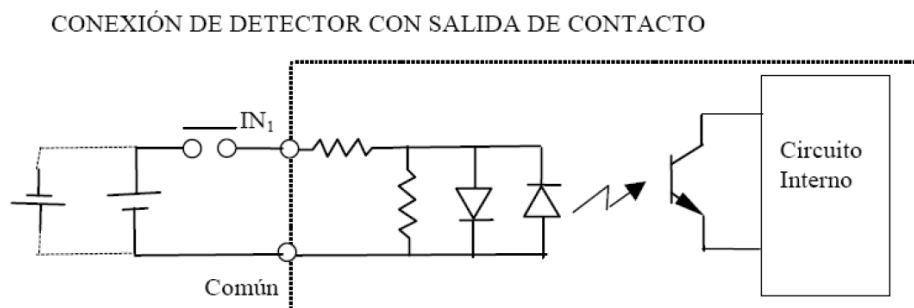


Figura 5. Entrada digital con opto acoplador.

Algunos módulos de entradas digitales tienen los dos bornes de cada entrada, independientes (aislados unos con otros). En esos módulos cada entrada puede conectarse a un detector NPN o PNP de forma independiente. Sin embargo, este tipo de módulo no es el más habitual.

La siguiente figura muestra el circuito de entrada digital del módulo ID111 del autómata CQM1 de Omron, que admite señales de 24V. Este autómata también tiene otros módulos de entradas de 240 V de alterna, como el que se muestra en la figura 4. (Llopis Roberto Sanchis, 2010, pág. 122)

## CQM1-ID111/212

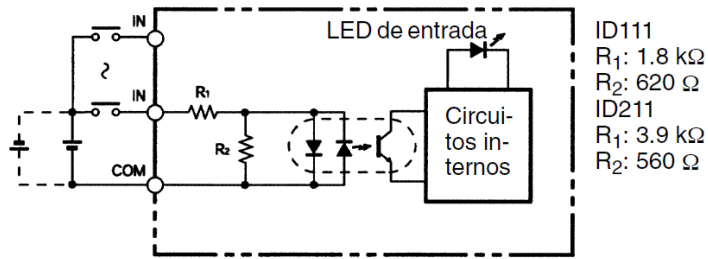


Figura 6. Entrada digital con opto acoplador.

### 2.1.2.2. Módulos de salida digitales

Estos módulos permiten transmitir una señal binaria (activada y desactivada) a un dispositivo externo. Hay tres tipos de salidas digitales que son las más utilizadas: salida a relé (contacto), salida a transistor (que pueden ser NPN o PNP) y salida TRIAC. En todos los casos, el circuito interno está aislado de los componentes externos (en la salida a relé por el propio relé, en la salida transistor por medio de un opto acoplador y en la salida a TRIAC por un optotriac). Los circuitos típicos simplificados para los distintos tipos de salidas, se muestran en las figuras 5 a 8. Normalmente, en un módulo hay varias salidas, que comparten uno de los bornes (el borne común). En el caso de la salida relé, el borne común se conecta necesariamente a masa, y la carga (bobina de electroválvula, por ejemplo) entre el otro borne de la salida y tensión. En el caso de la salida a transistor PNP, el borne común se conecta necesariamente a tensión y la carga entre el otro borne de salida y masa. (Llopis Roberto Sanchis, 2010, pág. 124)

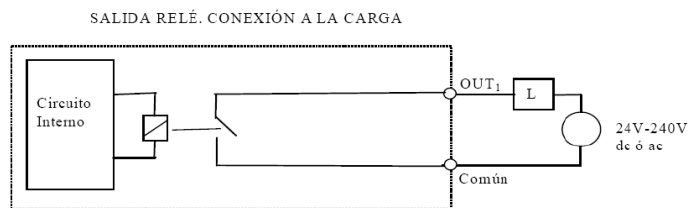


Figura 7. Salida digital por relé.

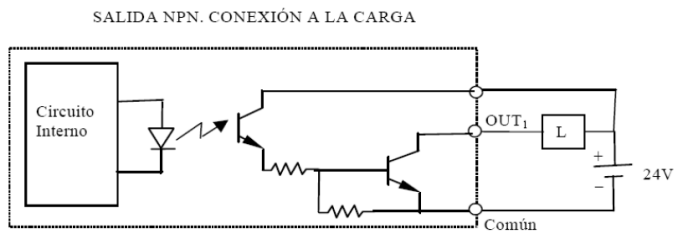


Figura 8. Salida digital estado sólido, NPN.

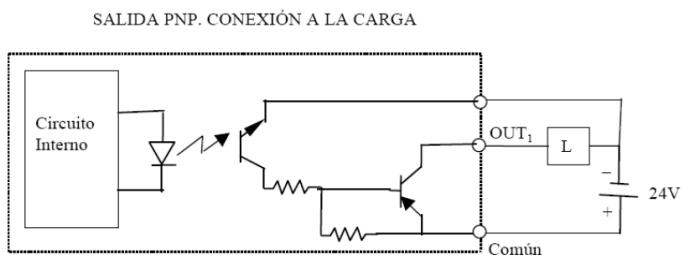


Figura 9. Salida digital estado sólido, PNP.

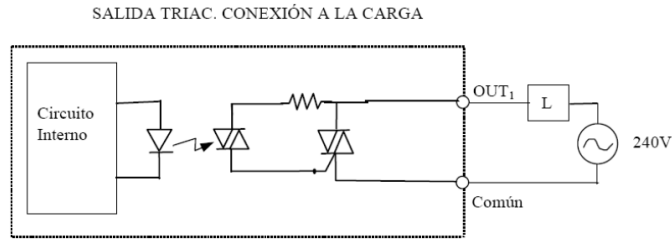


Figura 10. Salida digital estado sólido, con Triac.

La figura 7 muestra el circuito correspondiente a un módulo de salida digital a relé del autómata CQM1 de Omron. Este autómata también tiene módulos de salida a transistor NPN (como el que muestra en la figura 11), módulos de salidas a transistor NPN y a triac.

**CQM1-OC222**

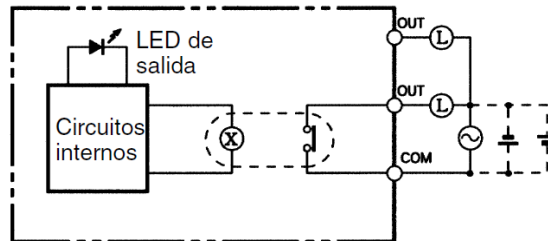


Figura 11. Salida digital de relé.

**CQM1-OD211**

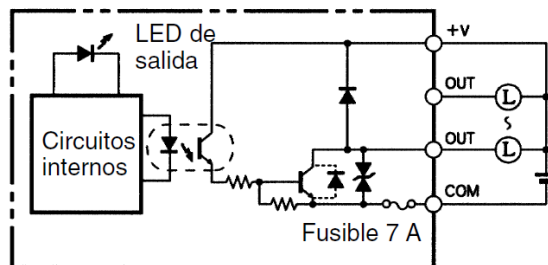


Figura 12. Salida digital opto acoplada.

### SALIDA PNP. CONEXIÓN A LA CARGA

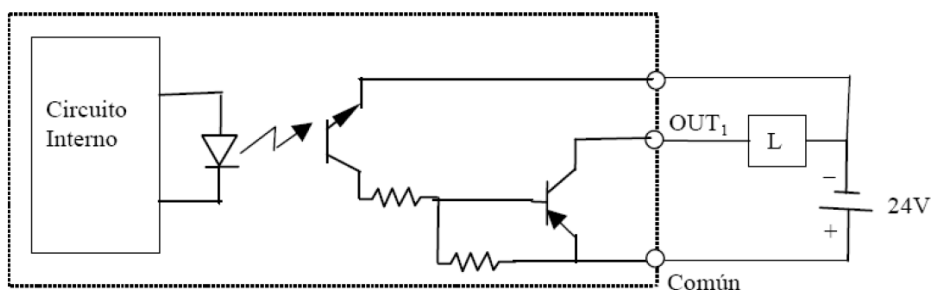


Figura 13. Salida digital opto acoplado PNP.

### 2.1.2.3 Comunicación RS-232

La conexión serie RS232 permite comunicar únicamente dos elementos entre sí. Ejemplos habituales son la comunicación de autómatas con un terminal, o un autómata con un ordenador, o un autómata con un variador de frecuencia.

La conexión RS232 básica dispone de 3 hilos; R (recibir), T (transmitir) y masa. Las señales R y T se cruzan: el R de un equipo con el T del otro y viceversa. El 0 lógico queda definido por una tensión de -12V respecto de masa, mientras el 1 lógico queda definido por una tensión de +12V.

La velocidad de transmisión puede ser como máximo de 38.4 kbits/s. La distancia máxima de transmisión es de unos 10 a 15 metros.

Los datos se transmiten en serie en paquetes de 1 carácter. El formato del mensaje suele tener un bit de inicio, 7 u8 bits que definen el carácter que se transmite, 1 bit de paridad, y 1 o 2 bits de stop.

La comunicación es asíncrona. La transmisión del carácter empieza con un flanco de subida de señal. A partir de ese flanco el receptor lee un bit de la línea de cada cierto tiempo, determinado por la velocidad de la transmisión. Por esta razón el equipo que transmite y el que recibe deben estar configurados a la misma velocidad de transmisión. La transmisión del carácter finaliza cuando se han

transmitido todos los bits. El número de bits total del mensaje debe ser también el mismo para el equipo que transmite y para el que recibe.

El estándar RS232 solo define las características eléctricas de la transmisión. Para que los dos equipos puedan comunicarse entre sí, además deben utilizar el mismo protocolo, o sea, el significado de los mensajes (formados por un conjunto de caracteres) que se envían. (Llopis Roberto Sanchis, 2010, pág. 197)

### 2.1.3. HMI

Además de las unidades de programación se pueden destacar otros periféricos muy utilizados que son las unidades HMI (Human Machine Interface). Son unidades que disponen de un teclado y una pantalla (los cuales pueden ser bastante grandes), o bien únicamente de una pantalla táctil. Se utilizan para mostrar al operador el estado del proceso y permitir la introducción de consignas (órdenes de marcha, de paro, cambio de parámetros de funcionamiento, otros). Estas unidades contienen un procesador y una memoria no volátil en la que programa la aplicación de interfaz con el usuario. Se programan por medio de un ordenador por el puerto serie o puerto USB con el software adecuado, y una vez programadas se comunican con el autómatas por el puerto serie o por el puerto de periféricos (aunque también se pueden comunicar por medio de una red de mayor nivel, como Ethernet). (Llopis Roberto Sanchis, 2010, pág. 127)

En la figura 14 se muestra un terminal táctil comercial.



**Figura 14.** Pantalla Táctil HMI.

#### 2.1.4. Perfiladora

Máquina moldeadora de láminas o cinta plana continua de metal, para producir piezas de sección transversal con una forma definida y con un acabado de calidad de forma constante a lo largo todo el material aportado a la máquina; se emplean para ello, rodillos que lo forman progresivamente hasta su estado final.



**Figura 15.** Perfiladora 5, Tren de formado.

### 2.1.5. S.A.P.

“¡Es un Potente Sistema informático que administra los recursos de las principales empresas del mundo, brindando una gestión eficiente de los recursos financieros, recursos humanos, canales de ventas, procesos de logística, manejo de stock y mucho más!”. (CVSoft, 2011)



**Figura 16.** Logo SAP.

### 2.1.6. Troquel

Es un mecanismo de bordes cortantes, utilizados, en este caso, para realizar perforaciones o agujeros en láminas o cintas planas de metal.



Figura 17. Troquel Perfiladora 5.

### 2.1.7 Cigüeñal

“El cigüeñal, también llamado cigoñal, es un eje que dispone de codos y que, gracias a un mecanismo de biela, logra convertir un movimiento circular uniforme en un movimiento rectilíneo alternativo y viceversa”. (Porto, 2016)



**Figura 18.** Troquel con Cigüeñal.

### 2.1.8 Arduino Uno

Arduino / Genuino Uno es una placa microcontroladora basada en ATmega328P (datasheet). Tiene 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; Simplemente se conecta a un ordenador con un cable USB o con un adaptador AC-DC o batería para empezar. Se puede jugar con su UNO sin preocuparse demasiado acerca de hacer algo mal; en el peor de los casos se puede reemplazar el chip por unos pocos dólares y empezar de nuevo.

"Uno" significa uno en italiano y fue elegido para marcar el lanzamiento de Arduino Software (IDE) 1.0. El tablero Uno y la versión 1.0 de Arduino Software (IDE) fueron las versiones de referencia de Arduino, ahora evolucionaron a versiones

más recientes. La placa Uno es la primera de una serie de placas USB Arduino, y el modelo de referencia para la plataforma Arduino. Para una lista extensa de tableros actuales, pasados o pasados de moda vea el índice de tableros de Arduino.

### Programación

El Arduino / Genuino Uno se puede programar con el (Arduino Software (IDE)). Seleccione "Arduino / Genuino Uno en el menú Herramientas> Panel (según el microcontrolador de su placa). Para obtener más información, consulte la referencia y los tutoriales. El ATmega328 en el Arduino / Genuino Uno viene preprogramado con un gestor de arranque que le permite cargar un nuevo código sin el uso de un programador de hardware externo. Se comunica utilizando el protocolo STK500 original (referencia, archivos de cabecera C).

También puede omitir el cargador de arranque y programar el microcontrolador a través de la cabecera ICSP (In-Circuit Serial Programming) utilizando Arduino ISP o similar. Vea estas instrucciones para más detalles.

El código fuente del firmware ATmega16U2 (o 8U2 en las rev1 y rev2) está disponible en el repositorio Arduino. El ATmega16U2 / 8U2 está cargado con un gestor de arranque DFU, que puede activarse mediante:

En las tablas Rev1: conectar el puente de soldadura en la parte trasera del tablero (cerca del mapa de Italia) y luego volver a colocar el 8U2.

En placas Rev2 o posteriores: hay una resistencia que tira de la línea 8U2 / 16U2 HWB a tierra, lo que facilita su colocación en modo DFU.

A continuación, puede utilizar el software FLIP de Atmel (Windows) o el programador DFU (Mac OS X y Linux) para cargar un nuevo firmware. O puede usar el encabezado ISP con un programador externo (sobrescribiendo el cargador de arranque DFU). Consulte este tutorial para obtener más información. Advertencias.

El Arduino / Genuino Uno tiene un fusible reestablecible que protege los puertos USB de su computadora de cortocircuitos y sobre-corriente. Aunque la mayoría de

las computadoras proporcionan su propia protección interna, el fusible proporciona una capa adicional de protección. Si se aplica más de 500 mA al puerto USB, el fusible romperá automáticamente la conexión hasta que se quite el corto circuito o la sobrecarga. Diferencias con otras tablas. El Uno difiere de todos los tableros anteriores en que no utiliza el chip driver FTDI USB-to-serial. En su lugar, cuenta con el Atmega16U2 (Atmega8U2 hasta la versión R2) programado como un convertidor USB a serie. Alimentación: La tarjeta Arduino / Genuino Uno puede alimentarse a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente. La alimentación externa (no USB) puede venir desde un adaptador AC-DC (cargador de pared) o una batería. El adaptador puede conectarse enchufando un conector positivo de centro de 2,1 mm en el conector de alimentación de la tarjeta. Las derivaciones de una batería se pueden insertar en los conectores GND y Vin del conector POWER. La placa puede funcionar con una alimentación externa de 6 a 20 voltios. Si se suministra con menos de 7V, sin embargo, el pin de 5V puede suministrar menos de cinco voltios y el tablero puede volverse inestable. Si utiliza más de 12V, el regulador de tensión puede sobrecalentarse y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios. Los pines de alimentación son los siguientes:

Vin. El voltaje de entrada a la tarjeta Arduino / Genuino cuando se utiliza una fuente de alimentación externa (a diferencia de 5 voltios de la conexión USB u otra fuente de alimentación regulada). Usted puede suministrar voltaje a través de este pin, o, si el suministro de voltaje a través de la toma de alimentación, el acceso a través de este pin.

5V. Este pin emite un 5V regulado usando el regulador interno de la tarjeta. La placa se puede suministrar con alimentación desde el conector de alimentación de CC (7 - 12V), el conector USB (5V) o el pin VIN de la placa (7-12V). El suministro de voltaje a través de los pines de 5V o 3.3V evita el regulador, y puede dañar su placa. No se aconseja.

3V3. Una fuente de 3.3 voltios generada por el regulador de a bordo. El consumo máximo de corriente es de 50 mA.

GND. Pasadores de tierra.

IOREF. Este pin de la tarjeta Arduino / Genuino proporciona la referencia de tensión con la que opera el microcontrolador. Un escudo correctamente configurado puede leer el voltaje de la clavija IOREF y seleccionar la fuente de alimentación apropiada o habilitar los traductores de voltaje en las salidas para trabajar con los 5V o 3.3V.

Memoria. El ATmega328 tiene 32 KB (con 0.5 KB ocupado por el gestor de arranque). También tiene 2 KB de SRAM y 1 KB de EEPROM (que se puede leer y escribir con la librería EEPROM).

Entrada y salida. Consulte la asignación entre los pines Arduino y los puertos ATmega328P. La asignación para el Atmega8, 168 y 328 es idéntica.

Cada uno de los 14 pines digitales del Uno se puede utilizar como entrada o salida, utilizando las funciones `pinMode ()`, `digitalWrite ()` y `digitalRead ()`. Funcionan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir 20 mA según las condiciones de funcionamiento recomendadas y tiene una resistencia pull-up interna (desconectada por defecto) de 20-50k ohmios. Un máximo de 40mA es el valor que no debe excederse en ningún pin de E / S para evitar daños permanentes al microcontrolador. Además, algunos pines tienen funciones especializadas:

Serie: 0 (RX) y 1 (TX). Se utiliza para recibir (RX) y transmitir (TX) datos en serie TTL. Estos pines están conectados a los pines correspondientes del chip ATmega8U2 USB-to-TTL Serial. Interrupciones externas: 2 y 3. Estas clavijas se pueden configurar para activar una interrupción en un valor bajo, un flanco ascendente o descendente o un cambio de valor. Consulte la función `attachInterrupt ()` para obtener más detalles.

PWM: 3, 5, 6, 9, 10 y 11. Proporcione una salida PWM de 8 bits con la función `analogWrite ()`.

SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Estos pines admiten

comunicación SPI utilizando la biblioteca SPI.

LED: 13. Hay un LED incorporado accionado por el pin digital 13. Cuando el perno es valor ALTO, el LED está encendido, cuando el perno es BAJO, está apagado.

TWI: pin A4 o SDA y pin A5 o SCL. Apoye la comunicación TWI utilizando la biblioteca Wire.

El Uno tiene 6 entradas analógicas, etiquetadas de A0 a A5, cada una de las cuales proporciona 10 bits de resolución (es decir, 1024 valores diferentes). Por defecto miden desde tierra hasta 5 voltios, aunque es posible cambiar el extremo superior de su rango usando el pin AREF y la función `analogReference()`. Hay un par de otros pines en el tablero:

AREF. Tensión de referencia para las entradas analógicas. Se utiliza con `analogReference()`.

Reiniciar. Lleve esta línea LOW para reiniciar el microcontrolador. Se utiliza normalmente para agregar un botón de reinicio a los escudos que bloquean el de la placa.

## Comunicación

Arduino / Genuino Uno cuenta con varias instalaciones para comunicarse con una computadora, otra placa Arduino / Genuino u otros microcontroladores. El ATmega328 proporciona una comunicación serie UART TTL (5V), que está disponible en los pines digitales 0 (RX) y 1 (TX). Un ATmega16U2 en la placa canaliza esta comunicación serie a través de USB y aparece como un puerto virtual para el software en la computadora. El firmware 16U2 utiliza los controladores USB COM estándar y no se necesita ningún controlador externo. Sin embargo, en Windows, se requiere un archivo .inf. El software Arduino (IDE) incluye un monitor en serie que permite enviar datos simples desde y hacia el tablero. Los LED RX y TX de la placa parpadearán cuando se transmitan datos a través del chip USB a serie y la conexión USB al ordenador (pero no para la comunicación en serie en los pines 0 y 1).

Una biblioteca de SoftwareSerial permite la comunicación en serie en cualquiera de los pines digitales del Uno.

El ATmega328 también soporta comunicación I2C (TWI) y SPI. El software Arduino (IDE) incluye una biblioteca de cables para simplificar el uso del bus I2C; Consulte la documentación para obtener más detalles. Para la comunicación SPI, utilice la biblioteca SPI.

#### Restablecimiento automático (software)

En lugar de requerir una pulsación física del botón de reinicio antes de una carga, la tarjeta Arduino / Genuino Uno está diseñada de tal forma que permite su reinicio mediante el software que se ejecuta en una computadora conectada. Una de las líneas de control de flujo de hardware (DTR) del ATmega8U2 / 16U2 está conectada a la línea de reposición del ATmega328 a través de un condensador de 100 nanos faradios. Cuando esta línea se afirma (tomada baja), la línea de reinicio se cae el tiempo suficiente para restablecer el chip. El software de Arduino (IDE) utiliza esta capacidad para permitirle cargar código simplemente presionando el botón de carga en la barra de herramientas de la interfaz. Esto significa que el gestor de arranque puede tener un tiempo de espera más corto, ya que la reducción de DTR puede ser bien coordinada con el inicio de la carga. Esta configuración tiene otras implicaciones. Cuando el Uno está conectado a un equipo que ejecuta Mac OS X o Linux, se restablece cada vez que se realiza una conexión desde el software (vía USB). Durante el siguiente medio segundo aproximadamente, el gestor de arranque se ejecuta en el Uno. Mientras está programado para ignorar datos malformados (es decir, cualquier cosa además de una carga de nuevo código), interceptará los primeros pocos bytes de datos enviados a la placa después de que se abra una conexión. Si un boceto que se ejecuta en la placa recibe una configuración única u otros datos cuando se inicia por primera vez, asegúrese de que el software con el que se comunica espera un segundo después de abrir la conexión y antes de enviar estos datos. El tablero Uno contiene una traza que se puede cortar para deshabilitar el auto-reset. Las almohadillas a ambos lados de la traza se pueden soldar juntas para volver a habilitarlo. Tiene la etiqueta "RESET-EN". También puede desactivar el restablecimiento automático conectando una resistencia de 110 ohmios de 5V a la

línea de reinicio. Vea este hilo del foro para más detalles.

Revisiones

Revisión 3 de la junta tiene las siguientes nuevas características:

Pines 1,0: se han añadido pines SDA y SCL que están cerca del pin AREF y otros dos pines nuevos colocados cerca del pin RESET, el IOREF que permite que los blindajes se adapten al voltaje suministrado desde la placa. En el futuro, los escudos serán compatibles tanto con la placa que utiliza el AVR, que funciona con 5V y con el Arduino Due que funciona con 3,3V. El segundo es un pin no conectado, que está reservado para futuros propósitos.

Circuito RESET más fuerte.

Atmega 16U2 sustituye el 8U2. (Arduino, Arduino, 2017)

## 2.1.9 Puertos Arduino

Registros de puertos

Los registros de puertos permiten una manipulación de menor nivel y más rápida de los pines de entrada / salida del microcontrolador en una placa Arduino. Los chips utilizados en la placa Arduino (ATmega8 y ATmega168) tienen tres puertos:

B (pin digital 8 a 13)

C (clavijas de entrada analógicas)

D (pines numéricos 0 a 7)

Cada puerto está controlado por tres registros, que también son variables definidas en el lenguaje arduino. El registro DDR, determina si el pin es un INPUT u OUTPUT. El registro PORT controla si el pin es HIGH o LOW, y el registro PIN lee el estado de los pins INPUT establecidos para la entrada con pinMode (). Los mapas de los chips ATmega8 y ATmega168 muestran los puertos. El chip Atmega328p más reciente sigue el pinout de la Atmega168 exactamente.

Los registros DDR y PORT se pueden escribir y leer. Los registros PIN corresponden al estado de las entradas y solo se pueden leer.

PORTD mapas a Arduino digital pines 0 a 7.

DDRD - Registro de dirección de datos del puerto D - lectura / escritura.

PORTD - Registro de datos del puerto D - lectura / escritura.

PIND - El Puerto D Insertos de Entrada - sólo lectura.

PORTB asigna a Arduino los pines digitales 8 a 13 Los dos bits altos (6 y 7) se asignan a los pines de cristal y no son utilizables.

DDRB - Registro de dirección de datos del puerto B - lectura / escritura.

PORTB - Registro de datos del puerto B - lectura / escritura.

PINB - El puerto B Botones de entrada Registro - solo lectura.

PORTC asigna a los pines analógicos de Arduino de 0 a 5. Los pins 6 y 7 sólo son accesibles en el Arduino Mini.

DDRC - Registro de dirección de datos del puerto C - lectura / escritura.

PORTC - Registro de datos del puerto C - lectura / escritura.

PINC - El Pico de entrada del puerto C Registro - solo lectura.

Cada bit de estos registros corresponde a un solo pin; Por ejemplo, el bit bajo de DDRB, PORTB y PINB se refiere al pin PB0 (pin digital 8). Para un mapeo completo de los números de pin de Arduino a puertos y bits, vea el diagrama de su chip: ATmega8 , ATmega168 . (Tenga en cuenta que algunos bits de un puerto se pueden utilizar para cosas distintas de i / o, tenga cuidado de no cambiar los valores de los bits de registro correspondientes a ellos).

Ejemplos

Haciendo referencia al mapa de pin anterior, los registros PortD controlan los pines digitales 0 a 7 de Arduino.

Sin embargo, debe tener en cuenta que los pines 0 y 1 se utilizan para comunicaciones serie para programar y depurar el Arduino, por lo que es necesario evitarlos, a menos que sea necesario para las funciones de entrada o salida en serie. Debe tenerse en cuenta que esto puede interferir con la descarga del programa o la depuración.

DDRD es el registro de dirección para el puerto D (pines digitales Arduino 0-7). Los bits de este registro controlan si los pines de PORTD están configurados como entradas o salidas, por ejemplo:

```
DDRD = B11111110; // establece los pines Arduino 1 a 7 como salidas, pin 0 como entrada
```

```
DDRD = DDRD | B11111100; // Esto es más seguro ya que establece los pines 2 a 7 como salidas
```

```
// sin cambiar el valor de los pines 0 & 1, que son RX & TX
```

```
//See the bitwise operators reference pages and The Bitmath Tutorial en el Playground
```

PORTD es el registro para el estado de las salidas. Por ejemplo:

```
PORTD = B10101000; // sets digital pins 7,5,3 HIGH
```

Usted verá solamente 5 voltios en estos pernos; sin embargo, si los pernos se han fijado como salidas usando el registro de DDRD o con el pinMode ().

PIND es la variable de registro de entrada. Se leerán todos los pines de entrada digital al mismo tiempo.

¿Por qué utilizar la manipulación de puertos?

Del tutorial Bitmath

En términos generales, hacer este tipo de cosas no es una buena idea. ¿Por qué no? Aquí hay algunas razones:

El código es mucho más difícil de depurar y mantener y es mucho más difícil de entender para otras personas. El microcontrolador solo tarda unos pocos

microsegundos en ejecutar el código, pero puede tardar horas en descubrir por qué no funciona bien y arreglarlo. Su tiempo es valioso, pero el tiempo de la computadora es muy barato, medido en el coste de la electricidad. Por lo general, es mucho mejor escribir el código de la manera más obvia.

El código es menos portátil. Si utiliza `digitalRead ()` y `digitalWrite ()`, es mucho más fácil escribir el código que se ejecutará en todos los microcontroladores Atmel, mientras que los registros de control y puerto pueden ser diferentes en cada tipo de microcontrolador.

Es mucho más fácil causar fallos no intencionales con acceso directo al puerto. Observe cómo la línea `DDRD = B11111110`. Arriba menciona que debe dejar el pin 0 como un pin de entrada. Pin 0 es la línea de recepción (RX) en el puerto serie. Sería muy fácil causar accidentalmente que su puerto serie dejara de funcionar cambiando el pin 0 en un pin de salida. Ahora, sería muy confuso cuando de repente no son capaces de recibir datos en serie.

Así que podría estar diciendo a sí mismo, genial, ¿por qué alguna vez quiero usar estas cosas entonces? Estos son algunos de los aspectos positivos del acceso directo al puerto:

Es posible que necesite poder activar y desactivar los pines muy rápidamente, es decir, dentro de fracciones de un microsegundo. Si observa el código fuente en `lib / targets / arduino / wiring.c`, verá que `digitalRead ()` y `digitalWrite ()` son cada una alrededor de una docena de líneas de código, que se compilan en bastantes instrucciones de máquina. Cada instrucción de la máquina requiere un ciclo del reloj en 16MHz, que puede agregar para arriba en aplicaciones tiempo-sensibles. El acceso directo al puerto puede hacer el mismo trabajo en mucho menos ciclos de reloj.

A veces es posible que necesite establecer múltiples pines de salida exactamente al mismo tiempo. Llamada `digitalWrite (10, ALTO)`; Seguido por `digitalWrite (11, ALTO)`; Hará que el pin 10 pase a HIGH varios microsegundos antes del pin 11, lo cual puede confundir ciertos circuitos digitales externos sensibles al tiempo que ha

conectado. Alternativamente, podría establecer ambos pines en el mismo momento en el tiempo usando `PORTB |= B1100;`

Si se está agotando la memoria del programa, puede utilizar estos trucos para hacer que su código sea más pequeño. Requiere mucho menos bytes de código compilado para escribir simultáneamente muchas clavijas de hardware simultáneamente, a través de los registros de puerto que usaría un bucle for para configurar cada pin por separado. En algunos casos, esto podría hacer la diferencia entre su programa de adaptación en la memoria flash o no. (Arduino, Arduino cc, 2017)

#### 2.1.10 Pantalla TS8006

Los paneles TS8000 HMI tienen pantallas de 3 "-15" y ofrecen la mayoría de las características típicamente disponibles en los sistemas SCADA basados en PC. Disponibles con una amplia gama de opciones de bus de campo, también pueden funcionar como un puente entre dispositivos que de otro modo no podrían comunicarse

El TS8000 es un panel de operador gráfico de alto rendimiento con muchas funciones incorporadas. Disponible en cinco tamaños de pantalla, de 3.2 "a 15", el TS8000 ofrece la mayoría de las características típicamente disponibles en los sistemas SCADA basados en PC. El TS8000 HMI puede comunicarse con hardware diferente a través de puertos Ethernet 10/100 Base-T y puertos de comunicación serie RS232 / 485 de alta velocidad. Además, el panel de operador TS8000 cuenta con un puerto USB para la descarga rápida de archivos de configuración y acceso a datos de tendencias almacenados. También incluye una ranura para acomodar una tarjeta CompactFlash, para almacenar datos de proceso y ampliar la memoria disponible para los archivos de configuración. A diferencia de las unidades competitivas similares, el software de programación para el TS8000 es una descarga gratuita - este software funciona con todas las

unidades TS8000 y características fáciles de usar arrastrar y soltar la cartografía de datos. Contiene un potente conjunto de herramientas de configuración, visualización, control y registro de datos basadas en íconos, diseñadas exclusivamente para aprovechar al máximo la arquitectura de la serie TS8000. Para entornos difíciles en los que la abrasión de la superficie de la pantalla es una preocupación, hay capas protectoras transparentes para la pantalla TS8000. Disponible para los cinco tamaños de TS8000, las capas se empaquetan en paquetes de 10. Mediante el uso de un adhesivo de baja adherencia pre-aplicado, la aplicación y la eliminación de la superposición es rápida y fácil.

Además de las comunicaciones de a bordo estándar proporcionadas con el TS8000 (RS232, RS485 y Ethernet), Parker también ofrece tarjetas de comunicación opcionales, permitiendo una conectividad e integración aún mayores del TS8000 en muchas redes de comunicación de bus de campo populares como CANopen, DeviceNet, FireWire, Link y Profibus-DP. La conversión de protocolo integrada también permite al TS8000 conectar entre dispositivos que de otro modo no podrían comunicarse directamente entre sí.

#### Características:

- Interfaz gráfica multilingüe.
- Protección NEMA 4X.
- Cinco tamaños de pantalla - 3.2 "a 15".
- Biblioteca de símbolos integrada de objetos comunes.
- Servidor web integrado / Panel virtual.
- Lenguaje de script incorporado "C-based".
- Compatibilidad con CompactFlash.
- Conversión automática de protocolos múltiples integrada.
- Cinco puertos de comunicaciones.
- Software de programación gratuito.

Especificaciones técnicas:

Especificaciones del Display:

TS8003: 3.2 "Pantalla FSTN / 2 colores / 128 x 64 píxeles.

TS8006: Pantalla TFT de 5.7 " / 256 colores QVGA / 320 x 240 píxeles.

TS8008: Pantalla TFT de 7,7 " / 256 colores VGA / 640 x 480 píxeles.

TS8010: Pantalla TFT de 10,4 " / 256 colores VGA / 640 x 480 píxeles.

TS8015: Pantalla TFT de 15 " / 32k color XGA / 1024 x 768 píxeles.

Requerimientos de energía:

+ 24vdc (+/- 20%)

9.5W máximo (TS8003) / 14W máximo (TS8006) / 24W máximo (TS8008),  
33W máximo (TS8010) / 67W máximo (TS8015)

Batería:

Litio CR2025 "botón" de celdas. Vida típica de 10 años.

Teclado:

TS8003: 8 teclas asignables por el usuario, 5 teclas de navegación, 12 teclas numéricas, 4 teclas dedicadas y 3 teclas programables.

TS8006: 5 teclas para menús en pantalla.

TS8008: 7 teclas para menús en pantalla.

TS8010: 8 teclas para menús en pantalla.

TS8015: 10 teclas para los menús en pantalla.

Pantalla táctil:

Tipo análogo resistivo (TS8006, TS8008, TS8010, TS8015).

Memoria:

Usuario: 4Mb (TS8003, TS8006), 8Mb (TS8008, TS8010), 32Mb (TS8015) de

memoria flash no volátil incorporada.

Tarjeta de memoria:

Ranura CompactFlash Tipo II para tarjetas CF Tipo I y Tipo II.

Comunicaciones:

Puerto USB: Se adhiere a la especificación USB 1.1. Dispositivo que sólo utiliza la conexión de tipo B.

Puertos serie: El formato y las velocidades de transmisión son programables individualmente hasta 115.2kb.

Puerto PGM: Puerto RS-232 a través de RJ-12.

Puertos COMMS: Puerto RS-232 a través de RJ-12. Puerto RS-422/485 vía RJ-45.

DH485 TxEn: habilitación de transmisión; Colector abierto,  $V_{oh} = 15\text{vdc}$ ,  $V_{ol} = 0.5\text{vdc}$  @ 25mA máx.

Puerto Ethernet: 10/100 base-T. El conector RJ-45 está cableado como NIC.  
Tarjetas de interfaz de bus de campo opcionales: CANopen, DeviceNet, FireWire, Link y Profibus-DP

Condiciones ambientales:

Rango de temperatura de funcionamiento: 0 a 50 grados C.

Rango de temperatura de almacenamiento: -20 a 70 grados C. (TS8003, TS8006, TS8015) o 80 grados C. (TS8008, TS8010).

Humedad de funcionamiento y almacenamiento: 80% de humedad relativa máxima (sin condensación) de 0 a 50°C.

Altitud: Hasta 2000 metros.

Construcción:

Cuerpo metálico de acero trasero con placa frontal de aluminio NEMA 4X / IP66 cuando está correctamente montado con la junta suministrada. Categoría de instalación II, Grado de contaminación 2.

#### Requisitos de montaje:

El grosor máximo del panel es de 0,25 pulgadas (6,3 mm). Para el sellado de NEMA 4X / IP66, se recomienda un panel de acero con un espesor mínimo de 0.125 pulgadas (3.17 mm).

Consulte la guía "Introducción TS8000" (HA421056U001) para conocer las especificaciones de corte.

#### Peso:

TS8003: 0,96 kg (1,96 libras)

TS8006: 1,00 kg (1,36 kg)

TS8008: 3.84 libras (1.74 kg)

TS8010: 2,53 kg (5,53 libras)

TS8015: 11,41 libras (5,17 kg)

#### Certificaciones:

IEC1010-1, - EN61010-1

EN61326

EN61000-4-2 Criterio A 4kV contacto xchrg, 8kV aire xchrg

EN61000-4-6 Criterio B 3V / rms

EN61000-4-3 Criterio B 10V / m

EN61000-4-4 Criterio B Potencia y señal de 2 kV

EN61000-4-5 Criterio A Potencia 1kV L-L, 2kV L & N-E

EN55011 Clase A Marcado

Marcado CE

Herramienta de programación de software: El software Parker DSI8000 - incluido con cada TS8000 - proporciona una multitud de funciones exclusivas. Su sofisticación también hace que toda la capacidad de vanguardia del TS8000 sea manejable, con el uso fácil de arrastrar y soltar la cartografía de datos. DSI8000 funciona con todas las HMI del TS8000. La configuración inicial de DSI8000 es muy fácil y prácticamente autoexplicativa. DSI8000 es un poderoso conjunto de herramientas basadas en iconos, configuración, visualización, control y registro de

datos diseñadas exclusivamente para aprovechar al máximo la arquitectura de la serie TS8000. La mayoría de las aplicaciones se pueden configurar rápidamente mediante el proceso paso a paso para configurar protocolos de comunicaciones, definir etiquetas de datos y crear una interfaz fácil de usar. Unos complementos completos de símbolos gráficos de arrastrar y soltar producen resultados profesionales en tiempo récord. Las funciones avanzadas como la programación, el registro de datos y la configuración del servidor web interno del TS8000 son intuitivas y fácilmente habilitables. (Parker, s.f.)

#### 2.1.11 Ethernet

Ethernet es un estándar de redes de área local para computadores con acceso al medio por detección de la onda portadora y con detección de colisiones (CSMA/CD). Su nombre viene del concepto físico de *ether*. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

Ethernet se tomó como base para la redacción del estándar internacional IEEE 802.3, siendo usualmente tomados como sinónimos. Se diferencian en uno de los campos de la trama de datos. Sin embargo, las tramas Ethernet e IEEE 802.3 pueden coexistir en la misma red. (Fundacion Wikipedia Inc, 2016)

#### 2.1.12 Modbus

##### Visión General

Modbus es un protocolo industrial que fue desarrollado en 1979 para hacer posible la comunicación entre dispositivos de automatización. Originalmente

implementado como un protocolo al nivel de la aplicación con la finalidad de transferir datos por una capa serial. Modbus se ha expandido para incluir implementaciones a través de protocolo serial, TCP/IP y el User Datagram Protocol (UDP). Este documento ofrece una perspectiva detallada de la implementación del protocolo.

¿Qué es el protocolo Modbus?

Modbus es un protocolo de solicitud-respuesta implementado usando una relación maestro-esclavo. En una relación maestro-esclavo, la comunicación siempre se produce en pares, un dispositivo debe iniciar una solicitud y luego esperar una respuesta y el dispositivo de inicio (el maestro) es responsable de iniciar cada interacción. Por lo general, el maestro es una interfaz humano-máquina (HMI) o sistema SCADA y el esclavo es un sensor, controlador lógico programable (PLC) o controlador de automatización programable (PAC). El contenido de estas solicitudes y respuestas, y las capas de la red a través de las cuales se envían estos mensajes, son definidas por las diferentes capas del protocolo.

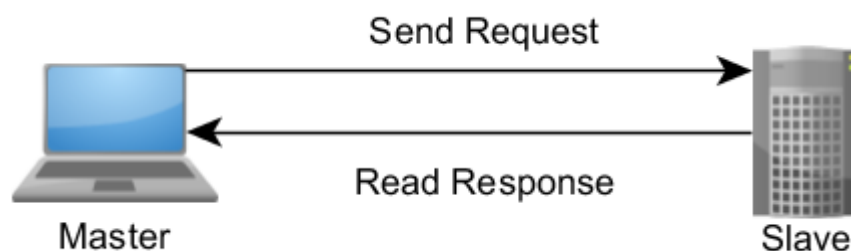


Figura 19. Una relación maestro esclavo.

Fuente: [www.ni.com](http://www.ni.com)

## Capas del Protocolo modbus

En la implementación inicial, Modbus era un solo protocolo construido en base a serial, por lo que no podía ser dividida en múltiples capas. Con el tiempo, diferentes unidades de datos de aplicación fueron introducidas ya sea para cambiar el formato del paquete utilizado a través de serial o para permitir el uso de redes TCP/IP y UDP (User Datagram Protocol). Esto llevó a una separación del protocolo principal, el cual define la unidad de datos de protocolo (PDU) y la capa de red, que define la unidad de datos de aplicación (ADU).

### Unidad de Datos de Protocolo

La PDU y el código que la maneja consiste en el núcleo de la Especificación del Protocolo de Aplicación Modbus. Esta especificación define el formato de la PDU, los diversos conceptos de datos utilizados por el protocolo, el uso de los códigos de función para tener acceso a esos datos y la implementación específica y restricciones de cada código de función.

El formato de Modbus PDU está definido como un código de función seguido por un conjunto de datos asociado. El tamaño y el contenido de estos datos son definidos por el código de función y la PDU completa (código de función y datos) no puede exceder de 253 bytes de tamaño. Cada código de función tiene un comportamiento específico que los esclavos pueden implementar de manera flexible en base al comportamiento de la aplicación deseada. La especificación de la PDU define conceptos básicos para el acceso y manipulación de datos; sin embargo, un esclavo puede manejar datos de una manera no definida explícitamente en la especificación.

### Acceso de Datos en Modbus y el Modelo de Datos de Modbus

Los datos disponibles por medio de Modbus son almacenados, en general, en uno de los cuatro bancos de datos o rangos de dirección: bobinas, entradas discretas,

registros de retención y registros de entrada. Al igual que con gran parte de la especificación, los nombres pueden variar dependiendo de la industria o de la aplicación. Por ejemplo, los registros de retención pueden denominarse como *registros de salida* y las bobinas pueden denominarse como *salidas digitales o discretas*. Estos bancos de datos definen el tipo y los derechos de acceso de los datos contenidos. Los dispositivos esclavos tienen acceso directo a estos datos, los cuales son alojados localmente en los dispositivos. Los datos disponibles por medio de Modbus generalmente son un subconjunto de la memoria principal del dispositivo. En contraste, los maestros Modbus deben solicitar el acceso a estos datos a través de diversos códigos de función. El comportamiento de cada bloque se describe en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Bloque de modelo de Datos de Modbus

Bloque de Memoria	Tipo de Datos	Acceso de Maestro	Acceso de Esclavo
Bobinas	Booleano	Lectura/Escritura	Lectura/Escritura
Entradas Discretas	Booleano	Solo Lectura	Lectura/Escritura
Registros de Retención	Palabra Sin Signo	Lectura/Escritura	Lectura/Escritura
Registros de Entrada	Palabra Sin Signo	Solo Lectura	Lectura/Escritura

Fuente: [www.ni.com](http://www.ni.com)

Estos bloques le brindan la habilidad de restringir o permitir el acceso a los diferentes elementos de datos y también de proporcionar mecanismos simplificados en la capa de aplicación para tener acceso a diferentes tipos de datos.

Los bloques son completamente conceptuales. Pueden existir como direcciones de memoria separadas en un sistema determinado, pero también pueden traslaparse. Por ejemplo, la bobina uno puede existir en la misma ubicación en

memoria como el primer bit de la palabra representada por el registro de retención uno. El esquema de dirección se define completamente por el dispositivo esclavo y su interpretación de cada bloque de memoria es una parte importante del modelo de datos del dispositivo.

#### Dirección de Modelo de Datos

La especificación define que cada bloque contiene un espacio de dirección de un máximo de 65,536 ( $2^{16}$ ) elementos. Dentro de la definición de la PDU, Modbus define la dirección de cada elemento de datos que va desde 0 a 65,535. Sin embargo, cada elemento de datos está numerado de 1 a  $n$ , donde  $n$  tiene un valor máximo de 65,536. Es decir, la bobina 1 está en el bloque de bobina en la dirección 0, mientras que el registro de retención 54 está en la dirección 53 de la sección de la memoria que el esclavo ha definido como registros de retención.

No se requiere que los rangos completos permitidos por la especificación sean implementados por un determinado dispositivo. Por ejemplo, un dispositivo puede optar por no implementar bobinas, entradas discretas o registros de entrada y en su lugar solamente usar los registros de retención 150 al 175 y 200 al 225. Esto es perfectamente aceptable y los intentos de acceso no válidos pueden manejarse a través de excepciones.

#### Rangos de Dirección de Datos

Aunque la especificación define los diferentes tipos de datos que existen en diferentes bloques y asigna un rango de dirección local para cada tipo, esto no se traduce necesariamente en un esquema intuitivo de dirección para fines de documentación o para comprender la memoria disponible a través de Modbus de un dispositivo determinado. Para simplificar la discusión de ubicaciones del bloque de memoria, se introdujo un esquema de numeración, el cual añade prefijos a la dirección de los datos en cuestión.

Por ejemplo, en lugar de referir a un elemento como registro de retención 14 en la dirección 13, un manual de dispositivo se referiría a un elemento de datos en la

dirección 4,014, 40,014 o 400,014. En cada caso, el primer número especificado es 4 para representar registros de retención y la dirección es especificada usando los números restantes. La diferencia entre 4XXX, 4XXXX y 4XXXXX depende del espacio de dirección usado por el dispositivo. Si todos los 65,536 registros están en uso, la anotación 4XXXXX debe ser usada, ya que permite un rango de 400,001 a 465,536. Si solamente algunos registros son usados, una práctica común es usar el rango de 4,001 al 4,999.

En este esquema de dirección, a cada tipo de datos se le asigna un prefijo como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Prefijos de Rangos de Datos

Bloque de Datos	Prefijo
Bobinas	0
Entradas Discretas	1
Registros de Entrada	3
Registros de Retención	4

Fuente: [www.ni.com](http://www.ni.com)

Existen bobinas con un prefijo 0. Esto significa que una referencia de 4001 podría referirse al registro de retención uno o bobina de 4001. Por esta razón, se recomienda que todas las nuevas implementaciones usen dirección de 6 dígitos con ceros a la izquierda y se especifique esto en la documentación. Por lo tanto, el registro de retención uno es referenciado como 400,001 y la bobina de 4001 es referenciada como 004,001.

## Valores de Inicio de Dirección de Datos

La diferencia entre las direcciones de memoria y los números de referencia es aún más complicada por el índice seleccionado por una aplicación determinada. Como se mencionó anteriormente, el registro de retención uno está en la dirección cero. Típicamente, los números de referencia son indexados en base a uno, lo que significa que el valor de inicio de un intervalo determinado es uno. Por lo tanto, 400,001 se traduce literalmente al registro de retención 00001, el cual está en la dirección 0. Algunas implementaciones eligen iniciar sus rangos en cero, lo que significa que 400,000 se traduce en el registro de detención en la dirección cero. La Tabla 6 muestra este concepto.

**Tabla 6.** Esquemas de Índice de Registros

Dirección	Número de Registro	Número (índice 1, estándar)	Número (índice 0, alternativo)
0	1	400001	400000
1	2	400002	400001
2	3	400003	400002

Fuente: [www.ni.com](http://www.ni.com)

Los rangos indexados a 1 son comunes y altamente recomendados. En cualquier caso, el valor de inicio para cada rango debe ser anotado en la documentación.

## Tipos de Datos Grandes

El estándar Modbus proporciona un modelo de datos relativamente simple que no incluye los tipos de datos adicionales fuera de una palabra sin signo y valor de bit. Aunque esto es suficiente para algunos sistemas, donde los valores de bits corresponden a los solenoides y relés y los valores de palabra corresponden a los

valores de ADC sin escalar, no es suficiente para los sistemas más avanzados. Como resultado, muchas implementaciones Modbus incluyen tipos de datos que cruzan los límites de registros. El Módulo NI LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (DSC) y KEPServerEX definen un número de tipos de referencia. Por ejemplo, las secuencias almacenadas en un registro de retención siguen la forma estándar (400,001) pero son seguidas de un decimal, la longitud y el orden de bytes de la secuencia (400,001.2H, una secuencia de dos caracteres en el registro de retención donde el byte alto corresponde al primer carácter de la secuencia). Esto es necesario debido a que cada solicitud tiene un tamaño limitado, por lo que un maestro Modbus debe conocer los límites exactos de la secuencia en lugar de buscar una longitud o delimitador como NULL.

#### Acceso a Bits

Además de permitir el acceso a los datos que cruza un límite de registro, algunos maestros Modbus soportan referencias para bits individuales dentro de un registro. Esto es benéfico pues permite que los dispositivos combinen datos de cada tipo en el mismo rango de memoria sin tener que dividir los datos binarios en entre bobinas y rangos de entrada discretos. Esto normalmente es referenciado como un punto decimal y el índice de bits o número, dependiendo de la implementación. Es decir, el primer bit en el primer registro puede ser 400,001.00 o 400,001.01. Se recomienda que toda documentación especifique el esquema de índice utilizado.

#### Endianness de Datos

Los datos de múltiples registros, como el valor de punto flotante de precisión simple, pueden ser transferidos fácilmente en Modbus al dividir los datos en dos registros. Esto no está definido por el estándar; el endianness (u orden de bytes) de esta división no está definida. Aunque cada palabra no signada debe ser enviada en orden de byte de la red (big-endian) para cumplir con el estándar, varios dispositivos invierten el orden de bytes para datos de múltiples bytes. La Figura 20 muestra un ejemplo inusual pero válido sobre esto.

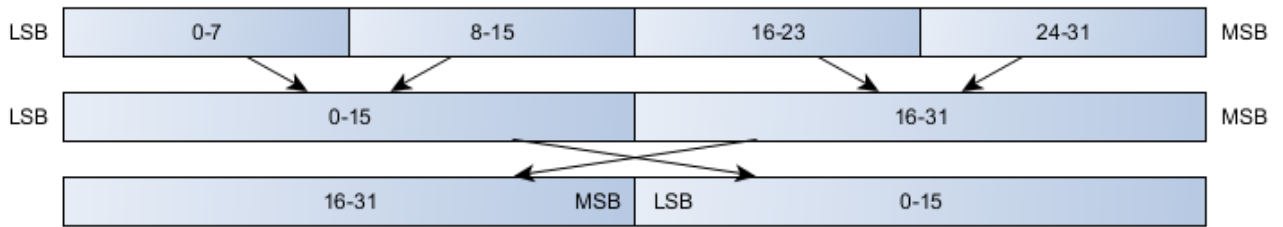


Figura 20. Intercambio de Orden de Bytes para Datos de Múltiples Palabras.

Fuente: [www.ni.com](http://www.ni.com)

Depende del maestro comprender cómo el esclavo está almacenando información en la memoria y decodificarlo correctamente. Se recomienda que la documentación refleje el orden de las palabras utilizadas por el sistema. El orden de bytes también puede ser añadido como una opción de configuración del sistema, con funciones de codificación y decodificación fundamentales, si se requiere flexibilidad en la implementación.

### Strings

Los strings pueden ser fácilmente almacenados en registros de Modbus. Para simplificar, algunas implementaciones requieren que las longitudes de los strings sean múltiplos de dos, con cualquier espacio adicional llenado con valores nulos. El orden de los bytes también es una variable en las interacciones de los strings. El formato del string puede o no incluir un NULL como el valor final. Como ejemplo de esta variabilidad, algunos dispositivos pueden almacenar los datos como se muestra en la Figura 21.

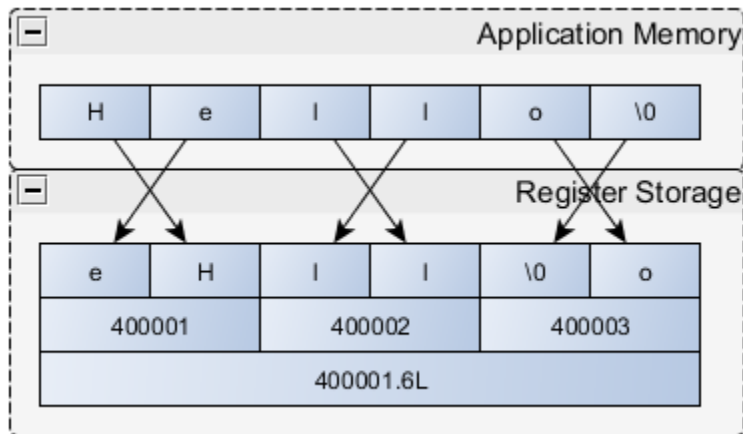


Figura 21. Reversión de Orden de Bytes en secuencias de Modbus  
Fuente: www.ni.com

### Comprender Códigos de Función

En contraste con el modelo de datos que puede variar considerablemente de un dispositivo a otro, los códigos de función y sus datos son definidos explícitamente por el estándar. Cada función sigue un patrón. Primero, el esclavo valida entradas como el código de función, dirección de datos y el rango de datos. Después, ejecuta la acción solicitada y envía una respuesta adecuada al código. Si cualquier paso en este proceso falla, se regresa una excepción al solicitante. El transporte de datos para estas solicitudes es la PDU.

### La PDU de Modbus

La PDU consta de un código de función de un byte seguido de hasta 252 bytes de datos de funciones específicas.

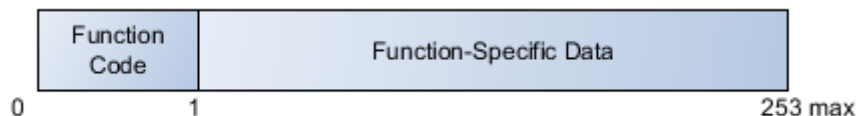


Figura 22. La PDU de Modbus.  
Fuente: www.ni.com

El código de función es el primer elemento que será validado. Si el código de función no es reconocido por el dispositivo que recibe la solicitud, responde con una excepción. Si se acepta el código de función, el dispositivo esclavo comienza a descomponer los datos de acuerdo con la definición de la función.

Debido a que el tamaño del paquete está limitado a 253 bytes, los dispositivos están limitados a la cantidad de datos que pueden ser transferidos. Los códigos de función más comunes pueden transferir entre 240 y 250 bytes de datos del modelo de datos de esclavos, dependiendo del código.

### Ejecución de Funciones del Esclavo

Según lo define el modelo de datos, diferentes funciones son definidas para tener acceso a diferentes bloques conceptuales de datos. Una implementación común es que los códigos tengan acceso a las ubicaciones estáticas de la memoria, pero otros comportamientos están disponibles. Por ejemplo, el código de función 1 (leer bobinas) y el 3 (leer registros de retención) pueden tener acceso a la misma ubicación física en la memoria. Por el contrario, el código de función 3 (leer registros de retención) y el 16 (escribir a registros de retención) tienen acceso a ubicaciones completamente diferentes en la memoria. Por lo tanto, la ejecución de cada código de función mejor es considerada como parte de la definición del modelo de datos del esclavo.

Independientemente del comportamiento realizado, se espera que todos los dispositivos esclavos sigan un diagrama de estado simple para cada solicitud. La Figura 23 muestra un ejemplo de esto para el código 1, que lee bobinas.

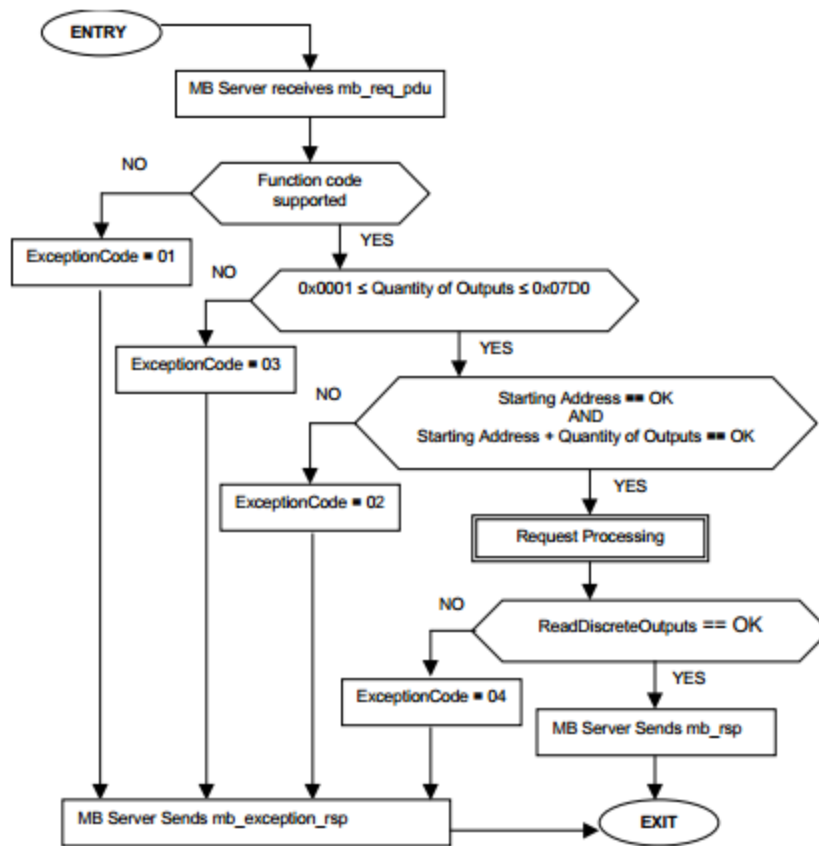


Figura 23. Leer Diagrama de Estado de Bobinas.

Fuente: [www.ni.com](http://www.ni.com)

Cada esclavo debe validar el código de función, el número de entradas, la dirección de inicio, el rango total y la ejecución de la función definida por el esclavo que realiza la lectura.

Aunque los rangos de dirección estática se muestran en el diagrama de estado de arriba, las necesidades de los sistemas del mundo real pueden causar que estos varíen un poco en los números definidos. En algunos casos, los dispositivos esclavos no pueden transferir el número máximo de bytes definido por el protocolo. Es decir, en lugar de permitir que un maestro solicite entradas 0x07D0, únicamente puede responder con 0x0400. De forma similar, un modelo de datos esclavo puede definir el rango de valores aceptables de bobina como las direcciones de 0 a 500. Si un maestro hace una solicitud para 125 iniciando en la

dirección 0, esto está bien, pero si un maestro hace la misma solicitud iniciando en la dirección 400, la bobina final estará en la dirección 525, la cual está fuera del rango para este dispositivo y resultaría en la excepción 02 como lo define el diagrama de estado.

### Códigos de Función Estándares

La definición de cada código de función estándar está en la especificación. Incluso para los códigos de función más comunes, existen discrepancias inevitables entre las funciones habilitadas en el maestro y lo que el esclavo puede manejar. Para solucionar esto, las versiones anteriores de la especificación Modbus TCP definen tres clases de conformidad. La Especificación de Pruebas de Compatibilidad Modbus oficial no hace referencia a estas clases y en su lugar define la compatibilidad en cada función; sin embargo, puede ser conveniente para comprenderlo. Se recomienda que cualquier documento siga la especificación de pruebas y determine su compatibilidad con los códigos que soportan, en lugar de con las clasificaciones de legado.

### Códigos Clase 0

Los códigos Clase 0 generalmente son considerados el mínimo para un dispositivo Modbus útil, ya que dan a un maestro la habilidad de leer o escribir en el modelo de datos.

**Tabla 7.** Compatibilidad con códigos Clase 0

Código	Descripción
3	Leer Múltiples Registros
16	Escribir a Múltiples Registros

Fuente: [www.ni.com](http://www.ni.com)

## Códigos Clase 1

Los códigos de función Clase 1 consisten en los otros códigos necesarios para tener acceso a todos los tipos del modelo de datos. En la definición original, esta lista incluye el código de función 7 (leer excepción). Sin embargo, este código es definido por la especificación actual como uno para serial únicamente.

**Tabla 8.** Compatibilidad con códigos Clase 1

Código	Descripción
1	Leer Bobinas
2	Leer Entradas Discretas
4	Leer Registros de Entrada
5	Escribir a Bobina Individual
6	Escribir a Registro Individual
7	Leer Estado de Excepción (únicamente serial)

Fuente: [www.ni.com](http://www.ni.com)

## Códigos Clase 2

Los códigos de función Clase 2 son funciones más especializadas implementadas con menos frecuencia. Por ejemplo, Leer/Escribir Múltiples Registros puede ayudar a reducir el número total de ciclos de solicitud-respuesta, pero el comportamiento aún puede ser implementado con códigos Clase 0.

**Tabla 9.** Compatibilidad con códigos clase 2

Descripción	de Código
15	Escribir a Múltiples Bobinas
20	Leer Registro de Archivo
21	Escribir a Registro de Archivo
22	Escribir a Registro con Máscara
23	Leer/Escribir Múltiples Registros
24	Leer FIFO

Fuente: [www.ni.com](http://www.ni.com)

#### Interfaz Modbus Encapsulada

El código de Interfaz Modbus Encapsulada (MEI), función 43, es usado para encapsular otros datos en un paquete Modbus. En la actualidad, dos números MEI están disponibles, 13 (CANopen) y 14 (identificación de dispositivos).

La Función 43/14 (identificación de dispositivos) es útil, pues permite la transferencia de hasta 256 objetos únicos. Algunos de estos objetos son predefinidos y reservados, como el nombre del proveedor y el código de producto, pero las aplicaciones pueden definir otros objetos a transferir como conjuntos de datos genéricos.

Este código no es implementado comúnmente.

#### Excepciones

Los esclavos utilizan excepciones para indicar un número de condiciones de error, desde una solicitud malformada hasta entradas incorrectas. Sin embargo, las excepciones también se pueden generar como una respuesta a nivel de la aplicación para una solicitud válida. Los esclavos no responden a las solicitudes

emitidas con una excepción. En cambio, el esclavo ignora solicitudes incompletas o alteradas y comienza a esperar un nuevo mensaje entrante.

Las excepciones son reportadas en un formato de paquete definido. Primero, un código de función se regresa al maestro que solicita igual al código de función original, excepto con su conjunto de bits más significativo. Esto es equivalente a añadir 0x80 al valor del código de función original. En lugar de los datos normales asociados con una respuesta de función determinada, las respuestas de excepción incluyen un solo código de excepción.

Dentro del estándar, los cuatro códigos de excepción más comunes son 01, 02, 03 y 04. Estos se muestran en la Tabla 10 con significados estándares para cada función.

**Tabla 10.** Códigos de excepción de Modbus comunes

Código de Excepción	Significado
01	El código de función recibido no está soportado. Para confirmar el código de función original, restar 0x80 del valor devuelto.
02	La solicitud intentó tener acceso a una dirección no válida. En el estándar, esto puede ocurrir únicamente si la dirección de inicio y el número solicitado de valores excede $2^{16}$ . Sin embargo, algunos dispositivos pueden limitar este espacio de dirección en su modelo de datos.

03	La solicitud tenía datos incorrectos. En algunos casos, esto significa que había una discrepancia de parámetros; por ejemplo, entre el número de registros enviados y el campo "cantidad de bytes". Normalmente, el maestro solicitó más datos de lo que permite, ya sea el esclavo o el protocolo. Por ejemplo, un maestro puede leer solamente 125 registros de detención a la vez y los dispositivos con recursos limitados pueden delimitar este valor a incluso menos registros.
04	Se ha producido un error irrecuperable al intentar procesar la solicitud. Este es un código de excepción general que indica que la solicitud era válida, pero el esclavo no podía ejecutarla.

Fuente: [www.ni.com](http://www.ni.com)

El diagrama de estado para cada código de función debe cubrir al menos el código de excepción 01 y por lo general incluye los códigos de excepción 04, 02, 03; cualquier otro código de excepción definido es opcional.

#### Unidad de Datos de Aplicación

Además de la funcionalidad definida en la PDU principal del protocolo Modbus, se pueden usar varios protocolos de red. Los protocolos más comunes son serial y TCP/IP, pero se pueden usar otros como UDP también. Para transmitir los datos necesarios para Modbus a través de estas capas, Modbus incluye un conjunto de variantes ADU diseñadas para cada protocolo de red.

#### Características Comunes

Modbus requiere ciertas características para proporcionar una comunicación confiable. El No. de Unidad o de Dirección es usado en cada formato de ADU para proporcionar información de enrutado a la capa de la aplicación. Cada ADU se

vende con una PDU completa, la cual incluye el código de función y los datos asociados para una solicitud determinada. Para mayor fiabilidad, cada mensaje incluye la información de comprobación de errores. Finalmente, todas las ADUs proporcionan un mecanismo para determinar el comienzo y el final de un marco de solicitud, pero los implementa de manera diferente.

### Formatos Estándares

Los tres formatos ADU estándares son TCP, unidad terminal remota (RTU), y ASCII. RTU y ASCII ADUs normalmente son usados a través de una línea serial, mientras que el TCP es usado a través de redes TCP/IP o UDP/IP modernas.

### TCP/IP

Las ADUs de TCP consisten en el Encabezado de Protocolo de Aplicación Modbus (MBAP) combinado con la PDU de Modbus. El MBAP es un encabezado de uso general que depende de una capa de red confiable. El formato de esta ADU, incluyendo el encabezado, se muestra en la Figura 24.



Figura 24. La ADU de TCP/IP.

Fuente: [www.ni.com](http://www.ni.com)

Los campos de datos del encabezado indican su uso. Primero, incluye un identificador de transacción. Esto es valioso en una red en la que se pueden soportar múltiples solicitudes simultáneamente. Es decir, un maestro puede enviar solicitudes 1, 2, y 3. En algún punto, un esclavo puede responder en el orden 2, 1, 3, y el maestro puede igualar las solicitudes con las respuestas y analizar los datos con precisión. Esto es útil para redes Ethernet.

El identificador de protocolo es normalmente cero, pero puede utilizarse para ampliar el comportamiento del protocolo. El campo de longitud es usado por el protocolo para delinear la longitud del resto del paquete. La ubicación de este elemento también indica la dependencia de este formato encabezado en una capa de red confiable. Debido a que los paquetes TCP tienen verificación de errores integrada y garantizan la coherencia de los datos y la entrega, la longitud del paquete puede ser ubicado en cualquier parte del encabezado. En una red inherentemente menos confiable como una serial, un paquete podría perderse, con el efecto de que incluso si la escritura de datos leída por la aplicación incluía información válida de transacción y del protocolo, la información de longitud alterada volvería inválido al encabezado. TCP proporciona una cantidad razonable de protección contra esta situación.

El ID de Unidad generalmente no es usado por los dispositivos TCP/IP. Sin embargo, Modbus es un protocolo común en el que se implementan muchos gateways, lo cual convierte al protocolo Modbus en otro protocolo. En el caso original de uso, un gateway Modbus TCP/IP a serial podría ser usado para permitir la conexión entre las nuevas redes TCP/IP y redes seriales anteriores. En dicho entorno, el ID de Unidad es usado para determinar la dirección del dispositivo esclavo para la que la PDU está destinada.

Finalmente, la ADU incluye una PDU. La longitud de esta PDU está aún limitada a 253 bytes para el protocolo estándar.

## RTU

La ADU de RTU parece ser mucho más simple, como se muestra en la Figura 25.

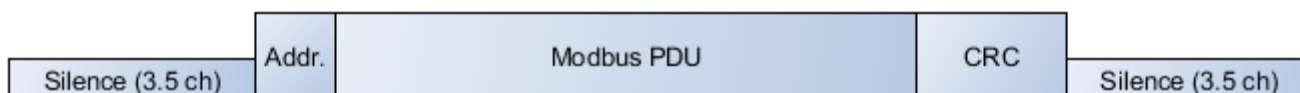


Figura 25. La ADU de RTU.

Fuente: [www.ni.com](http://www.ni.com)

A diferencia de la ADU de TCP/IP más compleja, esta ADU incluye solamente dos piezas de información, además de la PDU principal. Primero, una dirección es usada para definir para qué esclavo está diseñada una PDU. En la mayoría de las redes, una dirección 0 define la dirección de "broadcast". Es decir, un maestro puede enviar un comando de salida a la dirección 0 y todos los esclavos deben procesar la solicitud, pero ningún esclavo debe responder. Además de esta dirección, un CRC es usado para asegurar la integridad de los datos.

Sin embargo, la realidad es que la situación en las implementaciones más modernas está lejos de ser simple. Encapsulando el paquete hay un par de tiempos en silencio; es decir, periodos en los que no hay comunicación en el bus. Para una velocidad de transferencia de 9,600, este tiempo es alrededor de 4 ms. El estándar define una longitud mínima de silencio, independientemente de la velocidad de transferencia, de un poco menos de 2 ms.

Primero, esto tiene un inconveniente de rendimiento pues el dispositivo debe esperar a que el tiempo muerto se cumpla antes de que el paquete pueda ser procesado. Más peligrosa aún, sin embargo, es la introducción de diferentes tecnologías usadas para transferencia serial y velocidades de transferencia mucho más rápidas que cuando se introdujo el estándar. Con un cable convertidor de USB a serial, por ejemplo, no se tiene ningún control sobre el paquete y la transferencia de datos. Las pruebas muestran que usar un cable de USB a serial con el controlador NI-VISA introduce grandes intervalos de tamaño variable en el flujo de datos y estos intervalos, períodos de silencio, engañan al código compatible con la especificación al creer que un mensaje se ha completado. Debido a que el mensaje no es completado, esto, por lo general, conduce a un CRC no válido y al dispositivo que interpreta la ADU como alterada.

Además de los problemas con la transmisión, las tecnologías modernas de controlador abstraen comunicación serial significativa y generalmente requieren un mecanismo de consulta desde el código de la aplicación. Por ejemplo, ni el .NET Framework 4.5 SerialPort Class ni el controlador NI-VISA proporcionan un mecanismo para detectar silencio sobre una línea serial, excepto al consultar los bytes en el puerto. Esto resulta en una escala de bajo rendimiento (si la consulta es realizada demasiado lento) o alto uso del CPU (si la consulta es realizada demasiado rápido).

Un método común para resolver estos problemas es romper la capa de abstracción entre la PDU de Modbus y la capa de red. Es decir, el código serial interroga el paquete de la PDU de Modbus para determinar el código de función. Combinado con otros datos en el paquete, la longitud del paquete restante puede ser descubierta y usada para determinar el final del paquete. Con esta información, puede usarse un descanso mucho más largo, lo cual permite silencios de transmisión y puede ocurrir consulta a nivel de la aplicación mucho más lentamente. Se recomienda utilizar este mecanismo para un nuevo desarrollo. El código que no emplea esto puede experimentar un número mayor de paquetes "alterados" de lo esperado.

## ASCII

La ADU de ASCII es más compleja que la de RTU como se muestra en la Figura 26; también evita muchos de los problemas del paquete RTU. Sin embargo, tiene algunas de sus propias desventajas.

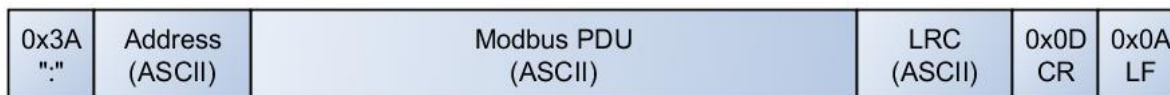


Figura 26. La ADU de ASCII.

Fuente: [www.ni.com](http://www.ni.com)

Al resolver el problema de determinar el tamaño del paquete, la ADU de ASCII tiene un inicio y final bien definido y único para cada uno de ellos. Es decir, cada paquete comienza con ":" y termina con un regreso de carro (CR) y alimentación de línea (LF). Además, los APIs seriales como NI-VISA y el .NET Framework SerialPort Class pueden leer datos fácilmente en un búfer hasta que un carácter específico, como CR/LF, es recibido. Estas características hacen que sea fácil procesar la escritura de datos en la línea serial de manera eficiente en el código de la aplicación moderno.

La desventaja del ADU de ASCII es que todos los datos son transferidos como caracteres hexadecimales codificados en ASCII. Es decir, en lugar de enviar un solo byte para el código de función 3, 0x03, envía los caracteres ASCII "0" y "3" o 0x30 / 0x33. Esto hace que el protocolo sea más legible, pero también significa que el doble de datos debe ser transferido a través de la red en serie y que las aplicaciones que envían y reciben deben ser capaces de analizar los valores ASCII.

### Extender Modbus

Modbus, un estándar relativamente simple y abierto, puede ser modificado para cumplir con las necesidades de una aplicación determinada. Esto es más común para la comunicación entre la HMI y PLC o PAC, ya que esta es una situación en la cual una sola organización tiene el control sobre ambos extremos del protocolo. Los desarrolladores de sensores, por ejemplo, es más probable que se apeguen al estándar escrito, pues normalmente solo controlan la implementación de su esclavo y es deseable la interoperabilidad.

En general, no se recomienda modificar el protocolo. Esta sección se proporciona simplemente como un reconocimiento de los mecanismos que otros han utilizado para ajustar el comportamiento del protocolo.

### Nuevos Códigos de Función

Algunos códigos de función son definidos, pero el estándar Modbus le permite desarrollar códigos de función adicionales. En concreto, los códigos de función 1 al 64, 73 al 99 y 111 al 127 son los públicos que son reservados y garantizados para ser únicos. Los códigos restantes, 65 al 72 y 100 al 110, son para el uso definido por el usuario. Con estos códigos definidos por el usuario, se puede usar cualquier estructura de datos. Los datos pueden, incluso, exceder el límite de 253 bytes estándar para el Modbus PDU, pero toda la aplicación debe ser validada para asegurarse de que otras capas funcionan como se esperaba cuando el PDU exceda el límite estándar. Los códigos de función por encima de 127 son reservados para respuestas de excepción.

### Capas de Red

Modbus se puede ejecutar en muchas capas de la red, además de serial y TCP. Una implementación potencial es UDP, ya que es ideal para el estilo de comunicación Modbus. Modbus es un protocolo basado en mensajes en su núcleo, por lo que la habilidad de UDP para enviar un paquete bien definido de información sin ninguna información adicional a nivel de aplicación, como un carácter de inicio o longitud, hace a Modbus extremadamente fácil de implementar. En lugar de requerir una ADU adicional o reutilizar una ADU existente, los paquetes de la PDU de Modbus se pueden enviar usando un API de UDP estándar y ser recibidos completamente formados en el otro extremo. Aunque TCP es ventajoso para algunos protocolos por el sistema de confirmación integrado, Modbus realiza confirmación en la capa de aplicación. Sin embargo, utilizando UDP de esta manera elimina el campo de identificador de transacción en la ADU de TCP, que libera la posibilidad de múltiples transacciones pendientes simultáneas. Por lo tanto, el maestro debe ser un maestro sincrónico o el paquete UDP debe tener un identificador para ayudar al maestro a organizar las solicitudes y respuestas. Una implementación sugerida sería usar la ADU de TCP/IP en una capa de red UDP. (Instruments, 2014)

## Modificaciones de ADU

Por último, una aplicación podría optar por modificar una ADU o usar porciones no utilizadas de una ADU existente como TCP. Por ejemplo, TCP define un campo de 16 bits de longitud, un protocolo de 16 bits y un No. de Unidad de 8 bits. Dado que la PDU de Modbus mayor es de 253 bytes, el byte alto del campo de longitud es siempre cero. Para Modbus/TCP, el campo de protocolo y el ID de Unidad son siempre cero. Una simple extensión del protocolo podría enviar tres paquetes simultáneamente al cambiar el campo del protocolo a un número que no sea cero y al usar los dos bytes no utilizados (No. de Unidad y el byte alto del campo de longitud) para enviar las longitudes de dos PDUs adicionales (ver la Figura 27).

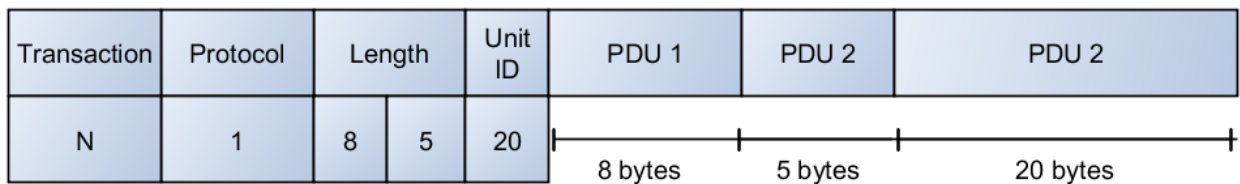


Figura 27. Modificación de ejemplo de la ADU de TCP.

Fuente: [www.ni.com](http://www.ni.com)

### 2.1.13 Arduino IDE

Arduino IDE es un entorno de desarrollo y en él se realiza la programación de cada una de las placas de Arduino. Tiene como base el entorno de Processing al igual que un lenguaje de programación fundamentado en Wiring. Pero antes de entrar a hablar de IDE, es esencial tener claro qué es Arduino. (tuelectronica.es, 2016)

#### 2.1.14 Eplan Electric

EPLAN Electric P8 le ofrece posibilidades ilimitadas para la planificación, documentación y gestión de proyectos de automatización. La generación automática de reportes detallados basados en los diagramas de cables es una parte integral de un sistema de documentación completa para las siguientes fases del proyecto, tales como producción, ensamblaje, puesta en marcha y servicio con los datos requeridos. Los datos de ingeniería del proyecto de otras áreas pueden ser intercambiadas mediante interfaces con el software CAE; por lo tanto, se garantiza la coherencia y la integración durante todo el proceso de desarrollo de producto. (Eplan Software, 2016)

#### 2.1.15 Cx Programmer

Es el software de programación para todas las series de PLC de Omron, está totalmente integrado en el conjunto de programas CX-One. Los nuevos cuadros de diálogo de ajuste de parámetros reducen el tiempo de configuración y, con los bloques de función estándar en texto estructurado IEC 61131-3 o lenguaje de diagrama de relés convencional, CX-Programmer convierte el desarrollo de programas para PLC en una simple configuración mediante arrastrar y colocar.

- Integrado en CX-One, el conjunto de programas universal de Omron.
- Conexión automática mediante enlaces USB o serie.
- Seguridad mejorada: proteja sus conocimientos.
- Pantallas de configuración sencilla para todas las unidades de PLC.
- Herramientas de simulación de PLC incluidas: realice pruebas antes de la descarga.

- La herramienta de referencia de dirección puede buscar con comodines (\* o ?) para encontrar el símbolo que quiere comprobar.
- El área EM puede designarse como símbolo, incluyendo la función Forzar a set/reset.
- Conexión automática a dispositivos serie, USB y EthernetIP.
- Editor de diagrama de relés fácil de utilizar.
- Es compatible con toda la gama de sistemas PLC de Omron de los últimos 20 años, que incluye las familias CS1, CJ1/CJ2, C y CV. (Omron Corporation, 2016)

#### 2.1.16 Software NTXS

NTXS se utiliza para programar las series NT2S y NT3S. Este software se ofrece gratuitamente e incluye fuentes de Windows, una utilidad de importación/exportación de varios idiomas, un mapa de caracteres para diseñar caracteres propios y se puede utilizar para colocar mapas de bits en la aplicación. Este software utiliza una base de datos de etiquetas y admite las operaciones de carga y descarga. Los proyectos se pueden proteger con una contraseña.

- Importación/exportación de varios idiomas (sólo NT3S).
- Administrador de etiquetas.
- Mapa de caracteres.
- Configurar tareas para la unidad.
- Biblioteca de mapas de bits.

(Omron Corporation, 2016)

## 2.2. Marco de la gestión del proyecto

### 2.2.1. Planeación del proyecto

Como paso uno se deberá realizar un estudio del funcionamiento del equipo y determinar los tipos de sensores y señales que se requieren para el funcionamiento del troquel. Se diagnosticará un estudio completo de los equipos de la perfiladora, esto con el fin de lograr una mejor compatibilidad de los equipos nuevos y los ya instalados; previendo una intercomunicación de todos los subprocesos de la máquina, usando algún protocolo de comunicación entre ellos.

Se utilizará un PLC marca OMRON porque la mayoría de los componentes de los equipos electrónicos son de esa marca y esto favorece una correcta comunicación entre ellos. Debido a que la pantalla táctil del grupo de entrada es marca OMRON no habría inconvenientes con la comunicación. En la Figura 28 se muestra el panel original del troquel.

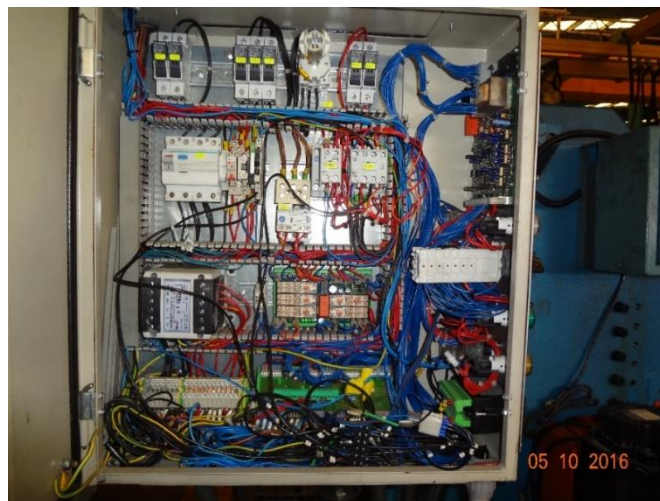


Figura 28. Panel de control antiguo Troquel Perfiladora.

Fuente: Elaboración Propia.

### 2.2.2. Desarrollo

En esta fase del proyecto se realizarán pruebas de funcionamiento con un PLC, desarrollando la aplicación mediante el software del PLC. Se debe destacar que la verificación del sistema automático debe controlar correctamente la posición angular del cigüeñal; asimismo, se realiza el diseño eléctrico del panel de control y la programación de la HMI.



Figura 29. PLC Omron.

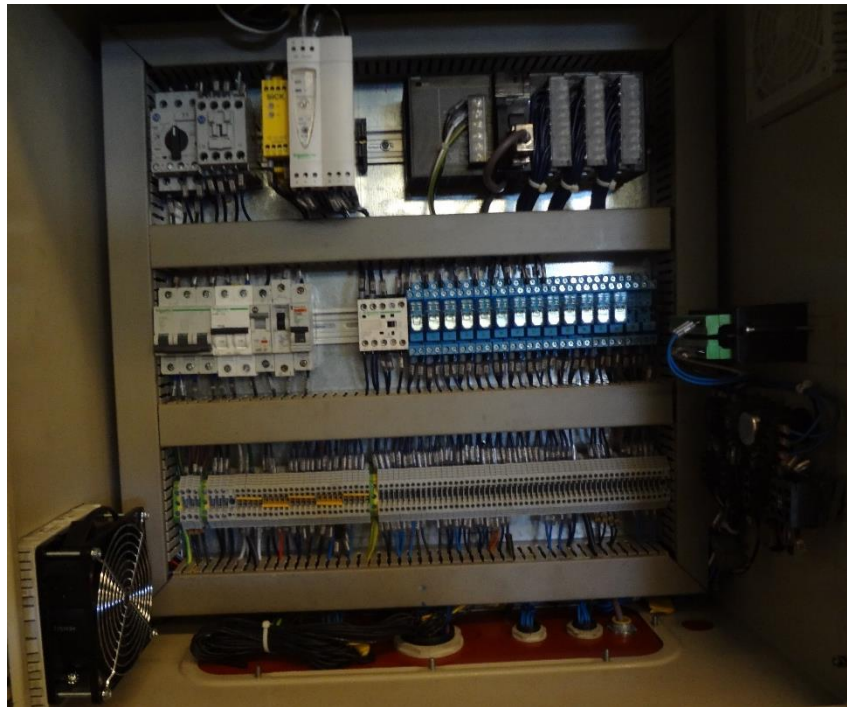
Fuente: Elaboración Propia.

### 2.2.3. Implementación

La ejecución del proyecto requiere algunos pasos importantes como:

1. Armado y cableados del panel nuevo.
2. Pruebas de funcionamiento al panel nuevo y de comunicación con el HMI.
3. Desmontaje del sistema de control anterior.
4. Instalación mecánica del panel nuevo.
5. Cableado de sensores y señales al panel nuevo.
6. Pruebas de simulación del funcionamiento en el sitio.
7. Ajustes de posicionamiento necesarios.
8. Pruebas de funcionamiento con material en la máquina.
9. Inducción de manejo al personal que labora la perfiladora.
10. Entrega de máquina al departamento de producción de la empresa.

En la Figura 30 se muestra el panel nuevo armado.



**Figura 30.** Panel nuevo.

Fuente: Elaboración Propia.

#### 2.2.4. Control

Utilizando el SAP, los encargados de línea registrarán los tiempos de parada de máquina por fallos y la duración de los tiempos promedios de reparación, de modo que permita constatar el cumplimiento de los objetivos propuestos de funcionamiento de la perfiladora, por medio de una revisión periódica de las variables de gestión de la empresa.

### 2.2.5. Evaluación

Los encargados del registro de los datos llevarán un control y seguimiento de los índices de gestión de la perfiladora, tales como: tiempos de parada de la máquina, tiempos muertos de producción y tiempo medio de reparación, los cuales permitirán verificar la eficacia del proyecto y garantizar un mejor rendimiento de la producción y el desempeño de la perfiladora.

## **2.3. Marco conceptual referente al impacto del proyecto**

El reemplazo del sistema de control automático del troquel de la perfiladora 5 en la empresa METALCO S.A. y la comunicación de este control con el HMI de entrada, facilitará el diagnóstico de los fallos y la eventual reparación, con la disminución los tiempos de paro por fallas de mantenimiento; de la misma forma, se obtendrá mejor control de tiempos de funcionamiento para el diagnóstico de mantenimiento preventivo.

Además, permitirá la visualización de textos de fallos concretos sin la necesidad de códigos de fallos, tanto como algunos ajustes de la máquina.

También se contará con la posibilidad de monitoreo remoto mediante un módulo ESP8266 con comunicación inalámbrica, por lo que se podrá monitorear en una HMI remota el estado del sistema.

De esta manera, la empresa gozará de mayor eficiencia y eficacia en el proceso de producción de esta línea.

## **2.4. Antecedentes experiencias semejantes**

La empresa contaba con algunas máquinas no automatizadas que lograron incorporarse a un sistema de control automatizado, con resultados muy favorables para la empresa, lo cual desencadenó en una serie de mejoras y procuras de automatización de todas las máquinas.

Esta situación generó la búsqueda de proyectos que impulsen el uso automático de controles para elevar la producción de la empresa; ello, específicamente en el troquel de la perfiladora 5, pues utilizaba un sistema con limitaciones funcionales y de manejo de fallos, además de la dificultad de incorporar nuevas funciones al sistema.

## **CAPITULO III. Marco Metodológico**

### **3.1. Tipo de investigación**

#### 3.1.1 Finalidad.

Este trabajo tiene como finalidad el desarrollo de un proyecto que permitirá mejorar el sistema de control de la máquina, con el fin de generar los conocimientos o métodos dirigidos al sector productivo de la empresa, para obtener una mayor producción de perfiles en la línea; por lo tanto, se refiere a una finalidad aplicada.

#### 3.1.2 Dimensión temporal.

La dimensión del proyecto es de tipo transversal dado que este inicia con la identificación del problema de fallo de la tarjeta y las diversas variables como mensajes de error desconocidos, excesivo tiempo de paro y alto costo de reemplazos; elementos que deben ser reunidos para obtener la resolución del problema encontrado.

#### 3.1.3 Marco

El presente trabajo es de marco macro pues solo aborda el funcionamiento del departamento de producción. E nivel se refiere a los resultados que se obtendrán al reemplazar el sistema de control, para mejoramiento de los ingresos y valor generado para beneficio de la empresa METALCO.

### 3.1.4 Naturaleza

Se trata de un proyecto de tipo cuantitativo, pues mide los índices de gestión, como: tiempos medio entre fallo, tiempo medio de reparación utilizando la estadística y haciendo análisis de causa efecto. Es un proceso secuencial que analiza la realidad objetivamente, generalizando los resultados de manera precisa con los datos obtenidos.

Partiendo de esta información, el trabajo tendrá naturaleza cuantitativa, en busca de los parámetros de medición en la perfiladora con la troqueladora.

### 3.1.5 Carácter

El trabajo tiene carácter de proyecto partiendo de una investigación, elaboración y desarrollo de un modelo operativo viable, para solucionar el problema de la pérdida de tiempo en la reparación de la troqueladora; ello, tomando en cuenta las necesidades de la empresa en reducir los gastos y aumentar la producción.

## **3.2 DISEÑO METODOLÓGICO**

3.2.1 Metodología para la propuesta de mejora, construcción o puesta en práctica de un nuevo proceso, producto o servicio.

La metodología empleada en este proyecto consiste en implantar un sistema de control que ahorre en costos de mantenimiento, fácil de programar y de alta confiabilidad, que facilite una mejor integración con los otros equipos de la línea que usen un protocolo estándar de comunicación. Así mismo, posteriormente se realizarán los diseños y cotizaciones necesarios para el proyecto; luego, la programación y pruebas del sistema en un banco de pruebas, y finalmente, la

implementación y pruebas en sitio y eventualmente corrección de errores de programación y cableado.

Algunas herramientas por utilizar son el “CX Programmer” para la programación del API que es el software de programación de dicho controlador, y para la pantalla táctil se empleará el software “NTXS”, así como el software de diseño “Eplan 8”.

Una de las normas utilizadas para el diseño del plano eléctrico es la IEC y para la selección del API; se selecciona la marca que predomina en la línea de producción, esto para garantizar una mejor integración debido a que todos los equipos usarían un protocolo de comunicación estándar entre ellos.

La empresa se rige por el Sistema de Gestión de Calidad (SGC) donde se involucra el ciclo Deming; por lo tanto, el proyecto se rige por las normas establecidas en la empresa.

### 3.2.2 Metodología para la implementación del proyecto

Para la implementación de la propuesta planteada se seguirán los siguientes pasos:

1. Búsqueda de información de los equipos específicos por marca y modelo idóneos para el proyecto.
2. Revisión de las cotizaciones de los equipos nuevos contra los equipos actuales que se deben reemplazar, para determinar la factibilidad económica del proyecto.
3. Revisión del inventario de bodega y solicitud de compra de los componentes necesarios y los que no estén disponibles en el inventario de la bodega.
4. Realizar el diseño eléctrico y electrónico.
5. Inicio del ensamblado del armario de control.
6. Verificar la programación de pantalla táctil, API, y cableado eléctrico.

7. Realización de pruebas de funcionamiento del sistema.
8. Montaje y puesta en marcha del equipo.
9. Verificación del funcionamiento del equipo.

La empresa cuenta con un departamento de proyectos que promueve la implementación de nuevas propuestas y analiza con detalle cada una de ellas, propiciando las iniciativas del personal que labora en la institución.

Se realiza una revisión del programa sin material en la máquina, para verificar el funcionamiento correcto de la propuesta.

La empresa contaba con una máquina con un funcionamiento semejante, con equipo discontinuado y muy viejo, el cual daba muchos problemas. El departamento de mantenimiento propuso la modernización del equipo por medio de un sistema de control automático que dio muy buenos resultados; por lo tanto, la gerencia de METALCO está anuente a realizar este tipo de proyectos.

Con respecto a los instrumentos requeridos en el presente proyecto para poner en marcha esta propuesta, se utilizará una computadora portátil que cuenta con el software de programación de los API utilizados en la compañía, pantallas HMI y software de diseño para los esquemas eléctricos, así como acceso o toda la información de mantenimiento, acceso la red interna de la compañía y toda la información disponible en esta.

Los encargados aplicar las soluciones es el departamento de mantenimiento, más específicamente el área de instrumentación; los encargados de supervisar y aprobar las diferentes etapas de implementación son el jefe del departamento eléctrico-electrónico y el ingeniero de mantenimiento. El área de instrumentación debe realizar la propuesta de los equipos que se utilizarán en las implementaciones y que estos cumplan con las políticas de estandarización de los equipos con las que se rige el mencionado departamento de mantenimiento. También se encarga del diseño eléctrico y electrónico, programación de los equipos que se utilizarán, puesta en marcha y pruebas de rigor; y posee la obligación de entregar un producto final que cuente con las normas de seguridad de la compañía. El jefe del departamento eléctrico-electrónico debe velar porque el proyecto cuente con el abastecimiento de los componentes necesarios para la

implementación y que se cumplan las normas de seguridad establecidas por la compañía.

El proyecto consta de seis etapas, establecidas de la siguiente forma: etapa de análisis, etapa de diseño, etapa de ensamblaje, etapa de revisión y corrección, etapa de puesta en marcha y por último, la etapa de capacitación de personal. La implementación de la propuesta consiste en diseñar el sistema de control, armado del panel nuevo, instalación y pruebas en sitio; partiendo de los resultados obtenidos se realizarán las correcciones de cableado y/o programación para realizar los ajustes necesarios. Luego, se deberá impartir una charla de capacitación para los diferentes grupos de trabajo de la máquina.

Para dar por implementada la propuesta del proyecto del cambio del sistema de control, se requiere que la máquina tenga un funcionamiento de la misma calidad o superior al que realizaba con anterioridad a la implementación del cambio y además, que los usuarios logren manipularla sin complicaciones, por medio del HMI y el panel de mando principal.

El plan de trabajo debe contar con lineamientos que definan las normas de seguridad por seguir y los parámetros estándares que se deben alcanzar en la producción.

### 3.2.3 Metodología de control

El proceso de verificación del proyecto consiste en analizar los resultados de las variables de gestión que la empresa utiliza, para determinar si el cambio en la máquina es favorable.

Durante el uso de la máquina por medio del SAP se registran todos los tiempos requeridos para realizar el control de la propuesta.

Cada una de las fases del proyecto requiere de mucha dedicación y cuidado para obtener los resultados previstos.

El siguiente cuadro muestra las etapas del proyecto y sus roles.

**Tabla 11.** Etapas del proyecto y su respectivo rol

<b>Etapas</b>	<b>Aplicada por</b>	<b>Rol que cumple</b>
Análisis	Área Instrumentación	Análisis del funcionamiento del sistema actual y de los equipos que lo reemplacen.
Diseño	Área Instrumentación	Diseño, realización del esquema eléctrico, programación y selección de los equipos necesarios.
Ensamblaje	Área Eléctrica	Montaje de los diferentes equipos y componentes del sistema de control dentro del panel nuevo.
Revisión y corrección	Área Eléctrica y electrónica	Corrección de los errores de programación o cableados.
Puesta en marcha	Área Eléctrica y electrónica	Instalación mecánica en la línea del panel de control y cableado de los diferentes sensores y actuadores, así como la

		verificación de la programación y cableado.
Capacitación de personal	Área Eléctrica y electrónica	Dar charlas al personal tanto de producción como de mantenimiento, de los diferentes turnos, sobre el uso y diagnóstico de la máquina.

Elaboración del autor.

El jefe del área eléctrica es el responsable de que las soluciones propuestas se lleven a cabo y que permanezcan en el tiempo.

El sistema de control y seguimiento de resultados del proyecto consiste en un software en el cual se lleva un control detallado de toda la producción y los tiempos de funcionamiento de la máquina. El encargado de turno de la línea debe ingresar los datos, para lo cual al sistema ingresa la hora en que ocurre cada evento; esto por una eventual valoración de la eficiencia de la línea y del encargado.

Los indicadores que podrían implementarse para monitorear y dar seguimiento para asegurarse de que las medidas son sostenibles en el tiempo, serían:

1. El costo de las piezas que se reemplacen por deterioro o daño.
2. La duración de las reparaciones eléctricas.
3. La cantidad de fallos presentados en el sistema.
4. Funcionarios que presentaron problemas con el nuevo control de funcionamiento de la máquina.

Algunos riesgos que podrían actuar en contra de la solución planteada se describen a continuación:

1. Una alta resistencia de los operadores a los cambios de control de la máquina, para lo cual se debe realizar una debida capacitación.

2. La incorporación de algún componente discontinuado; se debe realizar un estudio detallado de los componentes propuestos para determinar su periodo de discontinuación por parte del fabricante.
3. Limitaciones para la obtención de los repuestos por parte de los proveedores; en este caso, se debe realizar un cambio en el diseño, el cual incorpore los materiales que se puedan obtener.

Se espera que con el tiempo la propuesta se consolide, aumentando la eficiencia de la máquina y disminuyendo el tiempo promedio de las reparaciones eléctricas. Así, se promueve la implementación en todo el personal de manera continua.

El instrumento de registro del proyecto es el software SAP, el cual se utilizará para la toma y recolección de datos y su control.

La técnica utilizada para la recolección de datos, señala que se trabajará con la herramienta del SAP; se realizará en dos momentos: antes de la implementación del modelo propuesto para recolectar la información necesaria para el desarrollo del proyecto y la medición después de haber puesto en marcha el cambio del panel.

Plan detallado de implementación de actividades del proyecto:

1. Realizar un análisis detallado tanto del sistema actual como de los equipos necesarios para la implementación.
  - a. Estudiar y entender el funcionamiento del troquel.
  - b. Definir las funciones específicas de la tarjeta de control.
  - c. Determinar cuáles funciones presentes no son necesarias para excluirla en el control nuevo.
  - d. Análisis de las diferentes señales o condiciones de trabajo externas.
  - e. Definir las seguridades de funcionamiento.
  - f. Búsqueda de equipos que cumplan con las características óptimas para el reemplazo.
  - g. Búsqueda de información técnica de los equipos que se planean utilizar.
  - h. Análisis de las condiciones de trabajo del nuevo sistema.

2. Realizar el diseño del sistema de control.
  - a. Realización del diseño eléctrico.
  - b. Programación y configuración del API.
  - c. Incorporación de las nuevas ventanas de funciones del HMI.
  - d. Pruebas de comunicación entre el API y el HMI.
  - e. Corrección de los errores de programación del API.
  - f. Modificación de los errores de programación en el HMI e incorporación de las pantallas omitidas o faltantes.
  - g. Confección de un manual operacional.
3. Ensamblaje o armado del panel de control principal del troquel.
  - a. Instalación mecánica de los componentes del panel.
  - b. Cableado de la etapa potencia y control.
4. Revisión y corrección de la programación y cableado del panel.
  - a. Realización de pruebas de funcionamiento del panel en el taller.
  - b. Enmienda de los errores de programación del API.
  - c. Corrección de los errores de cableado.
5. Puesta en marcha del sistema propuesto.
  - a. Instalación mecánica del panel.
  - b. Cableado de las señales de los sensores y actuadores del troquel.
  - c. Verificación del cableado.
  - d. Pruebas de funcionamiento sin material
  - e. Pruebas con material.
  - f. Verificación de las señales de seguridad.
6. Capacitación del personal.
  - a. Charlas de inducción de funcionamiento al personal de producción como de mantenimiento.
  - b. Entrega de manual operacional.
  - c. Pruebas de funcionamiento con los operadores.

## **CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO**

### **4.1. Determinar la situación actual**

Actualmente la empresa cuenta con maquinaria especializada en corte transversal y formado de tubería y perfiles; es el número uno a nivel de Centroamérica en la producción de este tipo material. Cuenta con una cantidad muy significativa de bodegas de almacenamiento en la región, con producto terminado. Por ello, se requiere un óptimo desempeño de todas las líneas de producción.

Desde hace aproximadamente dos años el troquel de la perfiladora presenta deficiencias en el funcionamiento, que afectan considerablemente la producción del perfil angular troquelado; eso disminuye el ingreso económico a la empresa.

A pesar de que la máquina continúa produciendo los perfiles, requiere de mayor tiempo de trabajo, desperdicia mano de obra del personal que cumple la función de manejo de la línea e incurre en el pago de horas extras, de manera innecesaria, si el funcionamiento fuera el adecuado.

Como parte de la solución ante esta problemática se requiere un sistema automatizado para mejorar el desempeño de la troqueladora, manipulable según la necesidad.

## **4.2. Recolección de datos, características**

Para el proceso de recolección de datos se realizó una extracción de estos del SAP y se identificaron los índices de producción de la línea.

Entre los datos obtenidos del sistema, reflejados en el SAP, se encontraron reportes que indican averías varias tales como:

- Monitorear el funcionamiento de troquel.
- Fallo en controlador de la troqueladora.
- Fallo en troquel de punzonado.
- Troquel de corte no funciona bien.
- Variador volante del troquel disparado.
- Revisar accionamiento de troquel
- Térmico de motor troquel disparado.
- Tarjeta control punzonadora dañada.
- Motor de troqueladora disparado.

## **4.3. Desarrollo de prototipo**

El proyecto no requiere un desarrollo de prototipo, pues el proyecto se instala directamente en la máquina donde próximamente se le aplicarán

los ajustes necesarios, en caso de requerirlos. Previamente a la instalación se realizarán ciertas pruebas en simulación, por partes, en el taller de mantenimiento de la compañía, con el fin de verificar el funcionamiento. Se simularán todos los fallos para comprobar el funcionamiento de los mensajes de error.

# CAPÍTULO V: DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

## 5.1 Selección de la propuesta

Se determinó, mediante un análisis, que la marca predominante en toda la máquina es OMRON. Para garantizar una correcta integración con todos los equipos se decidió utilizar la misma marca, asegurando su óptimo funcionamiento.

Se decidió utilizar un PLC, pues ofrece beneficios importantes, tales como:

- Ofrece las mismas ventajas sobre la lógica cableada, principalmente por su variedad de modelos existentes.
- Menor tiempo empleado en su elaboración.
- Realización de modificaciones evitando el cambio de cableado.
- La lista de materiales es muy reducida.
- Requiere poco espacio.
- Menor costo económico.
- Mantenimiento económico por tiempos de paro reducidos.

El modelo de PLC seleccionado es el CJ2, ya que es el modelo con el cual se ha estado trabajando para los otros proyectos de la compañía, donde se utiliza la marca Omron y este ofrece un desempeño óptimo para estas tareas.

## 5.2 Análisis de funcionamiento actual del sistema

Actualmente la tarjeta principal se encuentra dañada, por lo cual el funcionamiento de la máquina se ve imposibilitado. Se realiza en campo un registro de sensores y actuadores de la máquina, para determinar la forma de funcionamiento de la máquina para realizar el diseño.

Durante el análisis se encontraron funciones de la máquina sin utilizar; algunas se deshabilitaron desde la fabricación de la máquina, como la inversión de giro de troquel y funcionamiento con pedal, entre otras.

Se detectó que el troquel cuenta con sensores de seguridad muy importantes los cuales deshabilitan la máquina, con el fin de evitar daños físicos al personal en caso de accidentes o infracciones en las normas de seguridad establecidas por esta.

El diagnóstico brindó información importante que permitió definir el diseño final del sistema nuevo, el cual requiere la máquina para optimizar su funcionamiento.

## 5.3 Mapeo de variables eléctricas de entrada y salida

A continuación, se presenta una tabla con las variables digitales de entrada del sistema:

**Tabla 12.** Variables de entrada/salida.

Tipo	Dirección	Descripción
Entrada Digital	0.00	Reserva
Entrada Digital	0.01	Reset Averías y prueba de luces piloto
Entrada Digital	0.02	Sensor Puerta Anterior
Entrada Digital	0.03	Sensor 1 Puerta Frontal Inferior
Entrada Digital	0.04	Sensor 2 Puerta Frontal Inferior
Entrada Digital	0.05	Sensor Puerta Frontal Superior
Entrada Digital	0.06	Sensor Puerta Posterior
Entrada Digital	0.07	Sensor 1 Posición de Levas, Veloz
Entrada Digital	0.08	Sensor 2 Posición de Levas, Veloz

Entrada Digital	0.09	Sensor 1 Posición de Levas, Lento
Entrada Digital	0.10	Sensor 2 Posición de Levas, Lento
Entrada Digital	0.11	Sensor Posición Superior de Levas
Entrada Digital	0.12	Pulsador Marcha Motor Troquel
Entrada Digital	0.13	Pulsador Paro Motor Troquel
Entrada Digital	0.14	Fallo Variador
Entrada Digital	0.15	Térmico Variador Troquel
Entrada Digital	1.00	Paro Automático, Frontal
Entrada Digital	1.01	Pulsadores Corte Manual
Entrada Digital	1.02	Selector Manual/Automático
Entrada Digital	1.03	Selector Lento/Veloz
Entrada Digital	1.04	MARCHA/PARO AUTOMATICO DESDE P2, Relé
Entrada Digital	1.05	Sensor de Presión de aire
Entrada Digital	1.06	Sensor Nivel Aceite Lubricación
Entrada Digital	1.07	Confirmación Contactor Variador Troquel
Entrada Digital	1.08	Sensor Adelante Chapa Abajo
Entrada Digital	1.09	Reserva 1.09
Entrada Digital	1.10	Reserva 1.10
Entrada Digital	1.11	Reserva 1.11
Entrada Digital	1.12	Reserva 1.12
Entrada Digital	1.13	Reserva 1.13
Entrada Digital	1.14	Reserva 1.14
Entrada Digital	1.15	Reserva 1.15
Salida Digital	2.00	EV Corte Troquel
Salida Digital	2.01	EV Engrase Troquel
Salida Digital	2.02	Contactador Variador Troquel
Salida Digital	2.03	Run Adelante Variador
Salida Digital	2.04	Reserva
Salida Digital	2.05	Velocidad Preseleccionada Variador
Salida Digital	2.06	Piloto Fallo General
Salida Digital	2.07	Piloto Automático
Salida Digital	2.08	Chapa Detectada
Salida Digital	2.09	Piloto Variador en Marcha
Salida Digital	2.10	Troquel OK
Salida Digital	2.11	Troquel en Automático
Salida Digital	2.12	Troquel en marcha
Salida Digital	2.13	Reserva 2.13
Salida Digital	2.14	Reserva 2.14
Salida Digital	2.15	Reserva 2.15

Fuente: Elaboración Propia.

### 5.3.1 Descripción general de las variables de control.

De la tabla anterior se pueden describir las variables más importantes, como los son los sensores de la puertas: cuando estos se activan deshabilitan por seguridad el motor del troquel por completo, dado que si una puerta está abierta y se acciona la máquina, esta podría causar heridas graves al operador. Excepto el “Sensor 2 Puerta Inferior”, cuando esta se activa habilita una velocidad preseleccionada en el variador de velocidad de 45Hz, equivalente a 160 rpm del volante; esto para permitirle al operador realizar ajustes en el troquel, ajustes como la distancia de penetración de las agujas. Entretanto, los sensores de posición de levas son los que determinan la posición angular del cigüeñal del volante; cuando termina de troquelar utiliza estos sensores para determinar en cuál posición debe dar la orden para el proceso de troquelado, para luego quedar en la posición superior y repetir el proceso. Para esto, debe quedar en posición del “Sensor posición superior de levas”, para repetir el proceso cuando se requiera.

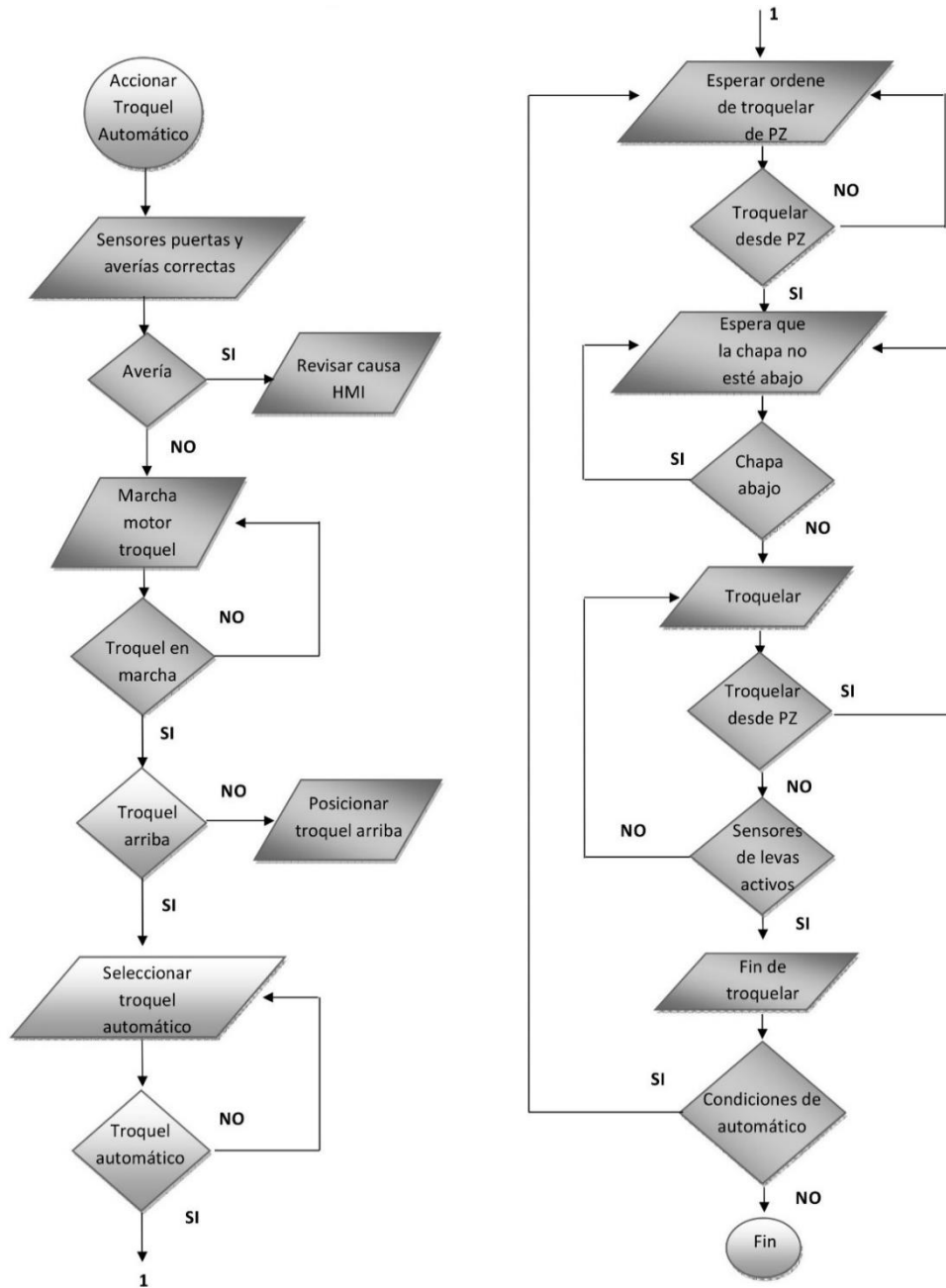
Posteriormente la señal “Marcha/Paro Automático desde P2”, es la orden de troquelar enviada desde proceso de maquinado y en caso de que el troquel aporte mucho material a la línea, esto lo detectará mediante el “Sensor de Chapa Adelante” y se detendrá el proceso momentáneamente, hasta que desaparezca la señal. Posteriormente están los sensores de presión de aire y de nivel del aceite lubricante del troquel; en caso de que alguno de ellos se active, el troquel entrará inmediatamente en fallo y para por completo el proceso general.

El PLC verifica el estado correcto de las seguridades y sensores, especialmente el sensor de posición superior de levas, para habilitar el proceso de troquelado; para ello acciona la electroválvula de corte del troquel.

La salida digital más importante es la electroválvula de corte del troquel, la cual tiene como función habilitar el proceso de troquelado, después de que se encuentren correctamente habilitadas todas las seguridades del sistema.

### 5.3.2 Diagrama de flujo de operación del troquel.

A continuación, se muestra un diagrama de flujo que describe brevemente la operación del troquel de la perfiladora.



**Figura 31.** Diagrama de control.

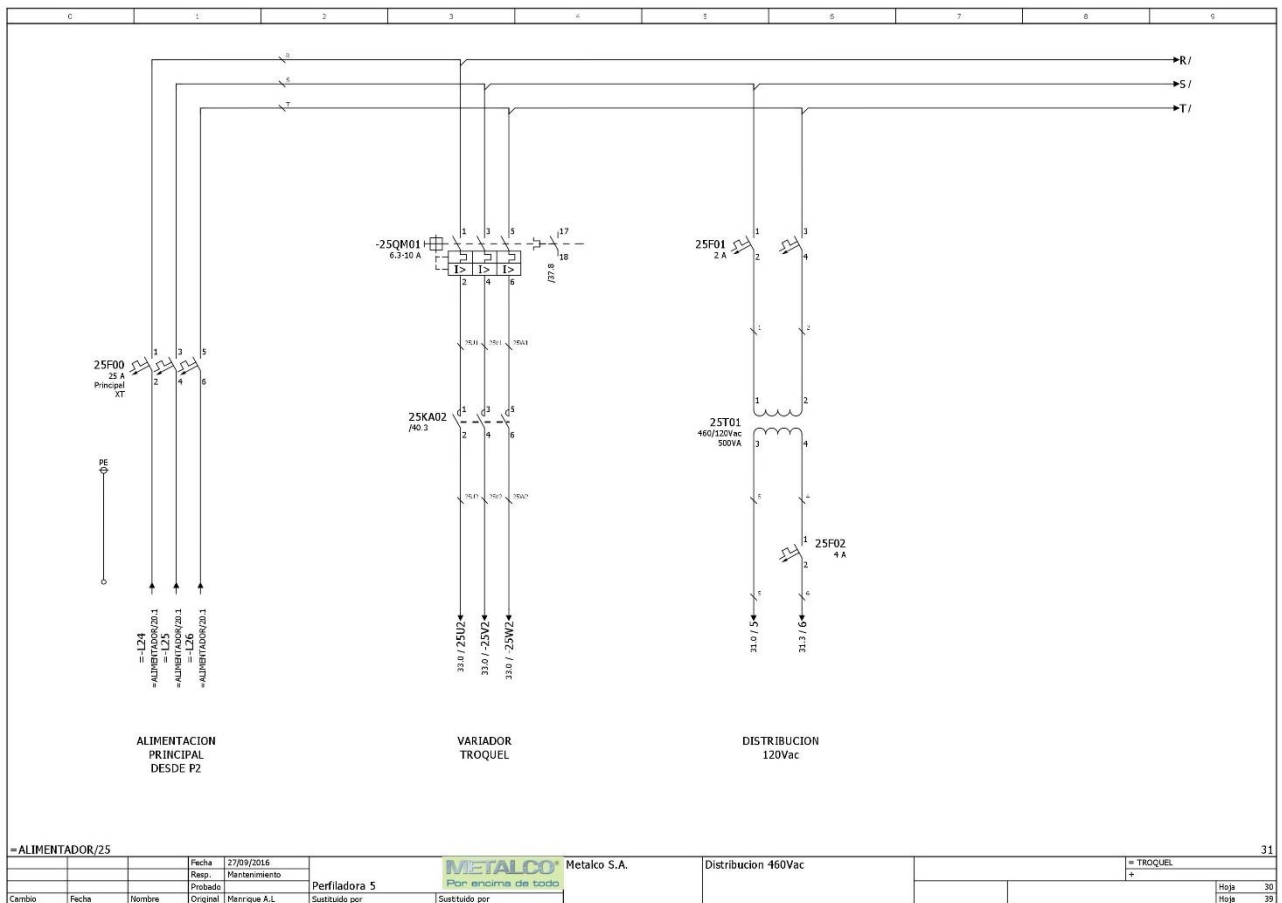
Fuente: Elaboración Propia.

## 5.4. Nuevo diseño del sistema de control automático de la troqueladora

### 5.4.1 Esquema Eléctrico

El diseño eléctrico se elabora tomando como base los resultados de las variables de entrada y salida que se encuentran estipulados en la tabla 5. Además del diseño eléctrico adjunto en las figuras N°32 a la figura N°46.

A continuación, se muestra el esquema eléctrico diseñado para la realización del proyecto.



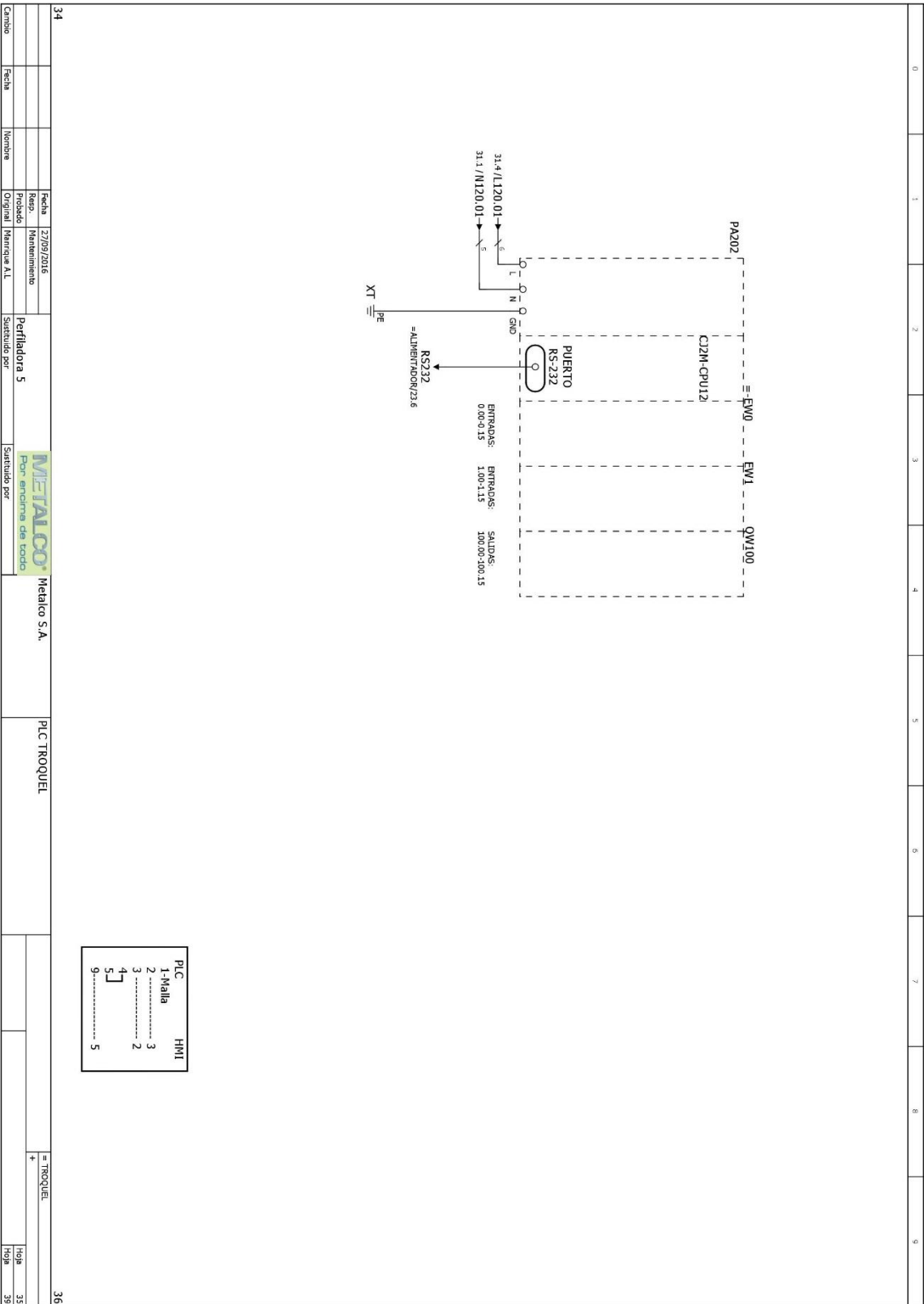
**Figura 32.** Distribución 460Vac.  
Fuente: Elaboración Propia.







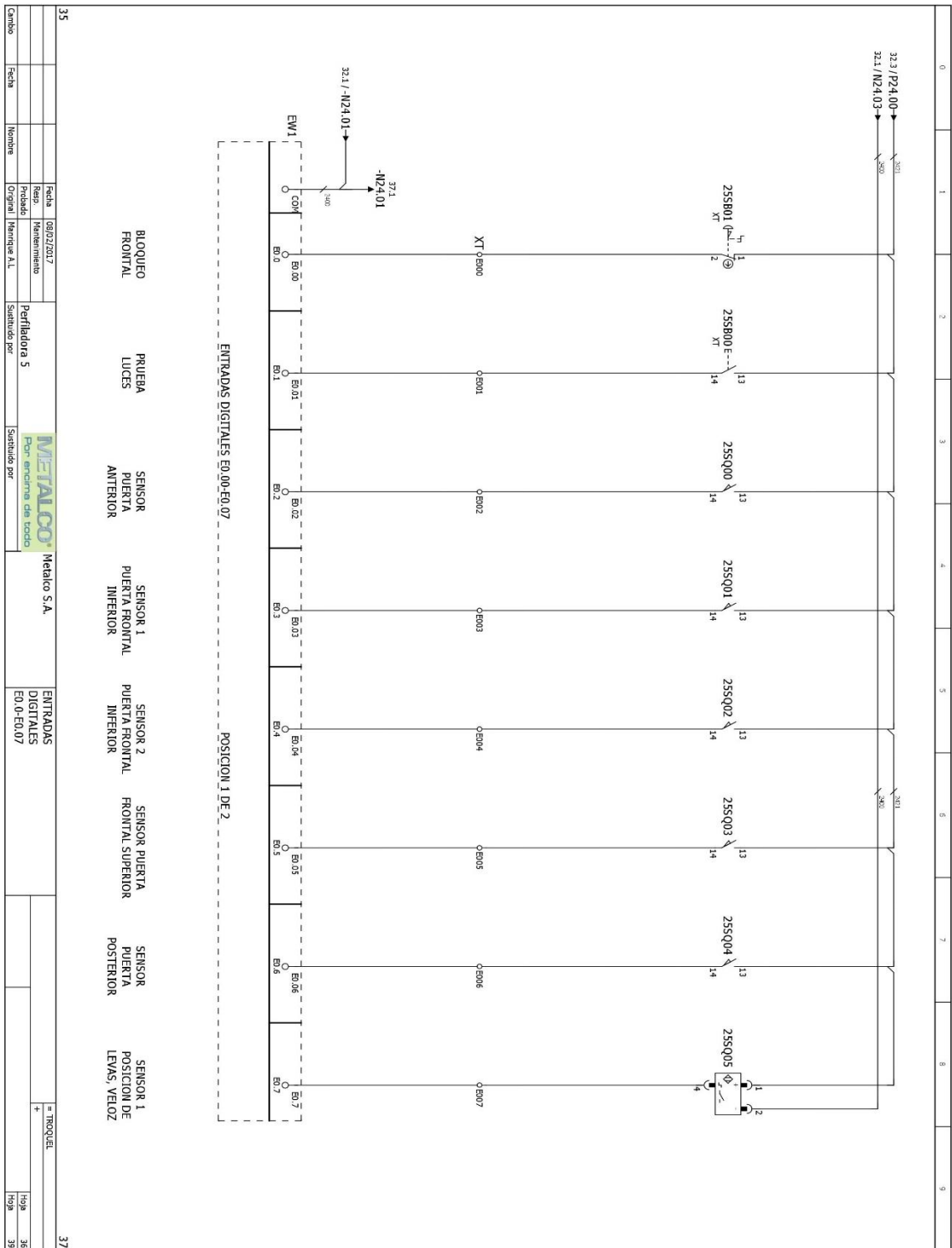




PLC	HMI
1-Malla	3
2	2
3	4
4	5
5	9

Fecha	Resp.	Fecha	Resp.	Fecha	Resp.	Fecha	Resp.
27/09/2016	Mantenimiento						
	Perifoneo						
	Mantenimiento						
	Perifoneo						
	Mantenimiento						
	Perifoneo						

**Figura 37. PLC del Troquel.**  
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 38.** Entradas Digitales E0.00-E0.07.

Fuente: Elaboración Propia.



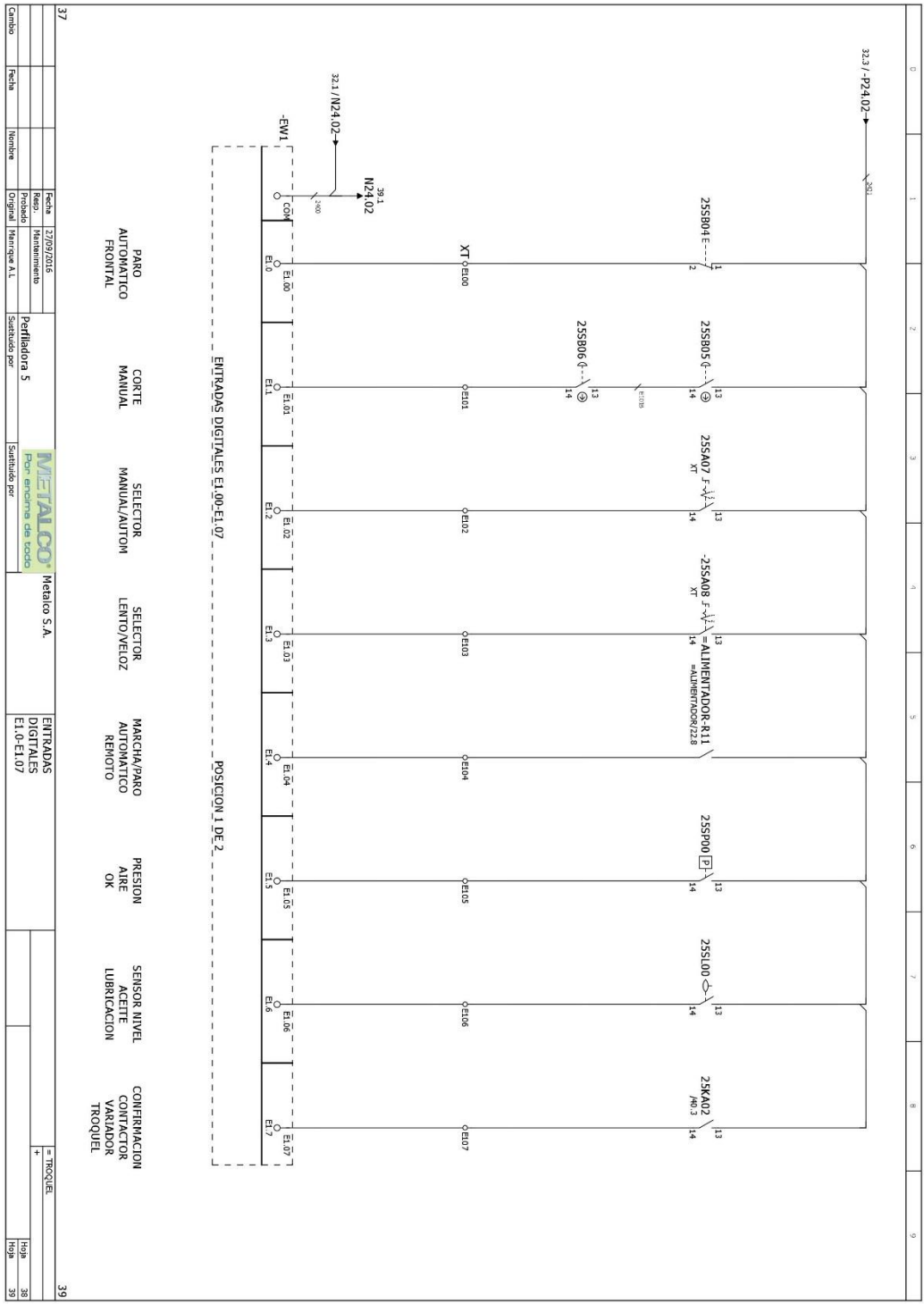
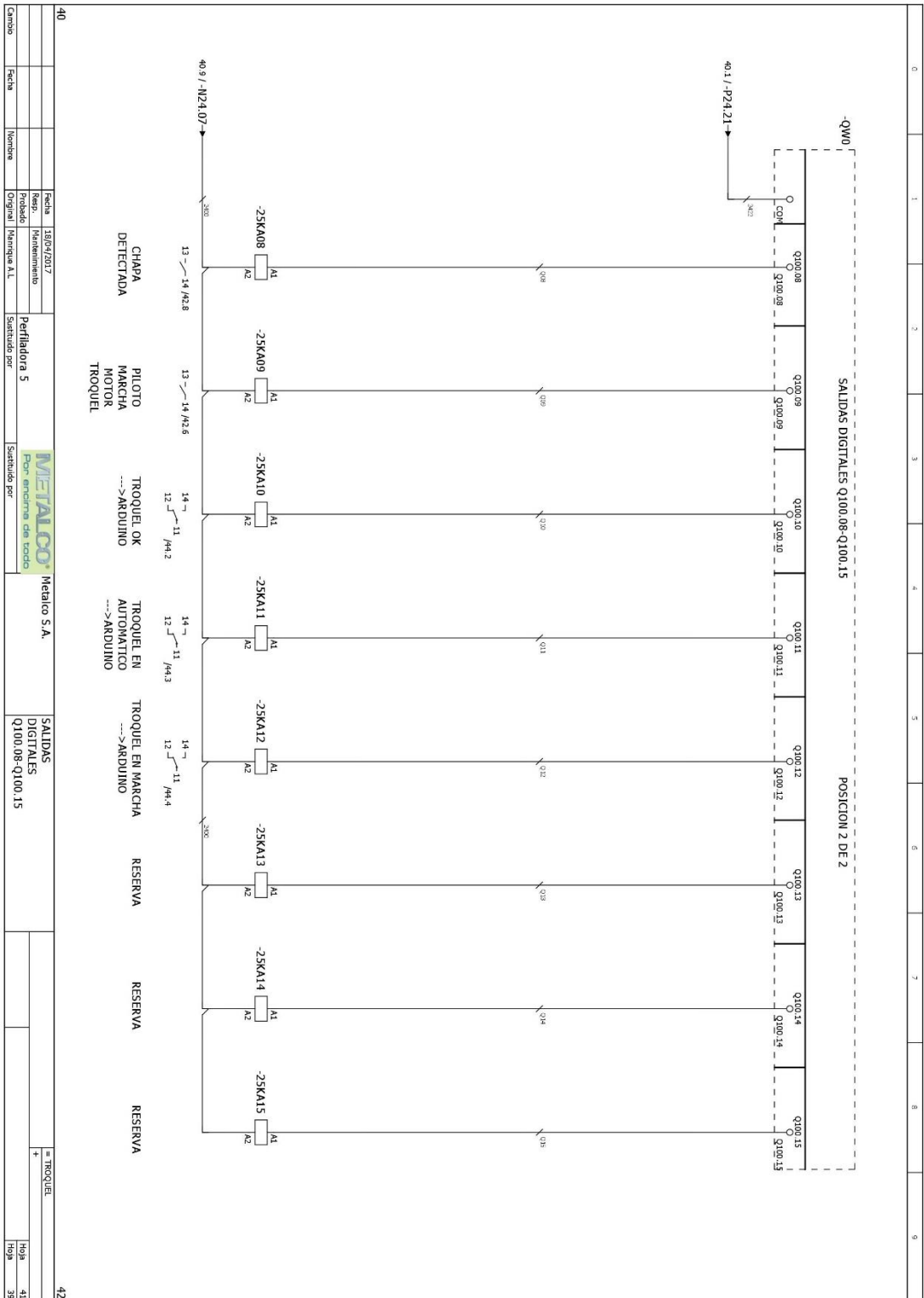


Figura 40. Entradas Digitales E1.00-E1.07.

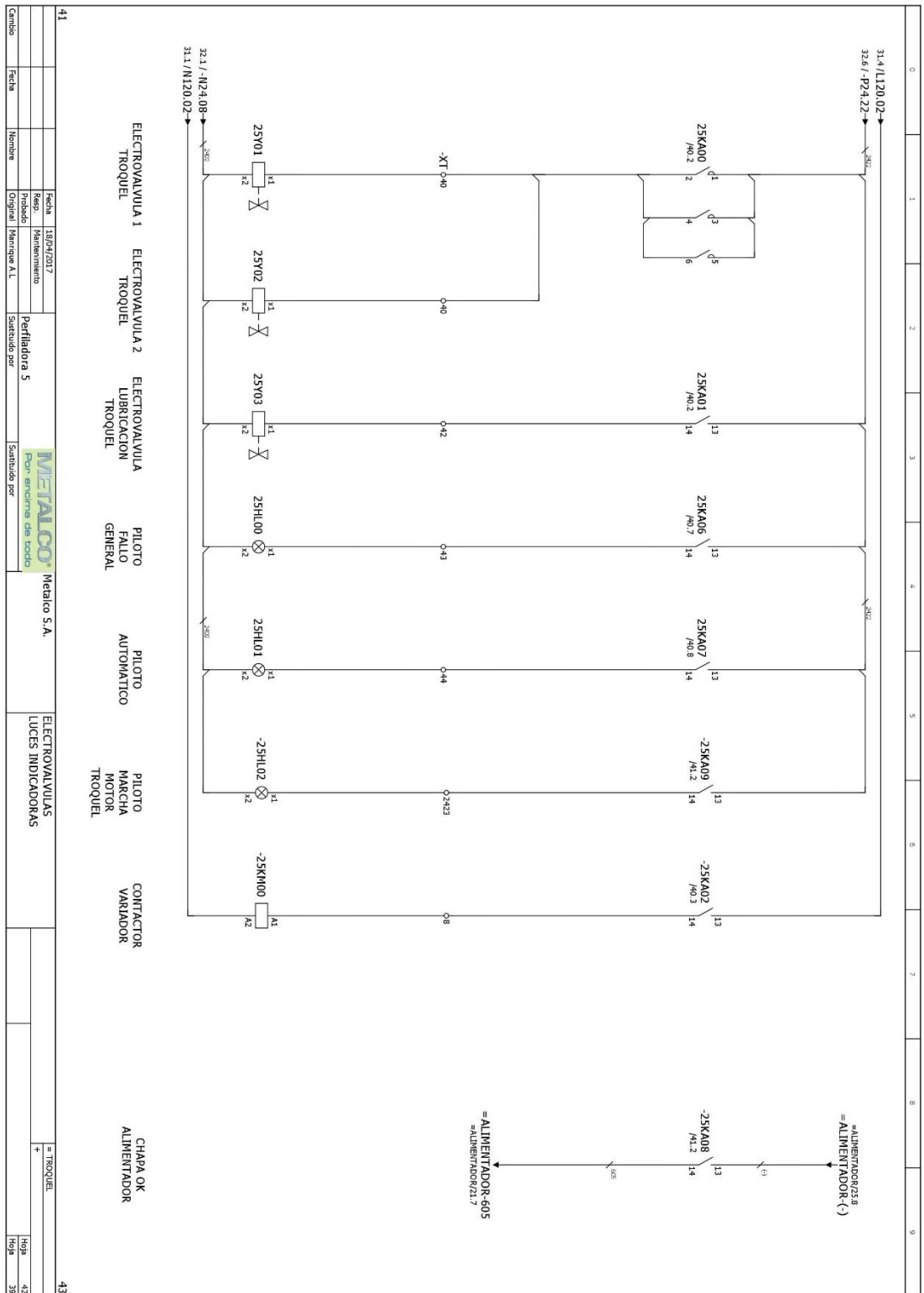
Fuente: Elaboración Propia.







**Figura 43.** Salidas Digitales A2.08-E2.15.  
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 44. Electroválvulas y luces.**  
Fuente: Elaboración Propia.







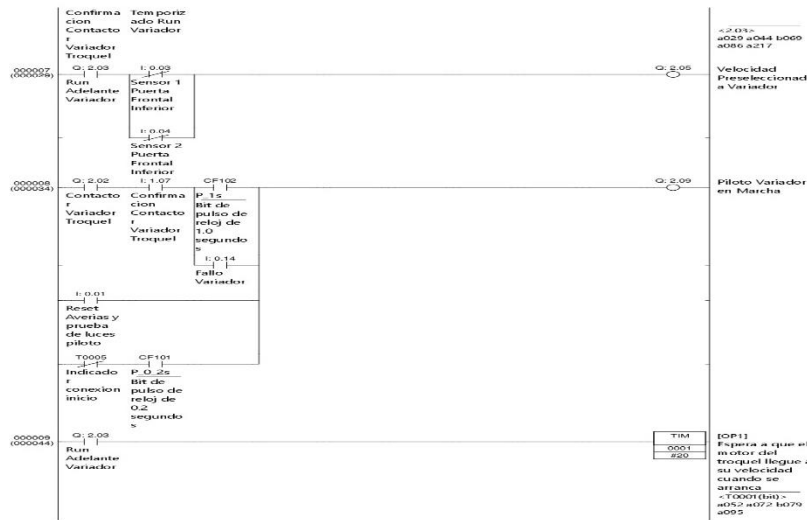


Figura 48. Programa PLC, Hoja 2.  
Fuente: Elaboración Propia.

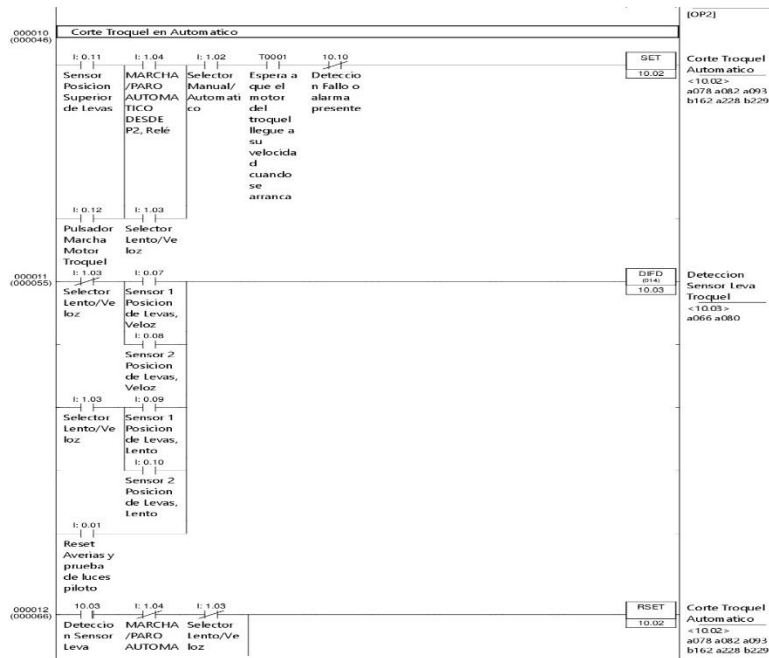
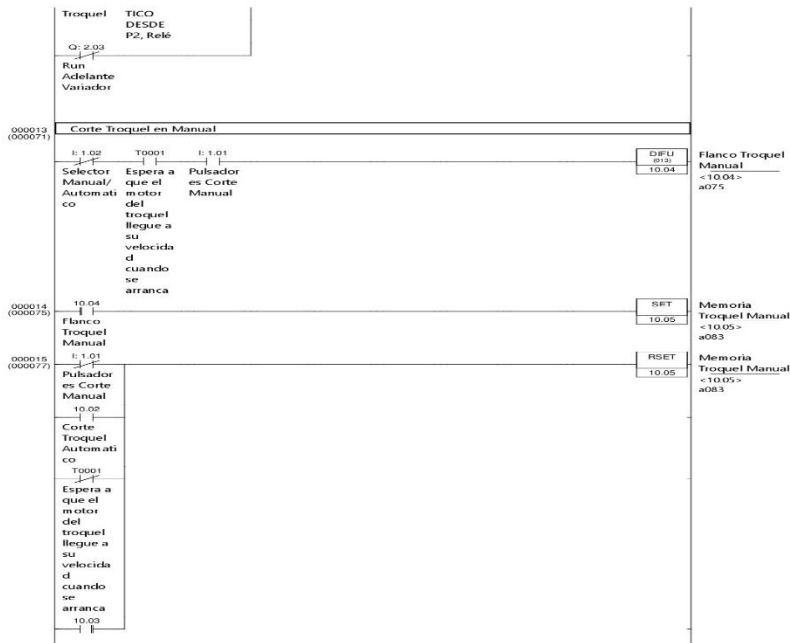
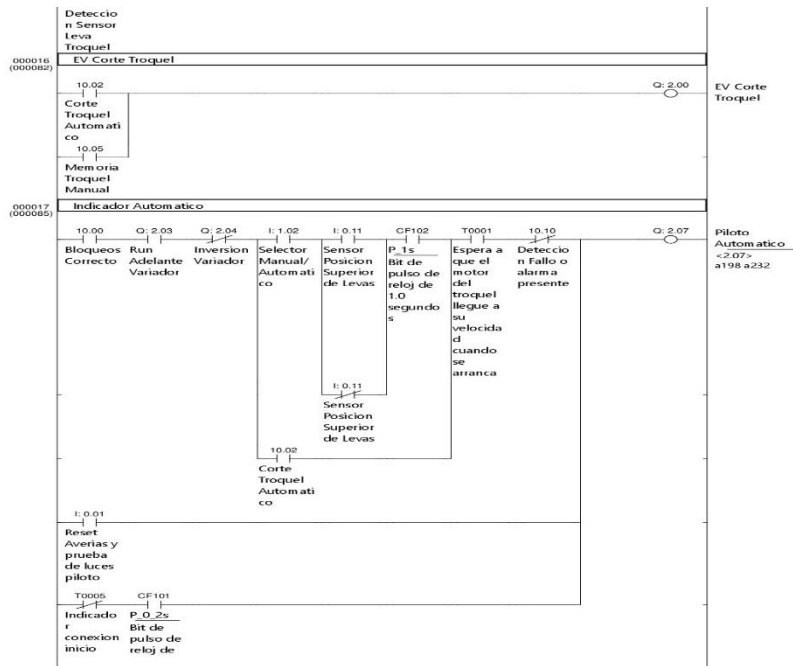


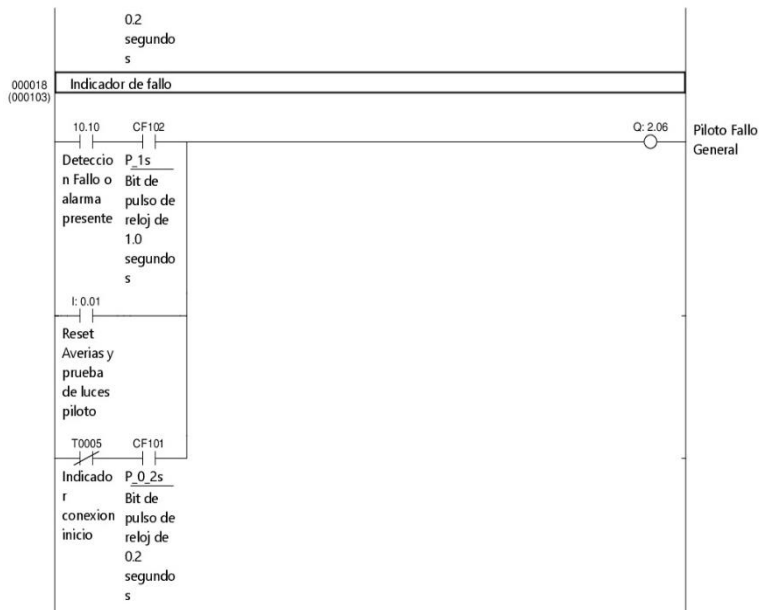
Figura 49. Programa PLC, Hoja 3.  
Fuente: Elaboración Propia.



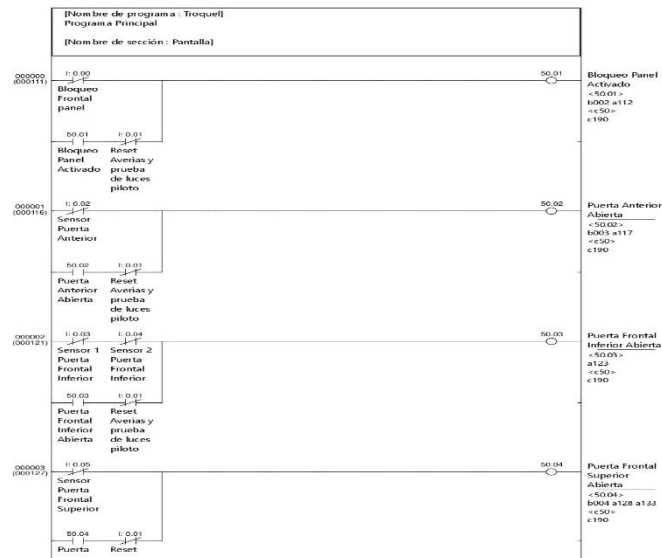
**Figura 50.** Programa PLC, Hoja 4.  
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 51.** Programa PLC, Hoja 5.  
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 52.** Programa PLC, Hoja 6.  
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 53.** Programa PLC, Hoja 7.  
Fuente: Elaboración Propia.

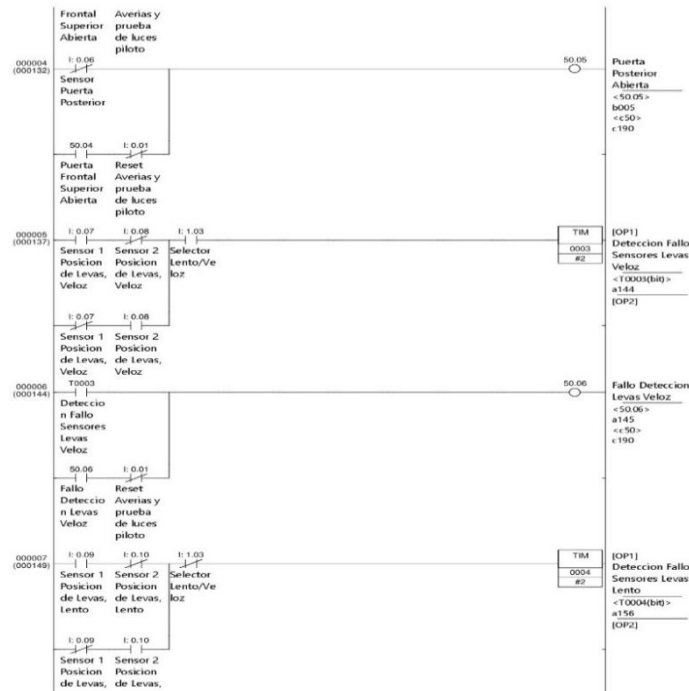


Figura 54. Programa PLC, Hoja 8.

Fuente: Elaboración Propia.

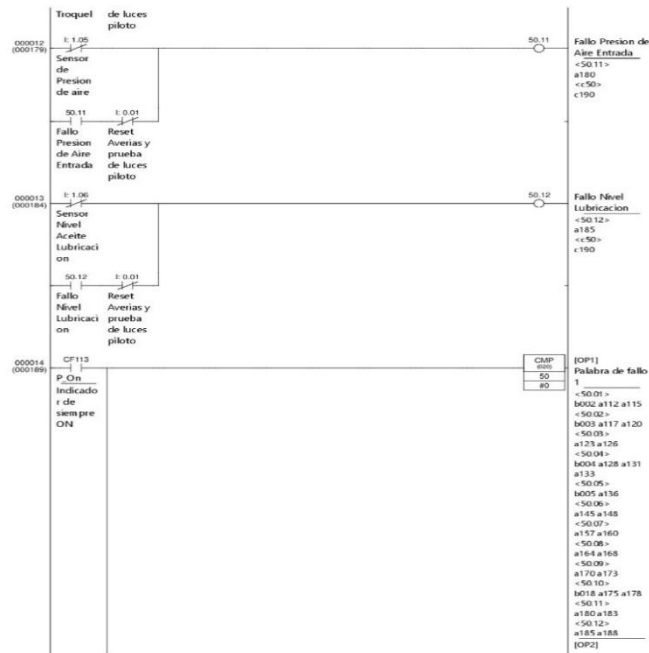


Figura 55. Programa PLC, Hoja 9.

Fuente: Elaboración Propia.

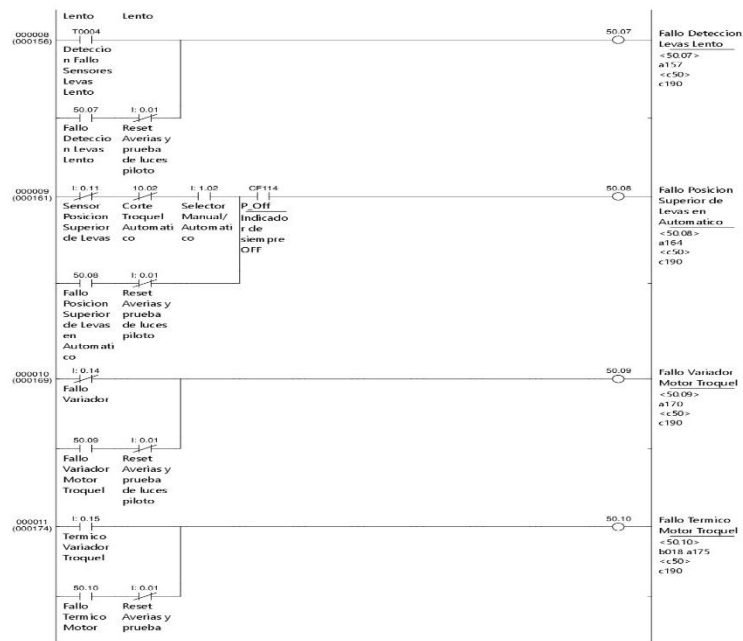


Figura 56. Programa PLC, Hoja 10.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 57. Programa PLC, Hoja 11.

Fuente: Elaboración Propia.

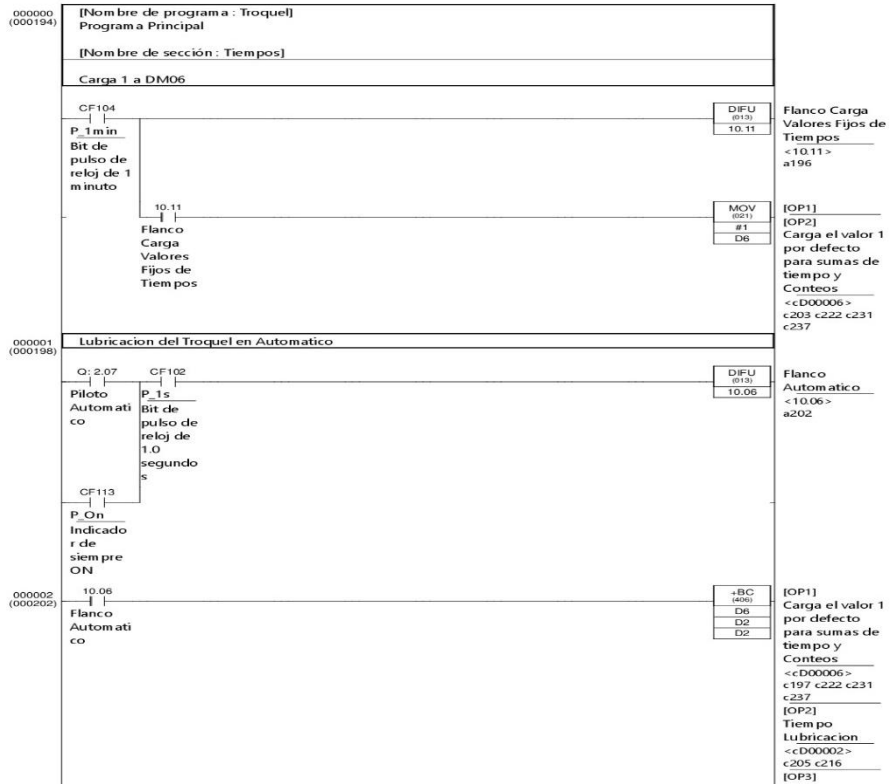


Figura 58. Programa PLC, Hoja 12.

Fuente: Elaboración Propia.

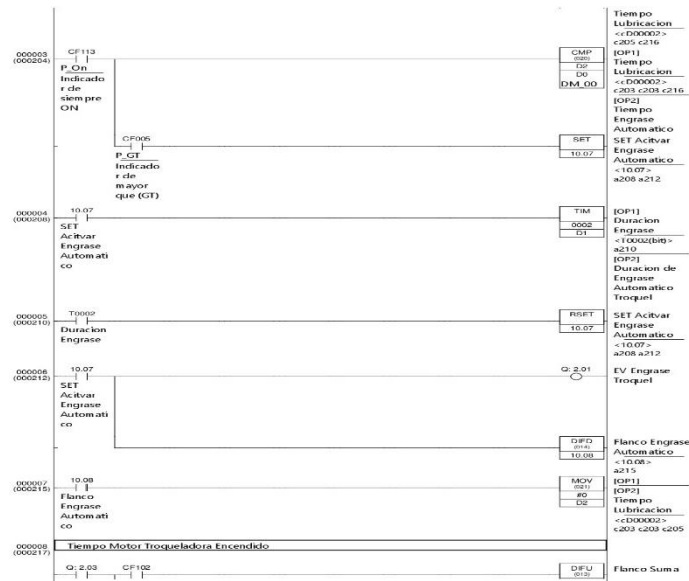


Figura 59. Programa PLC, Hoja 13.

Fuente: Elaboración Propia.

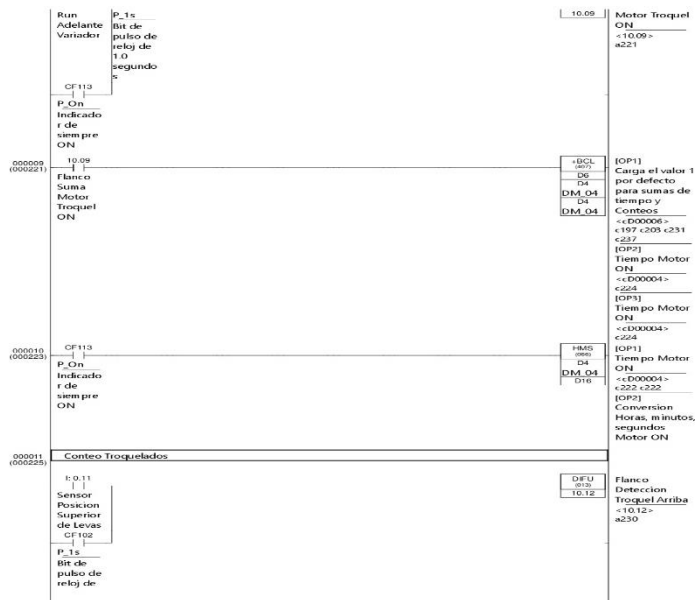


Figura 60. Programa PLC, Hoja 14.

Fuente: Elaboración Propia.

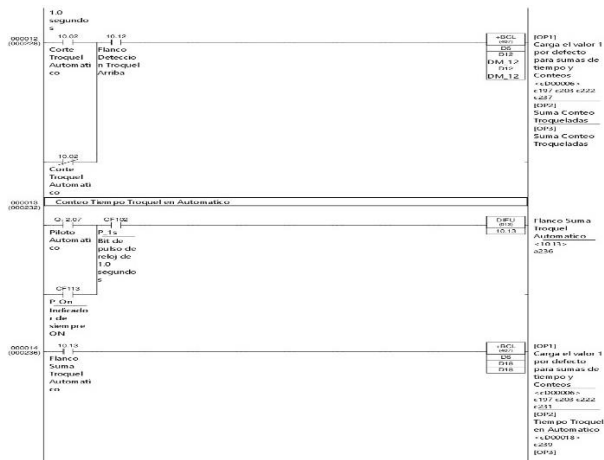


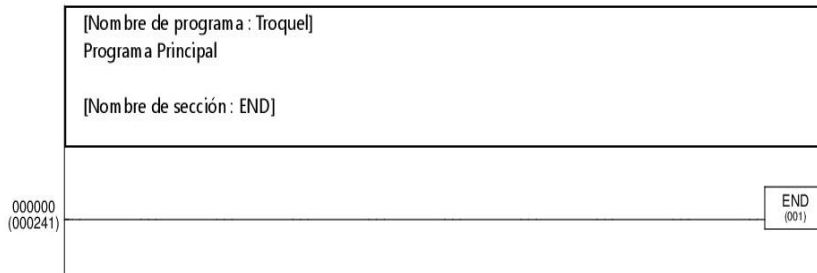
Figura 61. Programa PLC, Hoja 15.

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 62.** Programa PLC, Hoja 16.  
Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 63.** Programa PLC, Hoja 17



Fuente: Elaboración Propia.

#### 5.4.3 Sistema de fallos HMI local

Desde la Figuras 64 hasta la Figura 71 se muestra la configuración de la pantalla HMI, que se va utilizar en el proyecto. Esta HMI se encuentra ubicada en un panel del alimentador de la máquina, la cual se comunica mediante RS-232 con el PLC del troquel. Las imágenes muestran la configuración de la conexión, las diferentes pantallas, etiquetas y los mensajes de alarma o fallo.

```

NTXS Settings :
Memory           : 64KB
Printer Port Settings :
Baudrate         : 9600
Parity           : None
No of Bits       : 8
No of Columns    : 80
Terminating Character : CR + LF

```

**Figura 64.** Configuración de Conexión, HMI.  
Fuente: Elaboración Propia.

```

NTXS Nodes :
Node Address  Node Name          NTXS Unit / PLC Name
000           Node0
000           PLC_CJ2            Omron Host Link ( CQM1 )
001           Servo_Omron        Omron Host Link ( CJ1 )

```

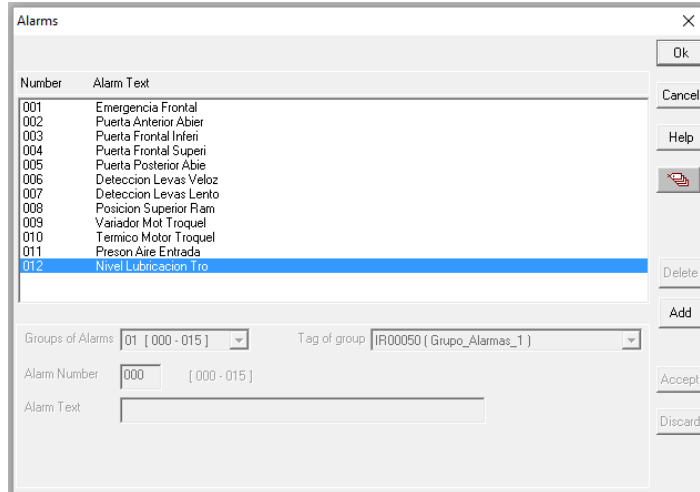
**Figura 65.** Nodos de conexión, HMI.  
Fuente: Elaboración Propia.

```

NTXS Tags :
No.   Node Name      Tag          Bytes  Tag Name
0012  Node0            S0001        2      Tag1
0013  Node0            S0003_14     -      Tag2
0014  Node0            S0003_15     -      Tag3
0015  Node0            S0005        2      Tag4
0016  Node0            S0007        2      Tag5
0017  Node0            s0009        -      Tag6
0018  Node0            s0010        -      Tag7
0001  PLC_CJ2          DM00000      2      Tiempo Lubricacion Troquel
0002  PLC_CJ2          DM00001      2      Duracion Lubricacion
0003  PLC_CJ2          DM00004      2      Motor Troquel ON, segundos
0004  PLC_CJ2          DM00012      4      Conteo Troquelados
0005  PLC_CJ2          DM00016      High   Minutos Motor ON
0006  PLC_CJ2          DM00016      Low    Segundos Motor ON
0007  PLC_CJ2          DM00017      2      Horas Motor ON
0008  PLC_CJ2          DM00020      High   Minutos Troquel Automatico
0009  PLC_CJ2          DM00020      Low    Segundos Troquel Automatico
0010  PLC_CJ2          DM00021      2      Horas Troquel Automatico
0011  PLC_CJ2          IR00050      2      Grupo_Alarmas_1

```

**Figura 66.** Etiquetas, HMI.  
Fuente: Elaboración Propia.



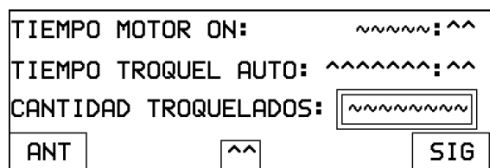
**Figura 67.** Etiquetas de Mensajes, HMI.  
Fuente: Elaboración Propia.

Screen No.0001      Screen Name : PRINCIPAL



**Figura 68.** Pantalla Principal.  
Fuente: Elaboración Propia.

Screen No.0002      Screen Name : REGISTROS



**Figura 69.** Pantalla de Totalizadores.  
Fuente: Elaboración Propia.

Screen No.0003      Screen Name : LUBRICACION

Lubricacion Troquel:	~~~~	Seg
Duracion Lubricacion:	~.~	Seg
ANT		INI

**Figura 70.** Pantalla Tiempos Lubricación.  
Fuente: Elaboración Propia.

Screen No.65001      Screen Name : Screen65001

				X
1	2	3	+/-	
4	5	6	CLR	
7	8	9		
0			ENT	

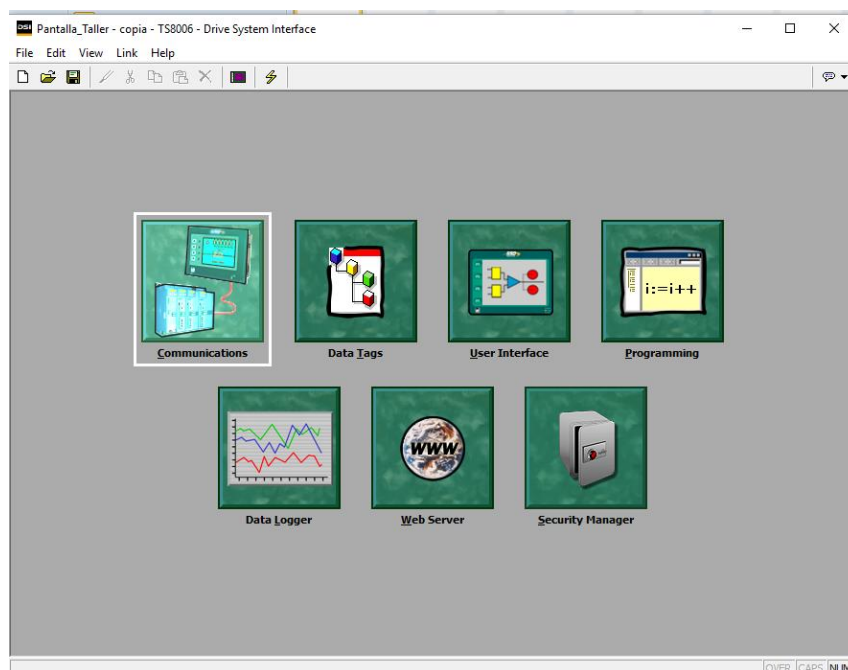
**Figura 71.** Pantalla Ingreso de datos, POP-UP.  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 5.4.4 Sistema HMI remoto

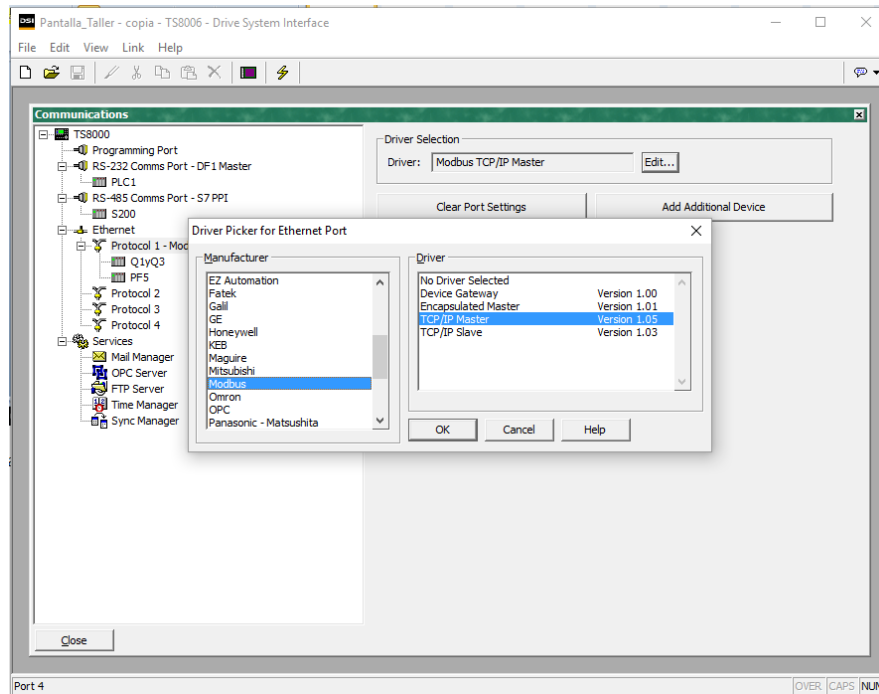
Para el monitoreo remoto de la máquina se va a utilizar un Arduino Uno, con una placa modular de ethernet y una pantalla táctil marca SSD drives modelo TS8006, con conexión ethernet también.

La comunicación entre el Arduino y el PLC se realiza mediante tres salidas digitales del PLC conectadas a tres entradas digitales del Arduino; esto, debido a que el único puerto de comunicación serial del PLC se va a emplear para la comunicación con la pantalla o HMI local (RS-232). El Arduino tomará la imagen del puerto D (GPIO desde el 0 hasta el 7) y la escribirá en el Holding Register 40001, el cual será leído mediante el protocolo Modbus TCP/IP bit a bit desde la

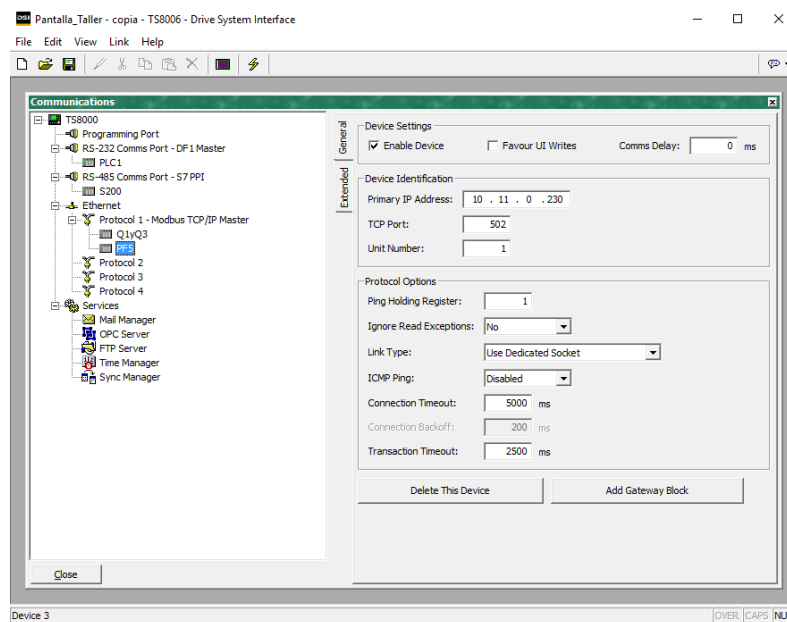
pantalla remota ubicada en el taller de mantenimiento. Como solo se utilizan tres entradas digitales para determinar el estado del troquel, entonces la pantalla remota utilizará también solo tres bits del HR40001, y estos bits serán usados para mostrar en dicha pantalla mensajes de fallo o estado de la máquina. Desde la Figura 72 hasta la 84 se muestra la configuración de la pantalla remota, la cual ya cuenta con una configuración previa por ethernet realizada hacia un equipo remoto, también por Modbus TCP/IP. Para la configuración de dicha pantalla remota se utiliza el software DSI8000 propiedad de SSD Drives. Esta pantalla es un modelo viejo y obsoleto debido a que la marca SSD Drives fue adquirida por Parker; sin embargo el nuevo modelo es exactamente igual, pero con otra marca. El software DSI8000 también se puede utilizar para programar los modelos nuevos; sin embargo, con el software nuevo llamado DSI3 se dispone de una mejor interfaz de programación y más funciones. Los programas viejos se pueden migrar hacia el nuevo software.



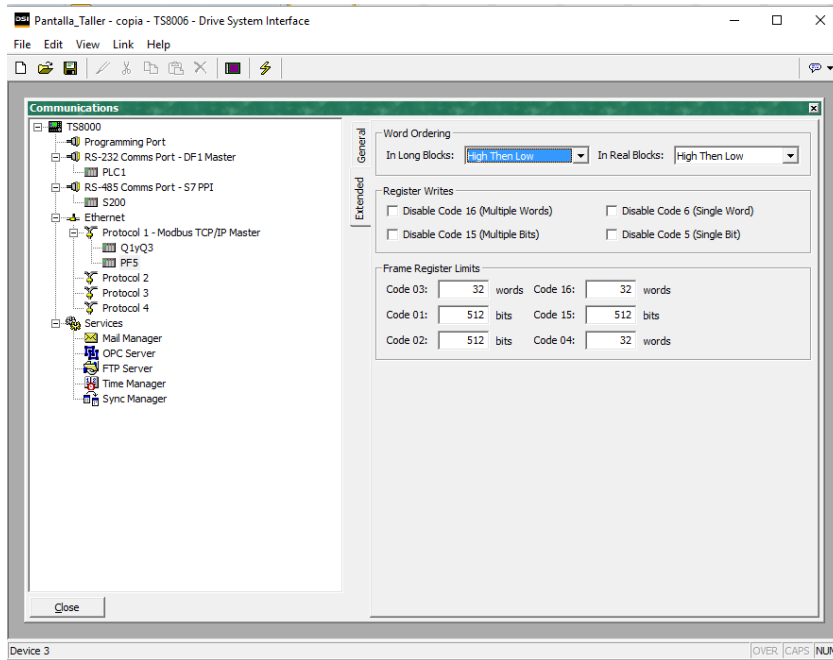
**Figura 72.** Configuración pantalla remota, TS8006, Inicio.  
Fuente: Elaboración Propia.



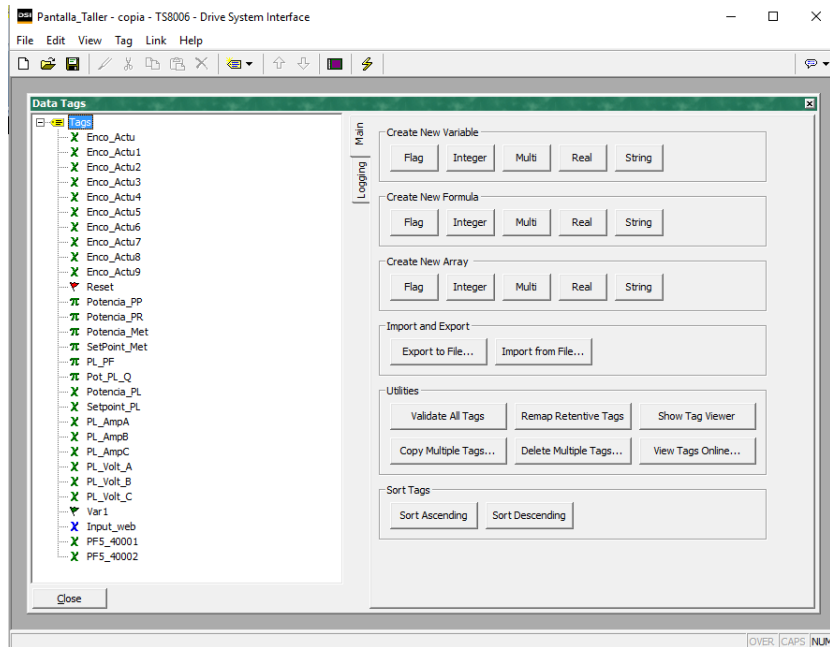
**Figura 73.**Selección del protocolo.  
Fuente: Elaboración Propia.



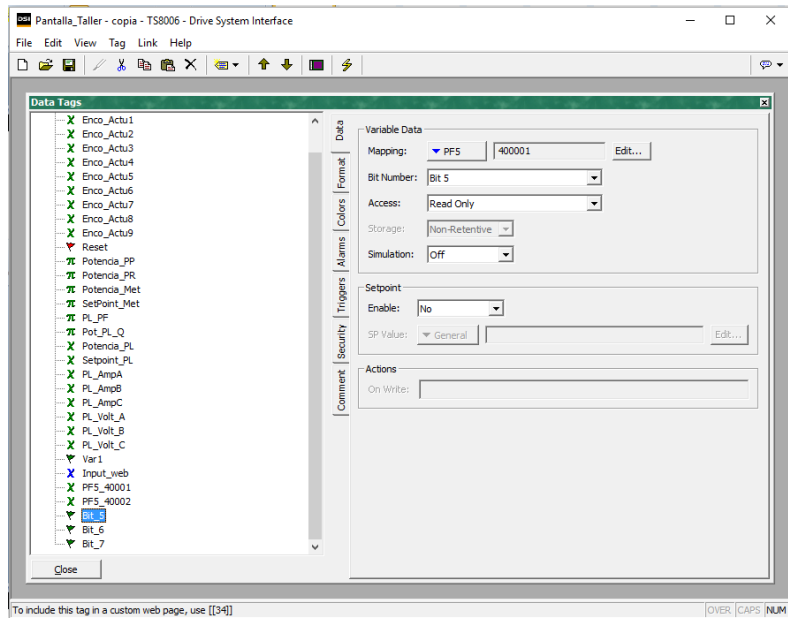
**Figura 74.**Configuración de la conexión.  
Fuente: Elaboración Propia.



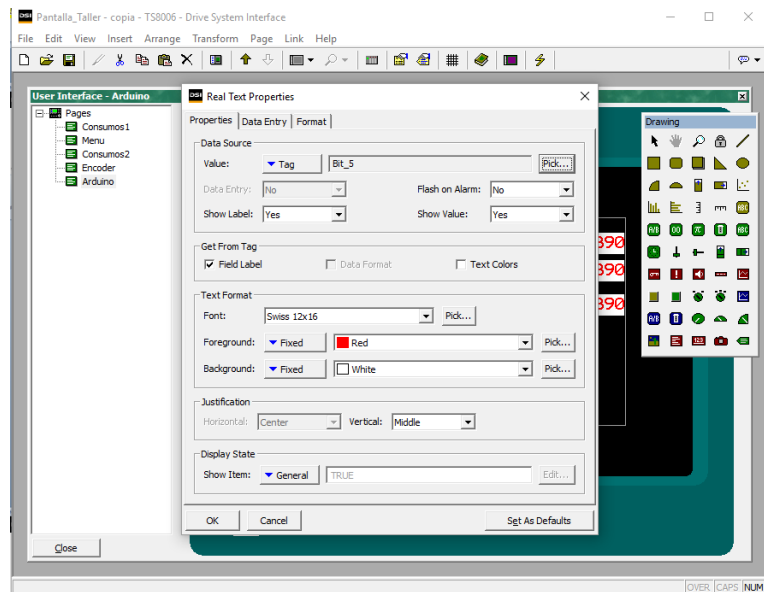
**Figura 75.** Configuración conexión modbus.  
Fuente: Elaboración Propia.



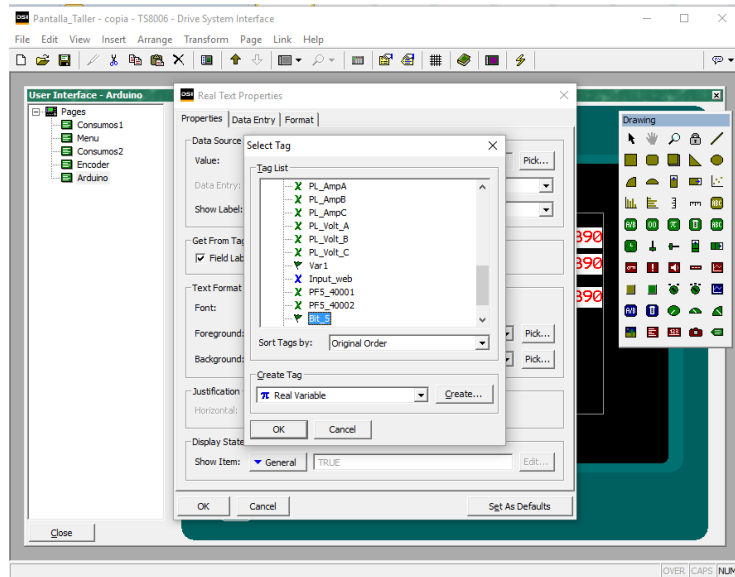
**Figura 76.** Configuración de etiquetas o Tags.  
Fuente: Elaboración Propia.



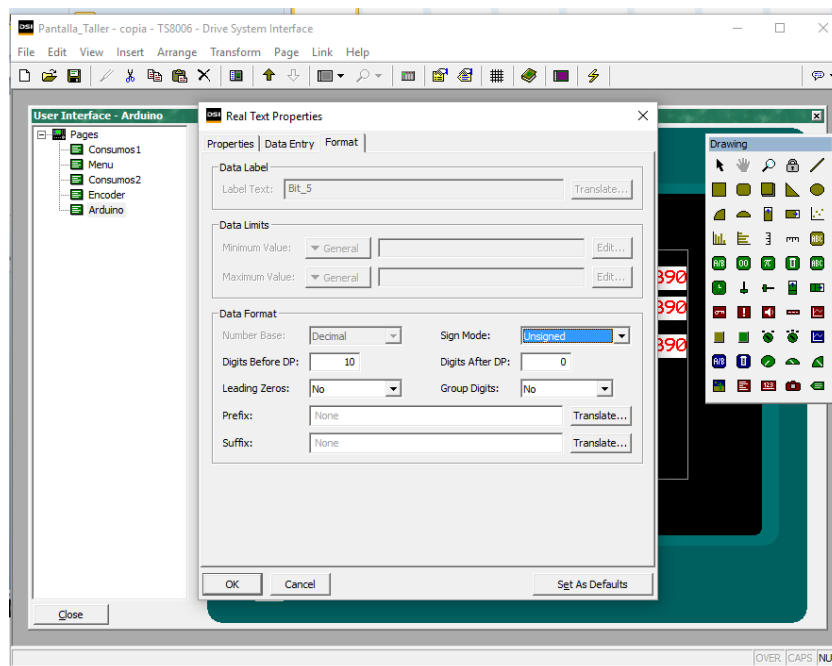
**Figura 77.** Configuración de las etiquetas, bits.  
Fuente: Elaboración Propia.



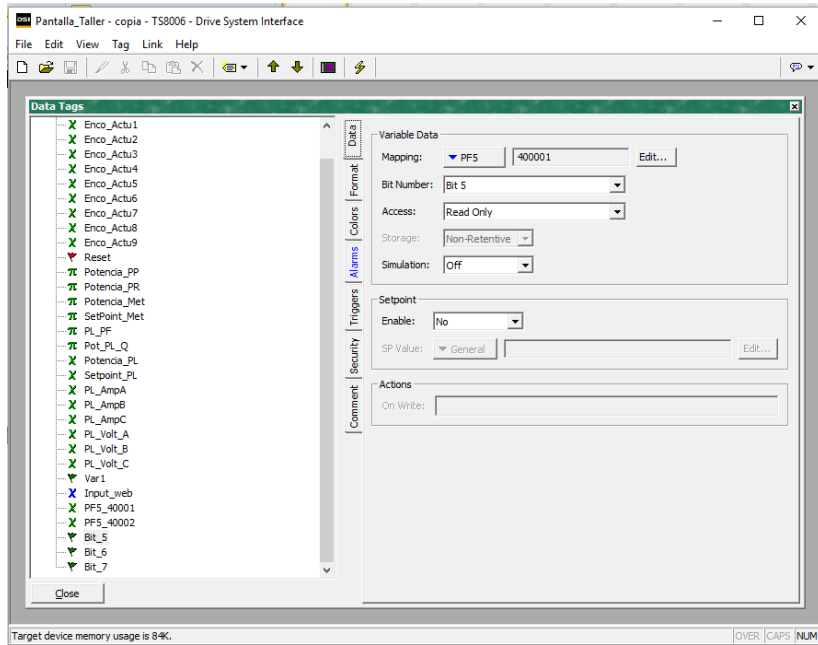
**Figura 78.** Configuración de bits.  
Fuente: Elaboración Propia.



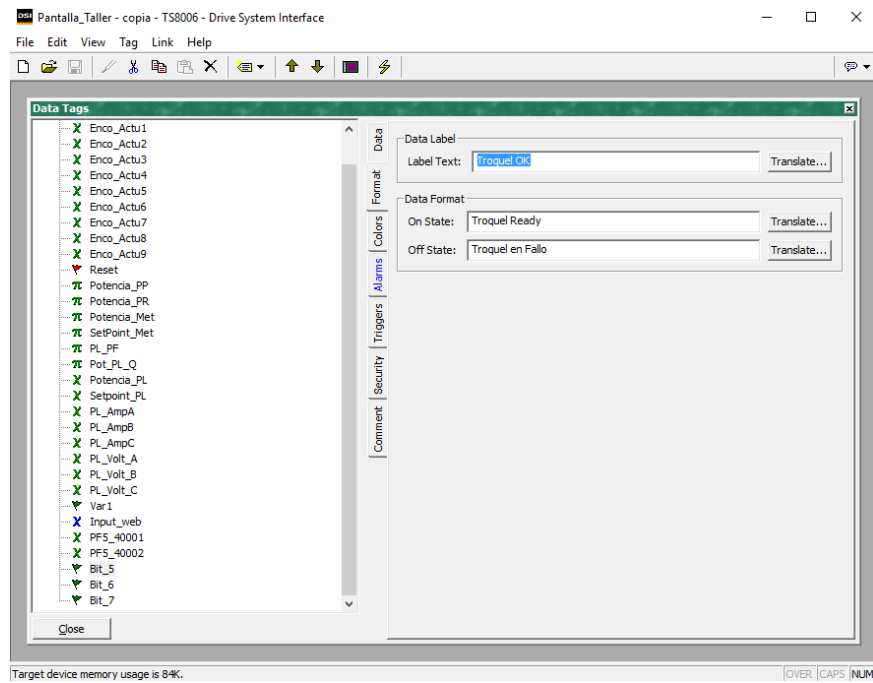
**Figura 79.** Selección del Tag.  
Fuente: Elaboración Propia.



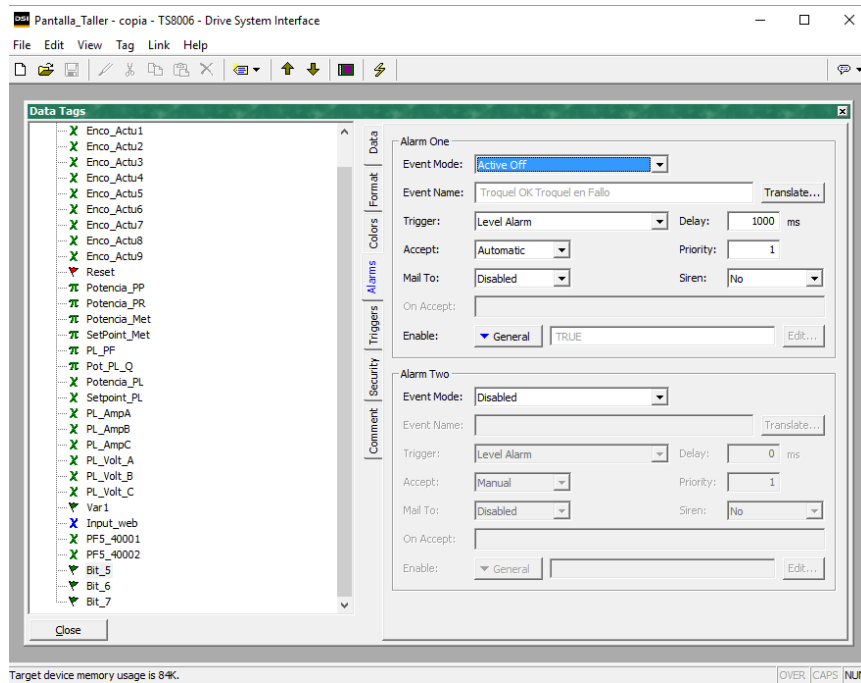
**Figura 80.** Configuración de bits, tags.  
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 81.** Configuración de bits, tags.  
Fuente: Elaboración Propia.

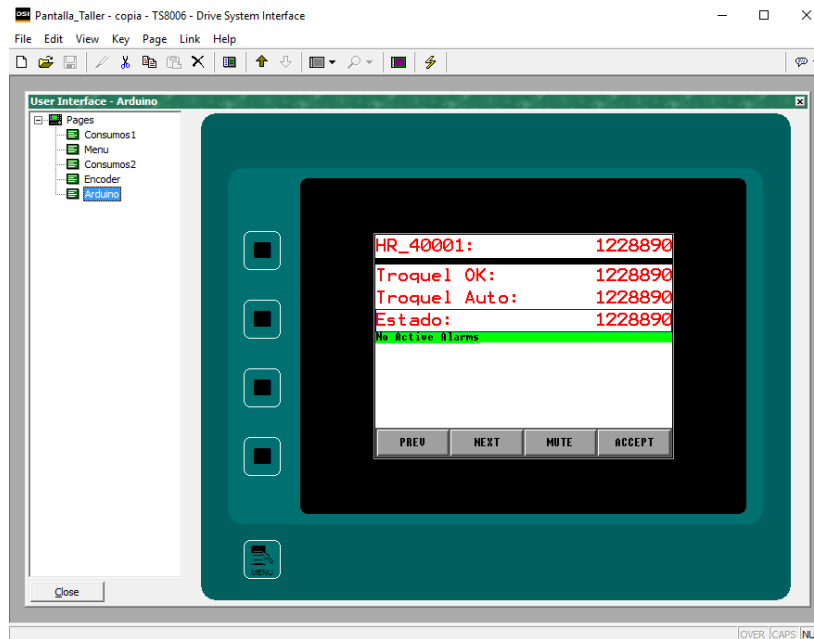


**Figura 82.** Pantalla Ingreso de datos, POP-UP.  
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 83.** Configuración de alarmas, tags.

Fuente: Elaboración Propia.



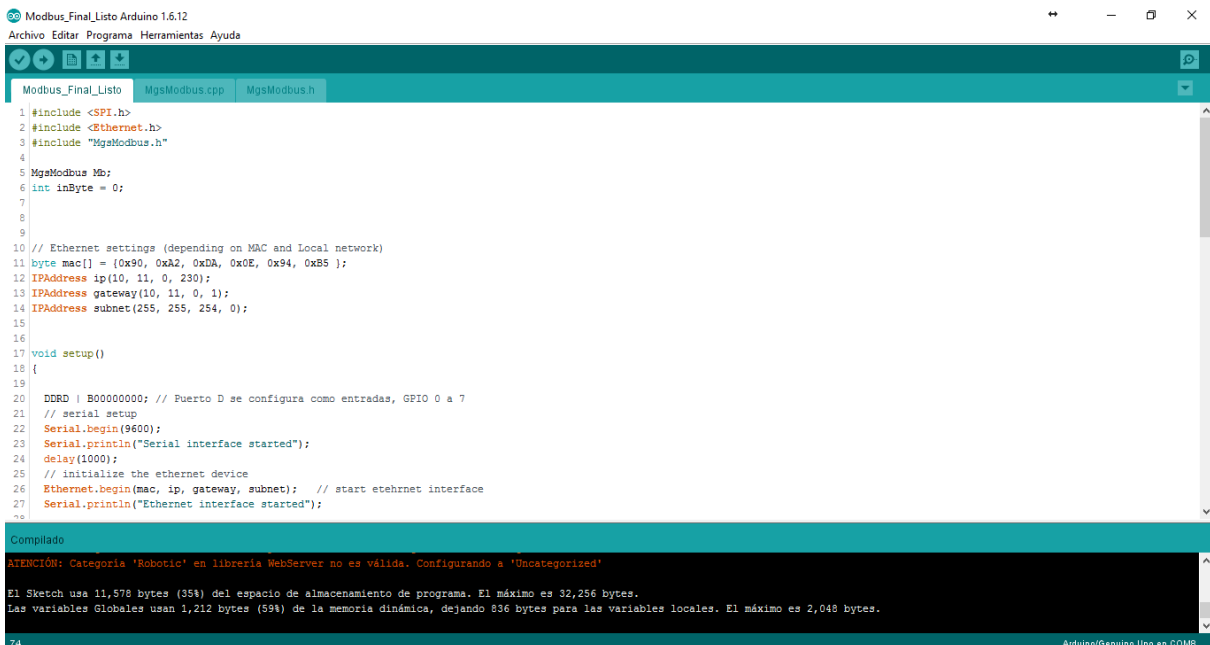
**Figura 84.** Vista de pantalla de mensajes y bits.

Fuente: Elaboración Propia.

### 5.4.5 Sistema Arduino, monitoreo remoto

La comunicación entre el Arduino el PLC, como se mencionara en el apartado anterior, se realiza mediante salidas digitales del PLC, conectadas a entradas digitales del Arduino Uno. Debido a que las entradas digitales del Arduino son a 5Vdc, se usan contactos secos; esto para aislar los voltajes de 24Vdc de control de la máquina y los 5Vdc de control del Arduino.

La comunicación entre el Arduino Uno y la pantalla remota TS8006, se realiza mediante una placa modular ethernet instalada sobre el Arduino, modelo W5100, y utilizará el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP. La configuración realizada en el Arduino se basa en la utilización de la librería Modbus TCP/IP, que viene en las librerías del Arduino IDE. Se usa como base un proyecto de MyArduinoprojects.com, el cual se modificó y adaptó al proyecto. Esta es la programación realizada:

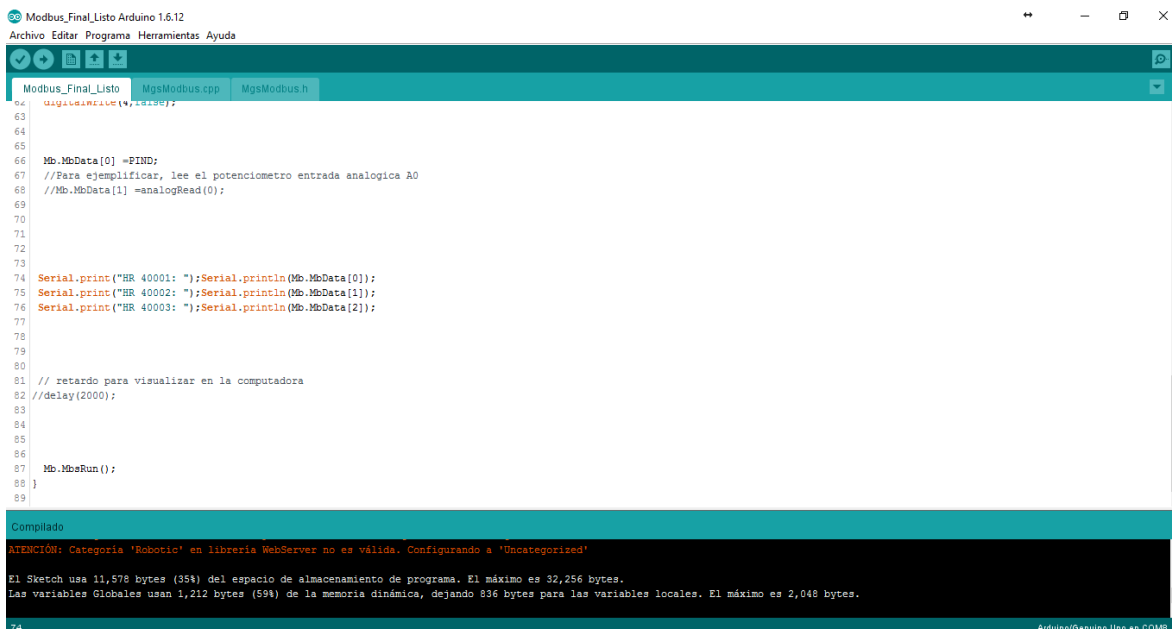


```
Modbus_Final_Listo Arduino 1.6.12
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Modbus_Final_Listo MgsModbus.cpp MgsModbus.h

1 #include <SPI.h>
2 #include <Ethernet.h>
3 #include "MgsModbus.h"
4
5 MgsModbus Mb;
6 int inByte = 0;
7
8
9
10 // Ethernet settings (depending on MAC and Local network)
11 byte mac[] = {0x90, 0xa2, 0xda, 0x0e, 0x94, 0xb5 };
12 IPAddress ip(10, 11, 0, 230);
13 IPAddress gateway(10, 11, 0, 1);
14 IPAddress subnet(255, 255, 254, 0);
15
16
17 void setup()
18 {
19
20   DDRD |= B00000000; // Puerto D se configura como entradas, GPIO 0 a 7
21   // serial setup
22   Serial.begin(9600);
23   Serial.println("Serial interface started");
24   delay(1000);
25   // initialize the ethernet device
26   Ethernet.begin(mac, ip, gateway, subnet); // start ethernet interface
27   Serial.println("Ethernet interface started");
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2
```





**Figura 88.** Pantalla Ingreso de datos, POP-UP.  
Fuente: Elaboración Propia.

## 5.5. Costos de la implementación del sistema en la producción

A continuación, se elabora una tabla donde se visualizan los costos de cada uno de los materiales y el precio total de los materiales.

**Tabla 13.** Costo de materiales.

Equipo	Cant	Und	Precio Unitario	Precio Total
PANTALLA NT3S OMRON ST124B-E	1	UN	Ⱶ390317.3	Ⱶ390317.3
FUENTE P/PLC MODELO CJ1W-PA205R OMRON	1	UN	Ⱶ120322.42	Ⱶ120322.42
VENTILACION FOR TPO VF85/115+REJILLA	1	UN	Ⱶ116080.38	Ⱶ116080.38
LUZ PILOTO XB4BVB4 22MM 24V ROJA	1	UN	Ⱶ12962	Ⱶ12962
PULSADOR RASANTE XB4BA51 22MM AMARILLO	1	UN	Ⱶ9790	Ⱶ9790

BASE #95.85 P/RELE FINDER 40.52	16	UN	€3381.32	€54101.12
RELE FINDER #40.52 2POLOS, 8AMP	16	UN	€3549.99	€56799.84
SELECTOR 2 POSICIONES /R XB4BD21 22MM	2	UN	€11723	€23446
DISYUNTOR MULTI 9 1P 3A COD.24397	1	UN	€7480	€7480
DISYUNTOR MULTI 9 C60N 2P 2A. COD.24332	1	UN	€21246	€21246
DISYUNTOR MULTI 9 C60N 3P 20A COD.24351	1	UN	€36340.66	€36340.66
GUARDA MOT 6.3-10A 140M-C2E-C10	1	UN	€61061.07	€61061.07
PULSADOR RASANTE XB4BA42 22MM ROJO	1	UN	€1225.75	€1225.75
TERMINAL TBU GRIS 12 AWG 9026010000	200	UN	€27.4	€5480
TAPAS P/BORNERAS M.1492-EBJ3 AB	1	UN	€297.96	€297.96
BLOCK DISTRIBUCION 4P 125A COD.004886	1	UN	€20678	€20678
LUZ PILOTO #99.80 P/RELE FINDER 40.52	16	UN	€425	€6800
LUZ PILOTO XB4BVB3 22MM 24V VERDE	1	UN	€12962	€12962
TRANSFORMADOR 0.5KVA/5A SQUARE-D 500SV1B	1	UN	€130721.24	€130721.24
CPU P/PLC MODELO CJ2M-CPU12 OMRON	1	UN	€260798.95	€260798.95
MODULO ENTRADA DIGITAL CJ1W- ID211 OMRON	3	UN	€42965.92	€128897.76
MODULO SALIDA DIGITAL CJ1W- OC211 OMRON	2	UN	€71899.29	€143798.58
CANALETA PLT RAN 60X40MM	4	UN	€5036.69	€20146.76
CABLE TFF #18 AWG NEGRO	200	M	€107.35	€21470
BORNE 44A 6MM 16-8 AWG 8WA1011- 1PH00	10	UN	€2066.46	€20664.6
RIEL DIN 35MM AM1DP200 SCHNEIDER	1	UN	€3796.18	€3796.18
BORNERA 2.5MM MOD.1492-J3 AB	100	UN	€401.34	€40134
BORNERA 4MM MOD.1492-J4 AB	100	UN	€443.9	€44390
PUENTE TORNILLO P/BORNE MOD.1492 CJJ5-10	10	UN	€1672.24	€16722.4
PUENTE P/BORNERA 4MM MOD.1492- CJJ6-10	10	UN	€2268.16	€22681.6
TOPE FINAL P/RIEL DIN MOD.1492- EAJ35	10	UN	€1378.664	€13786.64
DISPOSITIVO SEG P/SENSOR UE 10-	1	UN	€40187.38	€40187.38

30S2DO				
Max232 Breakout	1	UN	₡3940	₡3940
Arduino Uno	1	UN	₡25000	₡25000
			Total:	₡1894526.59

Fuente: Elaboración SAP.

En la siguiente tabla se muestra el costo de las horas del técnico a cargo de la implementación.

**Tabla 14.** Horas Técnico.

Salario Hora:	Horas Duración	Costo Total
₡3050	295	₡899750

Fuente: Elaboración del estudiante.

El gasto total de materiales es de ₡1894526,59 como lo muestra la tabla 4 y por conceptos de mano de obra es de ₡899750 como lo muestra la tabla 5. Por lo tanto, el costo total es de ₡2 804 716.59; también se le debe agregar el gasto del salario mensual del operador que es de ₡350000.

## 5.6 Flujo de inversión

Una vez finalizado el diseño se puede realizar el estudio financiero del proyecto para determinar su viabilidad económica; para ello, se analiza el valor interno de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN), lo cual permitirá emitir un criterio de la factibilidad económica.

Para anterior, se hace uso de la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

**Figura 89.** Fórmula del VAN.

$F_t$  son los flujos de dinero en cada periodo  $t$

$I_0$  es la inversión realiza en el momento inicial ( $t = 0$ )

$n$  es el número de periodos

$k$  es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

Utilizando las tablas 4 y 5 que corresponden a la lista de materiales y costos por mano de obra, se obtiene que la inversión inicial es de ₡2 804 716.59; el flujo de efectivo de cada periodo se calcula multiplicando el valor productivo hora de la máquina, por el tiempo promedio de parada mensual de esta.

$$Ft = 4.34 * ₡434 700 = ₡1887322.5$$

El flujo de efectivo para el primer periodo es de ₡1887322.5; dado que el proyecto se realiza con fondos propios de la compañía el valor de actualización se calcula en cero.

Aplicando las fórmulas al VAN, se obtiene el siguiente cuadro:

**Tabla 15.** Flujo del proyecto

<b>FLUJO DE PROYECTO: Troquel perfiladora 5, Metalco S. A</b>						
INGRESOS	P0	P1	P2	P3	P4	P5
Ingresos Mensuales		₡1,887,322.5	₡1,981,688.6	₡2,080,773.1	₡2,184,811.7	₡2,294,052.3
TOTAL DE INGRESOS	₡0	₡1,887,322.5	₡1,981,688.6	₡2,080,773.1	₡2,184,811.7	₡2,294,052.3
Inversión inicial	₡2,804,716.6					
Salario Operador		₡350,000.0	₡350,000.0	₡350,000.0	₡350,000.0	₡350,000.0
TOTAL DE EGRESOS	₡-2,804,716.6	₡-350,000.0	₡-350,000.0	₡-350,000.0	₡-350,000.0	₡-350,000.0
FLUJO	₡-2,804,716.6	₡1,537,322.5	₡1,631,688.6	₡1,730,773.1	₡1,834,811.7	₡1,944,052.3
FLUJO NETO	₡-2,804,716.6	₡-1,267,394.1	₡364,294.5	₡2,095,067.6	₡3,929,879.3	₡5,873,931.6

Se puede obtener el VAN para el segundo periodo ₡269928.4.

Ahora, se calcula el TIR con el segundo periodo, que es cuando el VAN es positivo:

$$TIR = \left( \frac{FNC}{A} - 1 \right) \cdot 100\%$$

Se sustituyen los datos en la fórmula:

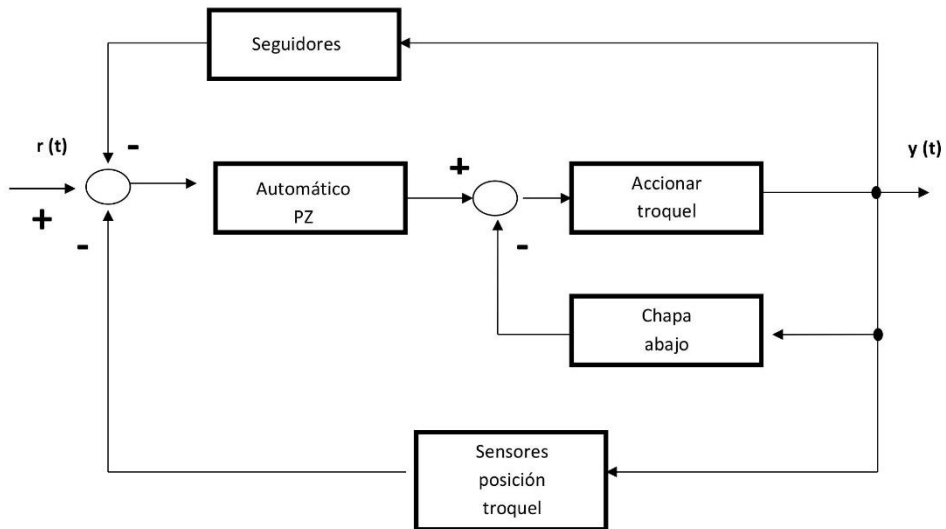
$$TIR = \left( \frac{1537322,5}{1267394,1} - 1 \right) \cdot 100\% = 21.3\%$$

Se obtiene el TIR en el segundo periodo con un valor de 21.3%.

Con los cálculos de TIR y VAN ya realizados, se determina que en el segundo periodo se empieza a recuperar la inversión realizada; por lo tanto, el proyecto es viable.

## 5.7 Algoritmo de control

El siguiente algoritmo de control muestra la lógica de funcionamiento del sistema.



**Figura 90.** Algoritmo de control.  
Fuente: Elaboración Propia.

## 5.8 Descripción de actividades

**Tabla 16.** Cronograma de actividades.

Actividades	Fecha	Responsable	Entregable
Realizar un análisis detallado tanto del sistema actual como de los equipos necesarios para la implementación.	Julio 2016 5 días	Electrónico de mantenimiento	Análisis detallado tanto del sistema actual como de los equipos necesarios para

			la implementación.
Realizar el diseño del sistema de control.	Agosto 2016 10 días	Electrónico de mantenimiento	Diseño del sistema nuevo
Ensamblaje o armado del panel de control principal del troquel.	Octubre 2016 20 días	Electrónico de mantenimiento	Panel armado
Revisar y corregir la programación y cableado del panel.	Octubre 2016 3 días	Electrónico de mantenimiento	Informe escrito
Poner en marcha el sistema propuesto.	Febrero 2017 2 días	Electrónico de mantenimiento	Sistema automatizado en máquina
Capacitar al personal.	Febrero 2017 1 día	Electrónico de mantenimiento	Charla

Elaboración propia.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

- La operación del sistema actual carecía de un sistema adecuado para la visualización de defectos de funcionamiento de la troqueladora y generaba errores y muchos fallos en el proceso.
- Se requirió modificar las variables de entradas y salidas digitales del sistema de control, pues algunas no eran utilizables.
- El diseño del sistema de control automático de la troqueladora demandó un análisis exhaustivo de las variables con verificación de las entradas más importantes.
- La inversión se recupera en menos de tres meses, debido a la poca inversión y alta eficiencia de la máquina en general.
- Con el TIR Y VAN se logró determinar la viabilidad e importancia del proyecto en la empresa.
- El sistema logra realizar autodiagnósticos de los fallos y mostrarlos en la pantalla HMI mediante la programación nueva.
- Por medio del Arduino y una pantalla HMI instalada en el taller, comunicados vía MODBUS TCP/IP, se logró un monitoreo de la máquina en tiempo real.
- Las fallas recurrentes, prolongadas y el alto costo del reemplazo de la tarjeta principal del sistema actual, fueron los motivos para la implementación de este proyecto.

- El sistema ahora permite modificar la programación, por lo que es más versátil y adaptable a la necesidad de la compañía.
- El mecanismo cuenta con un sistema que muestra una serie de fallos en la pantalla HMI, en español, lo cual agiliza la resolución de la avería.
- El personal de mantenimiento eléctrico no requiere dedicar tanto tiempo a la determinación de fallos y su respectiva reparación en el troquel.
- El funcionamiento del troquel mejoró, pues se eliminaron los tiempos de paro por mal funcionamiento de la tarjeta de control.

## **6.2 Recomendaciones**

- Se debe tener un stock mínimo de partes en caso de requerir reemplazo de algún componente dañado.
- En caso de daño permanente en el variador del cigüeñal del troquel, se debe reemplazar por un variador de la marcha Schneider, pues esta última es la marca estandarizada por la empresa.
- Las modificaciones que se realicen en la programación deben ser realizadas por personal calificado, pues un error en esta puede provocar una avería mecánica grave.
- Se le debe impartir al personal de mantenimiento una capacitación relativa al funcionamiento del Arduino, para promover el aprendizaje sobre la detección de fallas, diagnósticos y limitaciones de monitoreo remoto.

## 6.3 Bibliografía

- Arduino. (2017). *Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno>
- Arduino. (2017). *Arduino cc*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Reference/PortManipulation>
- Carletti, E. J. (2016). Recuperado el 5 de 10 de 2016, de [http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion\\_max232.htm](http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion_max232.htm)
- CVSoft. (2011). (E. CVSoft, Editor) Recuperado el 05 de 10 de 2016, de <http://www.cvsoft.com/>
- Eplan Software. (2016). Recuperado el 5 de 10 de 2016, de <http://www.eplan.es/es/soluciones/ingenieria-electrica/eplan-electric-p8/>
- ESP8266-modulos. (2016). Recuperado el 5 de 10 de 2016, de <http://visystem.ddns.net:7442/ESP8266-modulos/>
- Fundacion Wikipedia Inc. (2016). Recuperado el 5 de 10 de 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Ethernet>
- Instruments, N. (16 de 10 de 2014). *Ni*. Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/52134/es/>
- Julián Pérez Porto, A. G. (2010). Recuperado el 5 de 10 de 2016, de <http://definicion.de/wifi/>
- Llopis Roberto Sanchis, J. A. (2010). *Automatizacion Industrial*. Publications de la Universitat Jaume. Obtenido de <http://www.tenda.uji.es>
- Metalco. (10 de 08 de 2016). *Metalco.net*. Obtenido de web: <http://www.metalco.net/nuestra-empresa.html>
- Modbus Organization. (5 de 10 de 2016). Obtenido de <http://www.modbus.org/faq.php>

Omron Corporation. (2016). Recuperado el 5 de 10 de 2016, de  
<https://industrial.omron.es/es/products/cx-programmer>

Omron Corporation. (5 de 10 de 2016). *Omron*. Recuperado el 5 de 10 de 2016,  
de <https://industrial.omron.es/es/products/ntxs>

Parker. (s.f.). *Parker*. Obtenido de <http://ph.parker.com/us/17052/en/ts8000-dedicated-hmi-automation-operator-panels>

Porto, J. P. (2016). Recuperado el 5 de 10 de 2016, de  
<http://definicion.de/ciguenal/>

tuelectronica.es. (24 de 7 de 2016). Recuperado el 5 de 10 de 2016, de  
<http://www.tuelectronica.es/noticias/que-es-arduino-ide.html>