

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



**“MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS:
INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN
MECATRÓNICA**

AUTOR: FELITO RICARDO VALENCIA COVEÑA

DIRECTOR: ING. WASHINGTON MOSQUERA

Ibarra, 2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	131345711-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Valencia Coveña Felito Ricardo		
DIRECCIÓN:	Crucita – Portoviejo – Manabí		
EMAIL:	frvalenciac@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	05 2340617	TELÉFONO MÓVIL:	0969981140

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Máquina universal de ensayos destructivos: instrumentación y control
AUTOR:	Valencia Coveña Felito Ricardo
FECHA:	26 de Julio de 2018
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
DIRECTOR:	Ing. Washington Mosquera

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra, objeto de la presente autorización, es original y se la desarrolló sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 26 días de Julio del 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Felito Ricardo Valencia Coveña', written over a horizontal line.

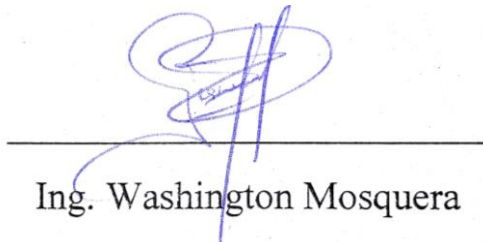
Firma

Nombre: Felito Ricardo Valencia Coveña

Cédula: 131345711-9

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado “MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS: INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL”, certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Felito Ricardo Valencia Coveña, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'W' and 'M' intertwined, positioned above a horizontal line.

Ing. Washington Mosquera

DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis de manera muy especial a mi madre Rosario Coveña y a mi padre Felito Valencia, a mis hermanos Alexis y Angel, y demás familiares y amigos quienes gracias a sus consejos y apoyo incondicional me dieron fuerzas y motivación para realizar este trabajo de tesis. Muy especial a mis padres por darme la educación que ahora tengo.

Ricardo Valencia Coveña

AGRADECIMIENTO

A mis padres Felito Valencia y Rosario Coveña, mi mayor gratitud y agradecimiento por todo el apoyo que me brindan. A mis hermanos Angel y Alexis; mis motivadores y los que me inspiran en cada objetivo que me planteo, son mi mayor fortaleza y mis mejores ejemplos a seguir, son los que me hacen ver que las dificultades de la vida solo existen en la mente de los mediocres. También un profundo agradecimiento a mis docentes, a mis compañeros y a todas las personas que hicieron posible que yo logre terminar esta etapa de mi vida.

Ricardo Valencia Coveña

RESUMEN

La Universidad Técnica del Norte, dentro de su programa de innovación tecnológica, busca tener las mejores herramientas para el aprendizaje de los estudiantes en los diferentes laboratorios que posee. La universidad pretende mejorar cada año las herramientas de trabajo para que los estudiantes tengan un mejor aprendizaje. Con la máquina de ensayos destructivos, el estudiante podrá comprobar la resistencia de un material a cierta fuerza aplicada. La universidad, en su facultad de ciencias aplicadas, necesitan de este tipo de máquinas para la realización de sus proyectos.

La presente tesis de grado se enfoca en la automatización y control de tipo industrial mediante el uso de PLC para una máquina universal de ensayos destructivos, utilizando los instrumentos necesarios para el funcionamiento básico de la máquina e implementando seguridades para el usuario.

Se establece el diagrama de flujo para determinar el funcionamiento básico de la máquina y realizar la programación del PLC. El PLC adquiere las señales y las envía al HMI diseñado en Labview, donde se realiza el control y supervisión de datos; la comunicación entre el PLC y HMI se establece a través del módulo NI OPC Servers de Labview. Luego de listar los elementos que intervienen en el control de la máquina, se procede a la construcción del tablero y montaje de equipos para comprobar el funcionamiento de los dispositivos y comunicación entre sistemas.

Este sistema de automatización permitirá añadir nuevos elementos y acoplarse a nuevos equipos, en caso de ser necesario, por esta razón el PLC y módulo de entradas y salidas analógicas está sobredimensionado para poder añadir más señales. Además, el tablero eléctrico tiene espacio para colocar otros componentes.

ABSTRACT

The North Technical University, inside the technological innovation program, focus to have the best tools of learning to the students in the different laboratories. With the universal testing machine, the student will be able to determinate the properties and check the resistance of a material to a strength applied. The university, in his faculty of sciences applied, need of this type of machines for the realization of his projects.

The present thesis of degree focuses in the automation and control of industrial type by means of the use of PLC for a universal testing machine, using the necessary instruments for the basic operation of the machine and implementing securities for the user.

The flow diagram established, determine the basic operation of the machine and make the programming of the PLC. The PLC receive signals and sends them to the HMI designed in Labview, where makes the control and supervision of data; the communication between the PLC and HMI establish through the Labview NI OPC Servers module. Afterwards to list the elements that take part in the control of the machine, proceeds to the construction of the electrical board and placing of components to check the operation of the devices and communication between systems.

This system of automation will allow to add new elements and join up to new teams, in case to be necessary, for this reason the PLC and analog input/output module exits is oversized to be able to add more signals. Besides and the electrical board has enough space to install other components.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
CONSTANCIAS	iii
CERTIFICACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xviii
INTRODUCCIÓN	1
Definición del problema.....	1
Objetivo General.....	2
Objetivos específicos.....	2
Antecedentes.....	2
Justificación.....	4
Alcance.....	4
CAPÍTULO I	5
1. Marco teórico.....	5
1.1. Ensayo de materiales.....	5
1.2. Objetivo de los ensayos.....	6
1.3. Máquina universal de ensayos.....	6
1.4. Tipos de ensayos.....	7
1.4.1. Ensayo de tracción.....	7
1.4.2. Ensayo de compresión.....	8
1.4.3. Ensayo de flexión.....	9
1.5. Probetas.....	10
1.5.1. Probetas en ensayos a tracción.....	11

1.5.2.	Probetas en ensayos a compresión	12
1.5.3.	Probetas en ensayos a flexión.....	13
1.6.	Diagrama esfuerzo – deformación	13
1.6.1.	Esfuerzo.....	14
1.6.2.	Deformación.....	14
1.6.3.	Diagrama	15
1.7.	Sistema automatizado.....	17
1.7.1.	Parte de mando	17
1.7.2.	Parte operativa.....	17
1.7.3.	Ventajas de un sistema automatizado.....	18
1.8.	El PLC.....	18
1.8.1.	Ventajas del uso del PLC	19
1.8.2.	Campos de aplicación.....	20
1.8.3.	Modo de funcionamiento	21
1.8.4.	Ciclo de funcionamiento	21
1.9.	Protecciones	22
1.9.1.	Protecciones para un motor	22
1.9.1.1.	Breaker principal	22
1.9.1.2.	Dispositivo para maniobras	22
1.9.1.3.	La protección contra sobrecarga.....	23
1.9.2.	Interruptor de control de potencia (protección general).....	23
1.9.3.	Contactador	24
1.9.4.	Guardamotor.....	24
1.9.5.	Relé	25
1.9.6.	Diferencias entre relé y contactor.....	26
1.10.	Sensores.....	26
1.10.1.	Interruptor de final de carrera mecánico.	26
1.10.2.	Celda de carga.	27
1.10.3.	Extensómetro.....	28
CAPÍTULO II		29
2.	Metodología	29
2.1.	Descripción del sistema.....	29
2.1.1.	Sistema de lazo abierto.....	29

2.2.	Diagrama de flujo.....	30
2.3.	Descripción del diagrama de flujo	30
2.3.1.	Preparación del ensayo.....	30
2.3.2.	Selección del tipo de ensayo	32
2.3.3.	Ejecución del ensayo y lectura de datos.....	33
2.3.4.	Fin del ensayo.....	34
2.4.	Dispositivos que intervienen	34
2.5.	Selección del PLC	36
2.5.1.	Consideraciones para entradas y salidas	36
2.5.2.	Expansiones y modificaciones futuras	37
2.5.3.	Características del PLC Siemens S7-1200	38
2.5.4.	Características del micro PLC logo8.....	38
2.5.5.	Características del PLC XINJE XC3-24R-C.....	38
2.5.6.	Características del PLC Allen Bradley 1400.....	39
2.5.7.	Matriz de decisión para la selección del PLC	39
2.5.8.	Selección del PLC más viable	40
2.6.	Selección de la celda de carga.....	40
2.6.1.	Características Siemens SIWAREX WL280 RN-S SA	41
2.6.2.	Características DPF –BPSE	41
2.6.3.	Características EMIC CCE600KN.....	41
2.6.4.	Matriz de decisión para la selección de la celda de carga	41
2.6.5.	Selección de la celda de carga más viable.....	42
2.7.	Selección del extensómetro	42
2.8.	Selección del final de carrera	44
2.9.	Diseño del tablero de control	45
2.9.1.	Panel frontal	45
2.9.2.	Panel interno.....	46
2.9.3.	Selección de cables.....	47
2.10.	Cálculo de protecciones	49
2.10.1.	Guardamotor.....	49
2.10.2.	Selección de contactores	49
2.10.3.	Protección general (Breaker).....	50
2.11.	Programación del PLC	50
2.11.1.	Diagrama de entradas y salidas	51

2.11.2.	Diagrama GRAFCET	52
2.11.3.	Programación en el software XCP PRO.....	53
2.11.4.	Lista de variables usadas en la programación del PLC	54
2.11.4.1.	Entradas digitales	54
2.11.4.2.	Salidas digitales.....	55
2.11.4.3.	Memorias internas del PLC.....	55
2.11.4.4.	Salidas y entradas analógicas	56
2.11.4.5.	Registro de datos	57
2.11.5.	Adquisición y envío de datos	57
2.11.5.1.	Comunicación del PLC Xinje y Labview 2014.....	58
2.11.5.2.	Módulo Labview Datalogging and Supervisory Control (DSC).....	58
2.11.5.3.	NI OPC Servers	59
2.11.5.4.	Configuración NI OPC Servers	59
CAPÍTULO III		60
3.	Implementación y resultados.....	60
3.1.	Materiales eléctricos.....	60
3.2.	Etapas de ensamblaje del tablero de control	61
3.3.	Tablero de control	62
3.4.	Colores del cableado interno	63
3.5.	Etiquetado del cableado interno del tablero	64
3.6.	Pruebas y resultados.....	65
3.6.1.	Control por botonera de mando.....	65
3.6.3.	Medición de la fuerza aplicada.....	67
3.6.4.	Medición de la deformación del material.....	68
3.6.5.	Amplificación de señales	69
3.6.6.	Comunicación con el HMI	71
3.6.7.	Interfaz del HMI y simulación de datos	71
CAPÍTULO IV.....		73
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	73
4.1.	Conclusiones	73
4.2.	Recomendaciones.....	74

Bibliografía	75
ANEXOS.....	77
ANEXO 1: Configuración de NI OPC Servers	77
ANEXO 2: Manual del tablero eléctrico.....	85
ANEXO 3: Mantenimiento del tablero eléctrico.....	90
ANEXO 4: Características del PLC Xinje XC3- 24R-C.....	91
ANEXO 5: Características del módulo de entradas/salidas analógicas	92
ANEXO 6: Configuración del guardamotor para motores monofásicos.....	93
ANEXO 7: Abreviaturas y símbolos.....	94
ANEXO 8: Diagrama eléctrico	96
ANEXO 9: Conexiones de PLC.....	98
ANEXO 10: Conexiones de borneras	100
ANEXO 11: Dimensiones del tablero eléctrico	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Máquina universal de ensayos	7
Figura 2 : Tracción de materiales	8
Figura 3: Falla por tracción	8
Figura 4: Compresión de materiales.....	9
Figura 5: Flexión de un material	10
Figura 6: Probetas mecanizadas	10
Figura 7: Probetas para ensayos a tracción de diferentes materiales.....	11
Figura 8: Dimensiones y geometría de probeta de ensayo de tracción en la norma ASTM E8 ..	11
Figura 9: Dimensiones y geometría de probeta de ensayo de tracción laminar ASTM E 338....	12
Figura 10: Probetas de hormigón	12
Figura 11: Viga para ensayo a flexión	13
Figura 12: Diagrama esfuerzo – Deformación	15
Figura 13: PLC Xinje	19
Figura 14: Disyuntor monofásico bipolar (Breaker)	23
Figura 15: Contactor y simbología.....	24
Figura 16: Guardamotor	25
Figura 17: Relé y su funcionamiento	25
Figura 18: Interruptor de final de carrera	27
Figura 19: Celda de carga.....	28
Figura 20: Extensómetro	28
Figura 21: Sistema de lazo abierto de la máquina.....	30
Figura 22: Diagrama de flujo de la máquina universal de ensayos.....	31
Figura 23: Pulsadores subir y bajar cilindro y selector (máquina).....	32
Figura 24: Pulsadores subir y bajar cilindro (HMI)	32
Figura 25: Máquina universal de ensayos	34
Figura 26: Extensómetro axial de contacto directo	43
Figura 27: Deflectómetro	44
Figura 28: Finales de carrera a prueba de aceite	45
Figura 29: Panel frontal del tablero.....	46
Figura 30: Panel interno del tablero	47
Figura 31: Placa de la bomba hidráulica	49
Figura 32: Diagrama de ambiente	51
Figura 33: Diagrama de entradas y salidas.....	51

Figura 34: Diagrama graficet del sistema.....	53
Figura 35: Interfaz del software de programación	54
Figura 36: Panel frontal del tablero.....	62
Figura 37: Panel interno del tablero	63
Figura 38: Etiquetado de Borneras.....	65
Figura 39:Botonera de mando o control remoto alámbrico	65
Figura 40: Señal luminosa de estado de máquina	66
Figura 41: Señal luminosa de paro de emergencia.....	66
Figura 42: Señal luminosa de activación de bomba hidráulica y motor.....	66
Figura 43: Relación entre el análogo de entrada y el digital convertido	67
Figura 44: Amplificador programable para celdas de carga PYXIS	69
Figura 45: Relación Voltaje-Toneladas.....	70
Figura 46: Variables OPC Servers	71
Figura 47: Representación de la pantalla para la simulación de ensayos.....	71
Figura 48: Simulación de un ensayo a tracción.....	72
Figura 49: NI OPC Servers - Selección del tipo de comunicación	77
Figura 50: Configuración del puerto COM del software XCP Pro	78
Figura 51: Configuración de la comunicación en el software NI OPC Servers	78
Figura 52: Tamaño del bloque de datos del dispositivo NI OPC Servers	79
Figura 53: Configuración de una variable NI OPC Servers	80
Figura 54: Configuración OPC Client – Labview.....	82
Figura 55: Configuración OPC Client Labview- lista de OPC Servers	82
Figura 56: Configuración OPC Client Labview - Crear variables	82
Figura 57: Configuración OPC Client Labview - añadir variables	83
Figura 58: Variable añadida en el panel frontal del VI de Labview	83
Figura 59: Cambio de control a la variable	84
Figura 60: Interruptor ON/OFF.....	85
Figura 61: Breaker de 20 A	85
Figura 62: Guardamotor de 10 - 16 Amps	86
Figura 63: Botón activar/desactivar Bomba/Motor – HMI.....	86
Figura 64: Pulsadores activar/desactivar Bomba/Motor – Tablero.....	86
Figura 65: Indicador de bomba/motor conectados	87
Figura 66: Perilla de selección	87
Figura 67: Botones SUBIR/BAJAR cilindro HMI.....	87
Figura 68: Pulsadores SUBIR Y BAJAR cilindro botonera de mando.....	88

Figura 69: Paro de emergencia – Tablero	88
Figura 70: Luces de estado de la máquina	89
Figura 75: Conexiones de entrada.....	91
Figura 76: Conexiones de salida tipo relé	92
Figura 77: Características Módulo de E/S analógicas.....	92
Figura 78: Relación entre el análogo de entrada y los bits de lectura del PLC.....	93
Figura 74: Conexión de un guardamotor a un motor monofásico (110V).	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Movimientos del cilindro según el tipo de ensayo	33
Tabla 2: Actuadores del sistema.....	35
Tabla 3: Dispositivos de control.....	35
Tabla 4: Sensores del sistema.....	35
Tabla 5: Entradas y salidas requeridas	37
Tabla 6: Criterios de selección del PLC	40
Tabla 7: Criterios de selección de la celda de carga.....	42
Tabla 8: Modelos de extensómetros 25mm Epsilon.....	43
Tabla 9: Opciones del rango de temperatura	43
Tabla 10: Especificaciones extensómetro axial de contacto directo	44
Tabla 11: Consumo de corriente de los elementos	48
Tabla 12: Características y selección de cables AWG	48
Tabla 13: Descripción de entradas y salidas.....	51
Tabla 14: Entradas digitales del PLC	54
Tabla 15: Salidas digitales del PLC.....	55
Tabla 16: Memorias internas del PLC	56
Tabla 17: Entradas y salidas analógicas del PLC	57
Tabla 18: Registro de datos del PLC	57
Tabla 19: Materiales utilizados en el tablero.....	60
Tabla 20: Colores del cableado interno del tablero	63
Tabla 21: Resumen del etiquetado.....	64
Tabla 22: Características principales del amplificador de señal PYXIS	69
Tabla 23: Tag properties NI OPC Servers.....	80
Tabla 24: Variables para la comunicación NI OPC Servers	81
Tabla 25: Luces de estado de máquina.....	89
Tabla 26: Acciones de mantenimiento	90
Tabla 27: Tabla de mantenimiento de elementos de automatización.....	90
Tabla 28: Especificaciones de alimentación.....	91
Tabla 29: Tabla de directorio de registros	92

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Esfuerzo Mecánico	14
Ecuación 2: Deformación unitaria	15
Ecuación 3: Fórmula de cálculo de protección general	50
Ecuación 4: Respuesta a la sensibilidad de celda de carga.....	67
Ecuación 5: Conversión de voltaje a bits de lectura del PLC.....	68
Ecuación 6: Ecuación de conversión Toneladas - Voltaje (0-10V).....	70

INTRODUCCIÓN

Definición del problema.

En la zona norte del país no se cuenta con un laboratorio de prueba de materiales que sirva para dar soporte a los experimentos realizados en materiales, y en todas las áreas de ingeniería, debido a los excesivos costos que este representa a pesar de existir rentabilidad en su uso, debido a que estas máquinas son utilizadas en la industria para el control de calidad de materiales metálicos y no metálicos.

En la actualidad, la Universidad Técnica del Norte requiere la adquisición de una herramienta de trabajo que realice este tipo de pruebas que permitirá el desarrollo de ensayos destructivos, estos ensayos pueden ser de compresión, tracción o flexión; además de existir la necesidad de contar con una herramienta que permita fortalecer los conocimientos en el área de la mecánica de materiales para sus proyectos de investigación. En la facultad de ingeniería en Ciencias Aplicadas, por fines de investigación en los temas de materiales es necesario contar con un laboratorio de pruebas de ensayos a fin de dar soporte a estas investigaciones y cubrir las demandas en la zona norte del país. Por tal razón existe la necesidad de construir una máquina que permita realizar los ensayos necesarios y brindar servicio para el desarrollo de distintos estudios, para lo cual se presentó la necesidad de repotenciar una máquina de ensayos con la que contaba la Facultad de Ciencias Aplicadas, a la cual se realizó los estudios necesarios, sin embargo, la máquina no cumplió con los requerimientos necesarios para su adecuación.

Este proyecto pretende que el funcionamiento de la máquina sea automatizado de tipo industrial con el uso de un PLC y la instrumentación necesaria para controlar todos los componentes de la máquina, las señales y datos de esfuerzo y deformación serán visualizadas en el HMI creada en el software Labview en la tesis denominada

“MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS: SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DE DATOS” Contará con todas las seguridades necesarias para sus usuarios.

Objetivo General.

Implementar el sistema de control electrónico y automatización de la máquina universal de ensayos destructivos para la carrera de ingeniería en mecatrónica.

Objetivos específicos.

Determinar los requerimientos necesarios para el funcionamiento de la máquina universal de ensayos destructivos.

Seleccionar una serie de sensores para la medición de las variables físicas del ensayo de tracción, compresión y flexión.

Diseñar el esquema de control y de comunicación de cada componente de la máquina.

Simular todos los componentes eléctricos de la máquina universal de ensayos incluida la comunicación HMI.

Antecedentes.

La máquina universal de ensayos destructivos ha sido desarrollada pensando en las necesidades de ensayos de laboratorio de un amplio sector de la investigación e industria en general, hará posible la realización de una gran variedad de ensayos en materiales tales como: plásticos, textiles, maderas, fibras, papel, vidrio y elementos metálicos diversos. (Topoequipos S.A, 2015)

Se pueden utilizar diversos medios para el control y automatización en este tipo de máquinas, la mayoría de estas están programadas con el uso de componentes

electrónicos, por ejemplo, en la tesis denominada “Diseño e implementación de un sistema electrónico-informático Para aplicaciones en ensayos en la Máquina universal” (Colcha. J, Villa. M, 2010). el sistema de control está realizado de manera electrónica con acondicionadores de señales y componentes a 5VDC, para la adquisición de datos digitales y analógicos se hace el uso de la tarjeta DAQ USB 6211 y el software Labview.

En la tesis (Moreno. G, López. J, Malagón. A, Henao. J, 2006) “Diseño y construcción de una máquina básica de ensayos destructivos de tracción y torsión” también se usan dispositivos electrónicos, pero esta vez la programación la realizan con microcontroladores y haciendo uso de una LCD como HMI y visualizar los resultados del ensayo, se utilizan circuitos de acople para los circuitos de potencia.

La mayoría de máquinas utilizan este tipo de control combinado en electrónica y electricidad, en nuestro caso, para evitar los acondicionamientos de señales y construcción de placas electrónicas la automatización será de tipo industrial a 110VAC para el funcionamiento del circuito de potencia y 24VDC para los dispositivos de control, ya que los sensores utilizados en esta máquina son de alimentación a 24VDC. Para la lectura y control de señales se hará uso de un PLC y éste se comunicará con la interfaz HMI que estará diseñada en el software Labview.

Justificación.

En nuestra universidad y en la zona norte del país existe gran demanda en la implementación de herramientas de trabajo para obtener la validación de pruebas para distintos materiales, realizar ensayos de resistencia de metales y no metales obteniendo los análisis y resultados necesarios para dar solución a diversos problemas.

La presente investigación se enfocará en el control y automatización de la máquina universal de ensayos, un sistema automatizado permite una mejor coordinación de los componentes acogiendo las diferentes señales de cada elemento dando paso a la siguiente secuencia del programa, además de ser un medio seguro para el funcionamiento de cualquier máquina y seguridad para los operadores.

Alcance.

El control de la máquina será automatizado utilizando un PLC y los sensores necesarios para la seguridad del usuario. Las señales de esfuerzo y deformación de los materiales serán simuladas y enviadas al HMI de Labview para poder ser visualizadas con su respectiva gráfica. Dentro del programa y con la ayuda del HMI se podrá seleccionar los diferentes tipos de ensayos, ya sean compresión, tracción o flexión. Al iniciar el ensayo, el PLC ejecutará automáticamente el respectivo proceso al tipo de ensayo seleccionado. El sistema cuenta con un control manual para el cilindro y así poder colocar las probetas además de las seguridades necesarias para la protección de la máquina y del usuario.

CAPÍTULO I

1. Marco teórico

En el desarrollo de este capítulo se explicará lo referente a los ensayos de material, el objetivo de estos, tipos de ensayos que se realizan y a qué materiales o elementos se pueden realizar este tipo de ensayos.

1.1. Ensayo de materiales.

Se denomina ensayo de materiales a todo experimento cuyo fin es determinar las características mecánicas de un material ya sean metales, no metales o aleaciones.

Cualquier estructura o maquinaria están constituidos por diferentes materiales, los cuales son elegidos por sus propiedades para poder ser utilizados en una determinada aplicación. El diseño y construcción de la estructura y dimensiones del material o mecanismo a realizar se debe seleccionar de forma óptima, es decir, se debe aprovechar la menor cantidad posible de material, pero también se debe cumplir una serie de normas y características de seguridad para evitar que se produzcan fallos mecánicos. (Mecanicaauxiliar, 2011)

Para la realización de ensayos a compresión, tracción o flexión se cuenta con normas ASTM para los procesos de seguridad que se deben tener en cuenta, como para el tipo de material que se va a usar. Estas normas se basan tanto en el tipo de ensayo como el material de la probeta, tal caso que, para el ensayo a flexión utilizando materiales metálicos, se usa la Norma ASTM E290. Para materiales plásticos de igual manera para cualquier tipo de ensayo se maneja la Norma ASTM D695.

Pero hay una norma que generaliza todas las normas y es la Norma ASTM E23 juntamente con la Norma ASTM E-384.

1.2. Objetivo de los ensayos

Los ensayos tienen como fin: determinar si las propiedades del material (metálico, no metálico o aleaciones de estos), tienen la resistencia, ductilidad, tenacidad, entre otras. Así como, leyes de comportamiento del material bajo distintas situaciones para el diseño al cual están destinados, controlando la calidad y verificación del cumplimiento a las especificaciones técnicas requeridas para el uso del material.

Conocer las propiedades de los nuevos materiales, la influencia de la composición química o de los tratamientos térmicos.

Determinar las posibles causas del fallo en servicio de una pieza y las formas de evitarlo en el futuro.

Seleccionar los materiales más adecuados para un determinado uso y evaluar el futuro comportamiento de una pieza en servicio.

1.3. Máquina universal de ensayos.

Es una herramienta parecida a una prensa, pero con la capacidad de someter materiales a ensayos de tracción, compresión o flexión y medir sus propiedades. La presión se realiza mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o sistema hidráulico.

La máquina universal de ensayos destructivos (ver *Figura 1*) tiene como función comprobar la resistencia de diversos tipos de materiales. Para esto posee un sistema que aplica cargas controladas sobre una probeta (modelo de dimensiones preestablecidas y normadas) y mide en forma de gráfica la deformación, y la carga al momento de su ruptura. (Alberto Pinto, 2015)



Figura 1: Máquina universal de ensayos

Fuente: (Ibertest, 2016)

1.4. Tipos de ensayos.

La palabra ensayos significa que son pruebas, en el ámbito de laboratorio, para llegar a unas conclusiones. Se usan probetas a escala, que conservan las propiedades completas del material que se desea probar. (Universidad Rafael Landívar, 1998)

Entre los tipos de ensayo se encuentran los siguientes:

1.4.1. Ensayo de tracción.

Resistencia a la Tracción es la propiedad de un material para resistir a ser separado por dos fuerzas que actúan en direcciones opuestas. Esta prueba permite determinar la ductilidad de un material midiendo la elongación de una porción de la probeta y la carga aplicada (Oscampo, 2011). En la *Figura 2* se puede observar diferentes materiales sometidos a fuerzas de tracción.



Figura 2 : Tracción de materiales

Fuente: (Wilmer Puentes, 2015)

En general, la mayoría de materiales son débiles a este tipo de esfuerzo, pero el acero aguanta muy bien, habría que aplicarle grandes fuerzas para que se produzca un fallo. Cuando un material falla por tracción, es porque se produce una deformación en la cual el material se estira y rompe, véase en la *Figura 3* (Wilmer Puentes, 2015).

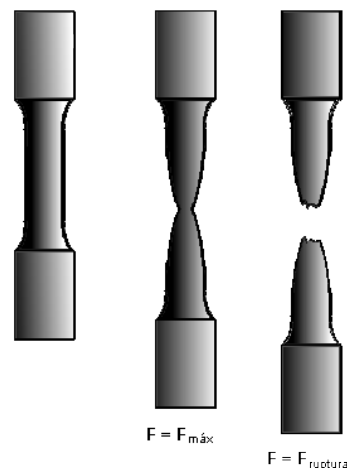


Figura 3: Falla por tracción

Fuente: (Wilmer Puentes, 2015)

1.4.2. Ensayo de compresión

La resistencia a la compresión es la capacidad de un material para resistir las fuerzas que tienden a aplastarlo, como, por ejemplo: ladrillos, columnas, etc. Esta prueba ayuda a comprobar el comportamiento de los materiales dúctiles sometidos a fuerzas de compresión calculando el límite de fluencia, midiendo el diámetro de la probeta antes y después de aplicada la carga. (Oscampo, 2011)

Cuando el material es cargado más allá de su límite este se deforma incrementando su área lo que ayuda al material a aumentar la carga adicional que se le aplique lo que hace imposible obtener un valor definitivo máximo a la carga de compresión. Por lo general se asume que ambos valores de tensión y compresión son iguales en un material, pero si existe una diferencia, el mayor de ellos es de compresión. (Oscampo, 2011)

En la *Figura 4* se puede observar diferentes materiales sometidos a fuerzas de compresión.

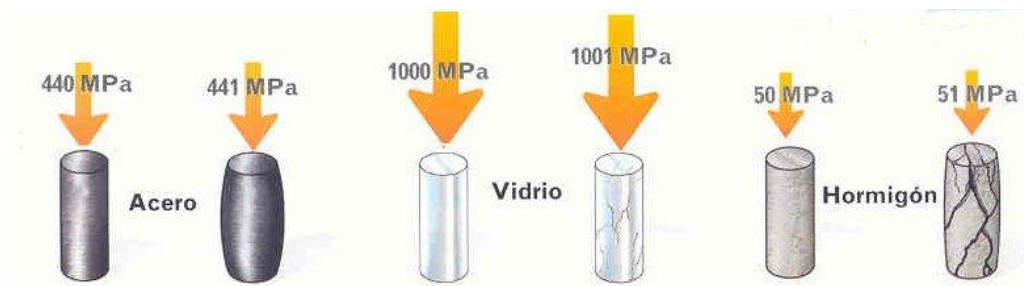


Figura 4: Compresión de materiales

Fuente: (Wilmer Puentes, 2015)

Para reconocer un fallo por compresión habría que mirar la superficie del material en busca de grietas que sería el primer punto de rotura que tiene el material, también sufrirá un aumento de la superficie perpendicular a la dirección a la que se ha producido la fuerza de compresión.

1.4.3. Ensayo de flexión.

La flexión es un esfuerzo mecánico en donde el material tiende a doblarse (*Figura 5*). Esta prueba ayuda a obtener una magnitud sobre la dureza del material, el cual es un valor calculado que expresa la proporcionalidad entre carga y deflexión (Módulo de Elasticidad). El módulo de elasticidad es innato de cada material y se mantiene constante por lo que se lo puede encontrar en tablas. También es llamado Módulo de Young y esta prueba muestra la correlación entre el módulo y rigidez del material midiendo las deformaciones que corresponden a cada incremento en la carga. (Oscampo, 2011)

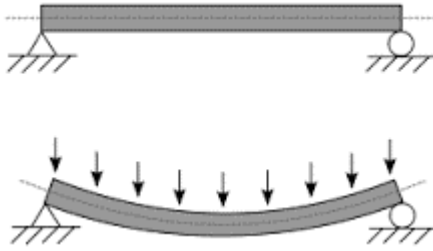


Figura 5: Flexión de un material

Fuente: (Wilmer Puentes, 2015)

Los fallos por flexión aparecen de diferentes formas dependiendo del material, por lo general suelen romper por la parte que más esfuerzo está soportando y casi siempre suele ser en la parte inferior de la zona media. El material puede romperse o doblarse completamente.

1.5. Probetas

Una probeta es el elemento que será sometido a un ensayo mecánico para conocer las propiedades mecánicas de los materiales. La probeta puede ser una pieza, un modelo a escala de una pieza o un trozo del material que conserva las propiedades completas del material a probar. Las dimensiones y geometría de las probetas vienen dadas bajo normas, observe la *Figura 6*.



Figura 6: Probetas mecanizadas

Fuente: (Ibertest, 2016)

Cabe remarcar que según el ensayo que se desea realizar se utilizan distintos tipos de probetas, éstas son los siguientes:

1.5.1. Probetas en ensayos a tracción

Este tipo de probetas, como se observa en la *Figura 7*, habitualmente son de forma cilíndrica y en sus extremos son un poco más ensanchados para poder sujetarlos adecuadamente a las mordazas de la máquina, también existen probetas de forma laminar.



Figura 7: Probetas para ensayos a tracción de diferentes materiales

Para las probetas de sección circular se tiene varias normas, una de ellas es la ASTM E602 – 03 o ASTM E8, esta norma se puede aplicar en el mismo caso que la probeta de sección laminar. La siguiente figura muestra las dimensiones y geometría de una probeta de tracción en la norma ASTM E8.

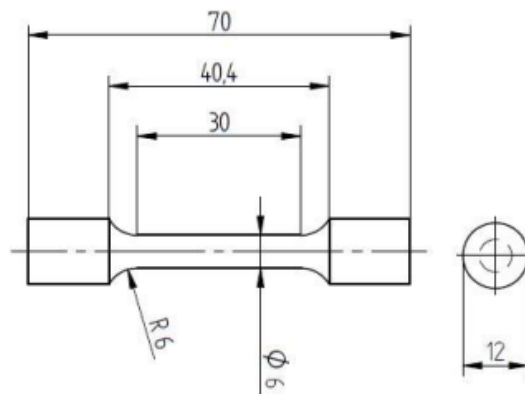


Figura 8: Dimensiones y geometría de probeta de ensayo de tracción en la norma ASTM E8

Para la probeta de sección laminar se tiene la norma ASTM E338 – 03 (*Figura 9*), esta norma se aplica comúnmente para el control de materiales de alta resistencia mecánica.

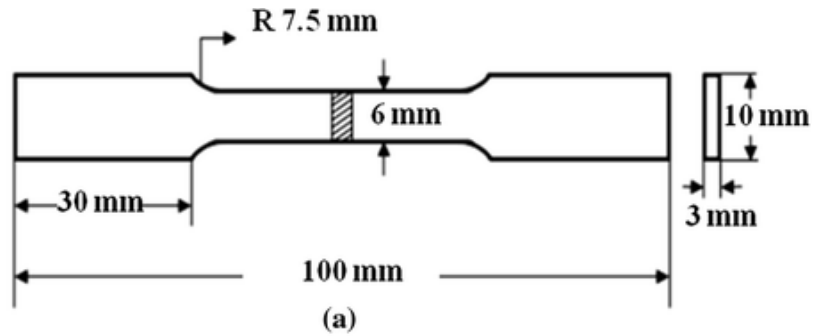


Figura 9: Dimensiones y geometría de una probeta de ensayo de tracción laminar ASTM E 338

1.5.2. Probetas en ensayos a compresión

Generalmente son de forma cilíndrica. El ensayo más común de compresión es el que se le hace al hormigón, se puede apreciar la forma de la probeta en la *Figura 10*.

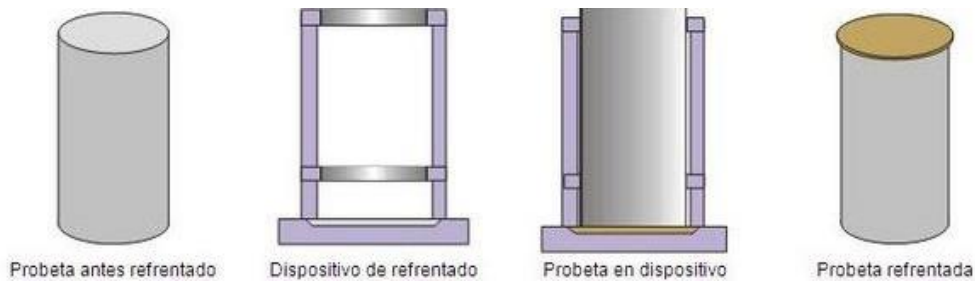


Figura 10: Probetas de hormigón

Fuente: (Neetesuela, 2013)

A continuación, se muestra una lista de normas ASTM que maneja el ensayo a compresión:

- Ladrillo ASTM E67.
- Losa para desagüe ASTM E4.
- Bloque de barro estructural ASTM E112
- Tubo de albañal ASTM E13, E14.
- Hule vulcanizado ASTM D395, D575.
- Los materiales aislantes moldeados ASTM D48.
- Madera en tamaños estructurales ASTM D198.

- Roca de construcción ASTM E170.

1.5.3. Probetas en ensayos a flexión

Las probetas a utilizar funcionan como vigas simplemente apoyadas, véase en la *Figura 11*. La distancia a los apoyos está normalizada en función a la altura o el diámetro de la sección transversal.

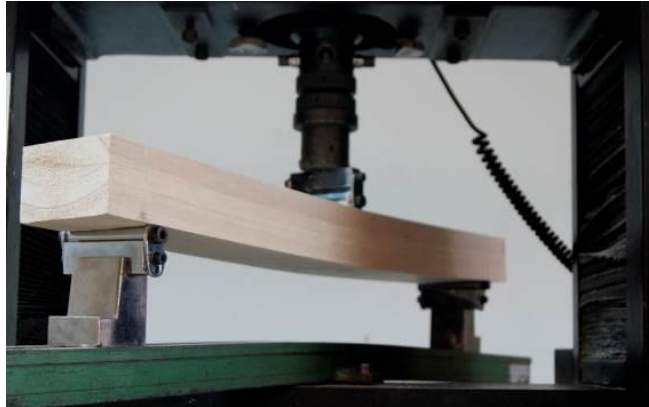


Figura 11: Viga para ensayo a flexión

Las probetas más frecuentes en este tipo de ensayo con diferentes materiales se tiene las siguientes normativas:

- ASTM E290 (aceros, ejemplo el 1045 y el 316 inoxidable)
- ASTM D790 (plásticos, polipropileno)
- ASTM C674 (cerámica, baldosa, porcelana)
- ASTM D797 (elastómeros, polímeros con comportamientos elásticos)
- ASTM A438 (hierro fundido)
- ASTM D86 (vidrio)

1.6. Diagrama esfuerzo – deformación

El diseño de elementos estructurales implica determinar la resistencia y rigidez del material estructural, estas propiedades se pueden relacionar si se evalúa una barra sometida a una fuerza axial para la cual se registra simultáneamente la fuerza aplicada y

el alargamiento producido. Estos valores permiten determinar el esfuerzo y la deformación que al graficar originan el denominado diagrama de esfuerzo y deformación. (Mecatrónica4b, 2011)

Los diagramas son similares si se trata del mismo material y de manera general permite agrupar los materiales dentro de dos categorías con propiedades afines que se denominan materiales dúctiles y materiales frágiles. Los diagramas de materiales dúctiles se caracterizan por ser capaces de resistir grandes deformaciones antes de la rotura, mientras que los frágiles presenta un alargamiento bajo cuando llegan al punto de rotura (Mecatrónica4b, 2011). En la *Figura 12* se tiene el ejemplo de un diagrama esfuerzo – deformación.

1.6.1. Esfuerzo

Se define como la fuerza aplicada dividida entre el área transversal inicial del material (el área que tiene el material antes de aplicar la fuerza) *Ecuación 1*. El área transversal es el área perpendicular a la línea de acción de la fuerza. (Rivas, 2005)

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza aplicada}}{\text{Área inicial del material}} = \frac{F}{A_0}$$

Ecuación 1: Esfuerzo Mecánico

1.6.2. Deformación

La resistencia del material no es el único parámetro que debe utilizarse al diseñar o analizar una estructura; controlar las deformaciones para que la estructura cumpla con el propósito para el cual se diseñó tiene la misma o mayor importancia. El análisis de las deformaciones se relaciona con los cambios en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas. (Mecatrónica4b, 2011)

Una barra o probeta sometida a una fuerza de tracción incrementará su longitud inicial; se puede observar que, bajo la misma carga, pero con una longitud mayor, esta longitud se aumentará también. Con lo que definir la deformación (ϵ) como el cociente entre el alargamiento ΔL y la longitud inicial L_0 , muestra que, sobre la barra, la deformación es la misma porque si aumenta L también aumentaría ΔL . (Mecatrónica4b, 2011)

Matemáticamente la deformación sería como se muestra en la *Ecuación 2*:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Ecuación 2: Deformación unitaria

1.6.3. Diagrama

El diagrama es la curva resultante graficada con los valores del esfuerzo y la correspondiente deformación unitaria en el espécimen calculado a partir de los datos de un ensayo de tensión o de compresión. (Mecatrónica4b, 2011)

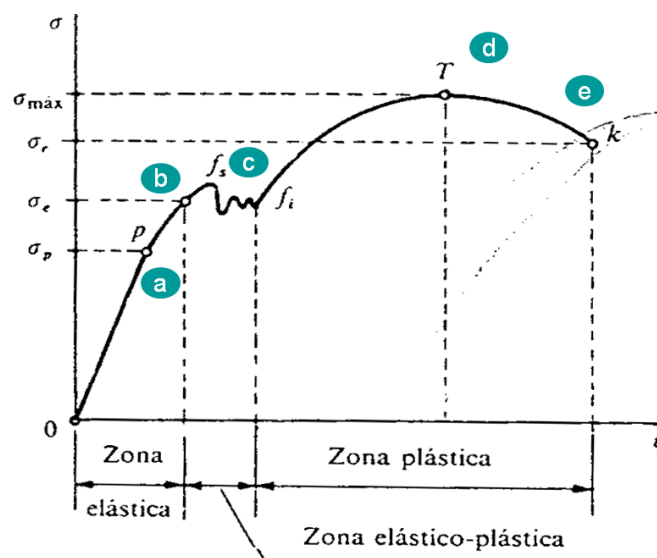


Figura 12: Diagrama esfuerzo – Deformación

Fuente: (Mecatrónica4b, 2011)

a) Límite de proporcionalidad

El mayor esfuerzo en el que el esfuerzo es directamente proporcional a la deformación. Se observa que va desde el origen O hasta el punto llamado límite de proporcionalidad, es un segmento de recta rectilíneo. El límite proporcional es igual al límite elástico para muchos metales. Cabe resaltar que, más allá la deformación deja de ser proporcional a la tensión. (Mecatrónica4b, 2011)

b) Límite de elasticidad

Es la tensión máxima que un material elastoplástico puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes. Si se va más allá de esta tensión, el material no recupera totalmente su forma original al ser descargado, sino que queda con una deformación residual llamada deformación permanente. (Mecatrónica4b, 2011)

c) Punto de fluencia

Es aquel donde en el aparece un considerable alargamiento o fluencia del material sin el correspondiente aumento de carga que, incluso, puede disminuir mientras dura la fluencia. Sin embargo, el fenómeno de la fluencia es característico del acero al carbono, mientras que hay otros tipos de aceros, aleaciones y otros metales y materiales diversos, en los que no manifiesta. (Mecatrónica4b, 2011)

d) Esfuerzo máximo

Es la máxima cantidad de esfuerzo que el material puede soportar. A partir de esta magnitud, la probeta empieza a deformarse aun ante la aplicación de cargas menores. Corresponde a la máxima ordenada en la gráfica (esfuerzo - deformación unitaria).

e) **Esfuerzo de rotura**

Es el verdadero esfuerzo generado en un material durante la rotura y es la máxima tensión que un material puede soportar bajo tensión antes de que su sección transversal se contraiga de manera significativa o se rompa. (Mecatrónica4b, 2011)

1.7. Sistema automatizado

El vocablo automatización describe y engloba a la extensa variedad de sistemas y procesos, por ejemplo: líneas de producción, que operan con mínima, incluso sin mediación, del ser humano. Un sistema automatizado realiza las operaciones programadas en respuesta a cambios en el ambiente externo en tres etapas: lectura, evaluación y control.

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. (Grupo-maser, 2014)

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte de mando.
- Parte operativa.

1.7.1. Parte de mando

Esta parte que interviene directamente sobre la máquina. Los elementos involucrados en la parte de mando son los que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada.

1.7.2. Parte operativa

Los dispositivos que constituyen la parte operativa son los actuadores de las máquinas como motores, compresores, cilindros, y los captadores como fotodiodos,

finales de carrera, etc. Aunque hasta hace poco tiempo solo se utilizaba la tecnología cableada con relés, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos, un autómata programable también está involucrado en la parte operativa, ya que este acoge señales de mando y de control, y activa elementos (actuadores).

1.7.3. Ventajas de un sistema automatizado

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Flexibilidad para adaptarse a nuevos productos y equipos.
- Simplificar el mantenimiento ya que, si se sufre algún daño en los equipos de control, éste puede ser reemplazado fácilmente.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente aumentando la velocidad y precisión al ejecutar una tarea.

1.8. El PLC

El PLC (Programmable logic controller), es un equipo electrónico programable con la capacidad de controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos o tareas secuenciales. Un PLC trabaja en base a la lectura de señales recibida por los captadores y el programa lógico interno, interviniendo sobre los actuadores del sistema. (Grupomaser, 2014)

EL PLC es una herramienta electrónica operado digitalmente que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones las cuales implementan funciones específicas tales como: lógicas, secuenciales, temporización, conteo y aritméticas, para controlar a través de módulos de entrada /salida digitales y

analógicas, varios tipos de máquinas o procesos. De una manera general se puede definir al controlador lógico programable a toda máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales de control. (Jusid_Automatizacion, 2005)

La tarea del programador se reduce a realizar el programa que no es más que la relación entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada una de las salidas. Se puede apreciar la forma de un PLC en la siguiente figura:



Figura 13: PLC Xinje

Fuente: Xinje

1.8.1. Ventajas del uso del PLC

Sus reducidas dimensiones, las extremas facilidades de y montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etcétera, hace que su eficiencia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se reduce necesidades tales como: (Jusid_Automatizacion, 2005)

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalación de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

- Maniobra de máquinas, señalización y control.

Indudablemente la primera ventaja es la reducción del costo de mano de obra, pues al automatizar las tareas, el ser humano comienza a volverse un elemento prescindible. (Maquiclick, 2014)

- Menor tiempo de elaboración de proyectos. debido a que no es necesario dibujar el esquema de contactos.
- Posibilidad de añadir modificaciones sin costo añadido en otros componentes.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra de la instalación.
- Mantenimiento económico.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo PLC.
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento.

1.8.2. Campos de aplicación

El PLC por sus características especiales y el diseño compacto, tiene un extenso campo de aplicación. El cambio constante y la evolución de la tecnología del hardware y software, amplían continuamente este campo para poder satisfacer las necesidades que se presenten dentro del rango de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc. (Jusid_Automatizacion, 2005)

Tal y como se dijo en el párrafo anterior, esto se refiere a los PLCs industriales, dejando de lado los pequeños PLCs para uso más personal (que se pueden emplear,

incluso, para automatizar procesos en el hogar, como la puerta de una cochera o las luces de la casa).

1.8.3. Modo de funcionamiento

Los Controladores Lógicos Programables son máquinas secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa almacenado en su memoria, generando unas órdenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas de la planta (aplicación): al detectarse cambios en las señales, el autómatas reacciona según el programa hasta obtener las órdenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso. (Durán, 2009)

La secuencia básica de operación del autómatas se puede dividir en tres fases principales:

- Lectura de señales desde la interfaz de entradas.
- Procesado del programa para obtención de las señales de control.
- Escritura de señales en la interfaz de salidas.

A fin de optimizar el tiempo, la lectura y escritura de las señales se realiza a la vez para todas las entradas y salidas; Entonces, las entradas leídas de los módulos de entrada se guardan en una memoria temporal (Imagen entradas). A esta acude la CPU en la ejecución del programa, y según se va obteniendo las salidas, se guardan en otra memoria temporal (imagen de salida). Una vez ejecutado el programa completo, estas imágenes de salida se transfieren todas a la vez al módulo de salida. (Durán, 2009)

1.8.4. Ciclo de funcionamiento

El funcionamiento del Controlador Lógico Programable es, salvo el proceso inicial que sigue a un Reset, de tipo secuencial y cíclico, es decir, las operaciones tienen

lugar una tras otra, y se van repitiendo continuamente mientras el autómata esté bajo tensión. (Grupo-maser, 2014)

1.9. Protecciones

Toda instalación eléctrica debe tener incorporada de una serie de elementos que la hagan segura, tanto desde los conductores hasta los elementos conectados a ellos, y de las personas que han de trabajar en ella.

1.9.1. Protecciones para un motor

En todo circuito ramal de motores debe existir al menos: Protección general o breaker, contactor y un guardamotor o relé térmico.

1.9.1.1. Breaker principal

Lo provee un dispositivo que sea capaz de abrir el circuito con indicación visual de ON – OFF como el que se muestra en la *Figura 14*. Este dispositivo puede ser el de protección general y su propósito es garantizar la apertura del circuito ramal con seguridad, para proteger a los usuarios y operadores.

1.9.1.2. Dispositivo para maniobras

Habitualmente se utilizan contactores electromagnéticos o arrancadores de compuerta electrónica. Realmente no es una protección, aunque puede soportar las corrientes de arranque. Aunque es para controlar el arranque y parada del motor, de hecho, es el dispositivo que abre y cierra el circuito ramal del motor tanto en operación normal como en sobrecarga. (Guanipa, 2011) por ejemplo: un contactor (*Figura 15*).

1.9.1.3. La protección contra sobrecarga

Este dispositivo está llamado a detectar las corrientes de sobrecarga comprendidas por encima de la corriente nominal; pero inferiores a las corrientes de cortocircuito. Aunque sensa también a estas últimas, su accionamiento es retardado y no actúa suficientemente rápido para despejarlas. Esto lo debe hacer la protección de cortocircuito. (Guanipa, 2011)

Este dispositivo puede ser un guardamotor (*Figura 16*).

1.9.2. Interruptor de control de potencia (protección general)

Interruptor magnetotérmico que limita la potencia máxima que se puede utilizar en una instalación. Tiene la capacidad de interrumpir o abrir un circuito eléctrico cuando la intensidad de la corriente eléctrica que por él circula excede de un determinado valor, o en el que se ha producido un cortocircuito, con el objetivo de evitar daños a los equipos eléctricos. A diferencia de los fusibles, que deben ser reemplazados tras un único uso, el disyuntor (*Figura 14*) puede ser rearmado una vez localizado y reparado el problema que haya causado su disparo o desactivación automática.



Figura 14: Disyuntor monofásico bipolar (Breaker)

1.9.3. Contactor

El contactor es un aparato eléctrico de mando a distancia, que puede cerrar o abrir circuitos, ya sea en vacío o en carga. Es la pieza clave del automatismo en el motor eléctrico. Su principal aplicación es la de efectuar maniobras de apertura y cierre de circuitos relacionados con instalaciones de motores. Excepto los pequeños motores individuales, que son accionados manualmente o por relés, el resto de motores se accionan por contactores. (Areatecnología, 2009)

Un contactor está formado por una bobina y unos contactos, que pueden estar abiertos o cerrados, y que hacen de interruptores de apertura y cierre de la corriente en el circuito, el elemento y la simbología se muestra en la *Figura 15*. La bobina es un electroimán que acciona los contactos cuando le llega corriente, abriendo los cerrados y cerrando los contacto abiertos. Cuando le deja de llegar corriente a la bobina los contactos vuelven a su estado de reposo (Areatecnología, 2017).

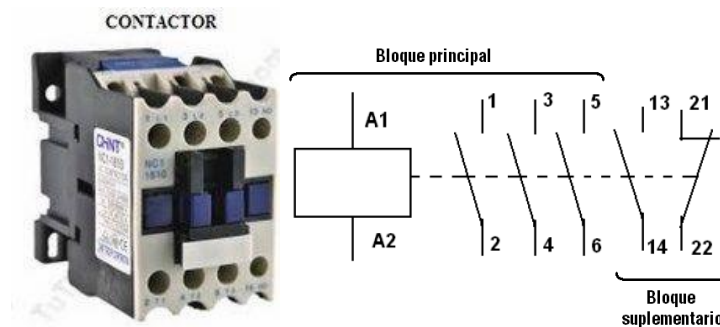


Figura 15: Contactor y simbología

Fuente: (Areatecnología, 2017)

1.9.4. Guardamotor

El guardamotor (*Figura 16*) se encarga de desconectar el motor en cuanto la corriente (intensidad) que está consumiendo supera en un porcentaje a la corriente nominal que corresponde a la potencia del motor, lo cual es indicativo de un mal funcionamiento del motor y es mejor desconectarlo para evitar que termine por calentarse

demasiado y quemarse. Por esta razón se puede clasificar como un elemento de protección. (Ingeniería Mecafenix, 2017)

Estos dispositivos protegen contra sobrecarga al motor, y contra cortocircuito y sobrecarga a la línea de alimentación y al motor, tienen que estar conectados al principio de la línea de alimentación del motor. (Ingeniería Mecafenix, 2017)



Figura 16: Guardamotor

1.9.5. Relé

Es un aparato eléctrico que funciona como un interruptor, abrir y cerrar el paso de la corriente eléctrica, pero accionado eléctricamente. El relé permite abrir o cerrar contactos mediante un electroimán, por eso también se llaman relés electromagnéticos o relevador (Areatecnologia, 2009). Su simbología y funcionamiento se muestran en la siguiente figura:

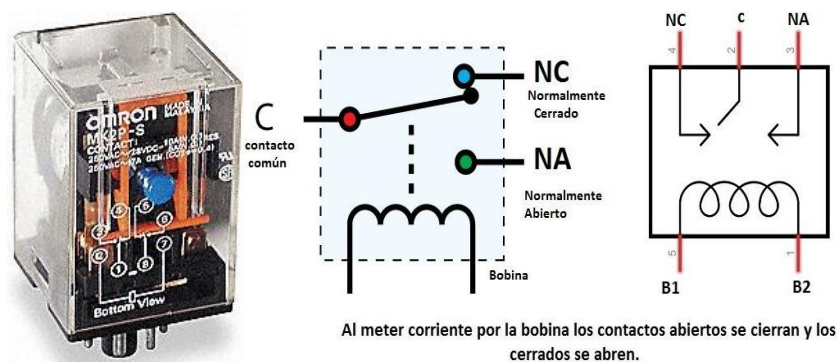


Figura 17: Relé y su funcionamiento

1.9.6. Diferencias entre relé y contactor

Los relés y los contactores son componentes parecidos y que realizan funciones similares, pero con una diferencia esencial y que es necesario conocer.

Tanto los contactores como los relés son elementos que existen en prácticamente cualquier máquina, automatismo o instalación. Ambos son interruptores y hacen la misma función (abrir y cerrar contactos), pero para distintas potencias, es decir hay que saber diferenciar entre relé y contactor. (Rodríguez, 2013)

Básicamente los relés son para activar pequeñas potencias o potencias de control, por tanto, están en los circuitos de control o en circuitos cuyas cargas (motores, equipos consumidores en general) son de pequeñas potencias. Un contactor es de constitución parecida a la del relé, pero tiene la capacidad de soportar grandes cargas en sus contactos principales, es decir, en sus contactos circula mayor intensidad, aunque la tensión de alimentación de su bobina sea pequeña. (Rodríguez, 2013)

1.10. Sensores.

Un sensor es un artefacto capaz de detectar acciones o estímulos externos y responder inmediatamente al cambio. Estos dispositivos son capaces de convertir magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas. En definitiva, son instrumentos que permiten obtener información del entorno e interactuar con ella. A continuación, se presenta una lista de sensores que se utilizarán en la máquina de ensayos destructivos.

1.10.1. Interruptor de final de carrera mecánico.

Los interruptores de final de carrera (*Figura 18*) son dispositivos electromecánicos que constan de un accionador vinculado mecánicamente a un conjunto de contactos. Cuando un objeto entra en contacto con el accionador, el dispositivo opera los contactos para cerrar o abrir una conexión eléctrica. Los interruptores de final de carrera funcionan

en distintas aplicaciones y ambientes debido a su resistencia, operación visible simple, fácil instalación y funcionamiento confiable. (Allen-Bradley, 2015)



Figura 18: Interruptor de final de carrera

Fuente:

1.10.2. Celda de carga.

Las celdas de carga o sensores de peso, como el que se muestra en la *Figura 19*, son aquellos dispositivos electrónicos desarrollados con la finalidad de detectar los cambios eléctricos provocados por una variante en la intensidad de un peso aplicado sobre la báscula o balanza, información que a su vez transmite hacia un indicador de peso o controlador de peso (Suarez, Rubiolo, & Jaime, 2015).

El principio básico de una celda de carga está basado en el funcionamiento de cuatro galgas extensiométricas (strain gauge), dispuestos en una configuración especial. La galga extensiométrica es básicamente una resistencia eléctrica. El parámetro variable y sujeto a medida es la resistencia de dicha galga. Esta variación de resistencia depende de la deformación que sufre la galga (Suarez, Rubiolo, & Jaime, 2015).



Figura 19: Celda de carga

Fuente: Siemens

1.10.3. Extensómetro.

Para medir las deformaciones en las probetas se usa un instrumento llamado extensómetro. Existen muchos tipos de extensómetros: mecánicos, ópticos, electrónicos (basados en varios principios, por ejemplo, las galgas extensométricas), incluso láser.

Los extensómetros de contacto directo se acoplan por sus propios medios a las probetas. Este hecho disminuye la distorsión de las mediciones, al excluir las deformaciones causadas en los agarres, inversor, placas de la máquina, etc. Se puede apreciar un extensómetro de contacto directo en la siguiente figura.



Figura 20: Extensómetro

Fuente: Epsilon

CAPÍTULO II

2. Metodología

En este capítulo se expone el funcionamiento básico del sistema los procesos para la selección de los componentes y la construcción del tablero eléctrico para la máquina universal de ensayos.

2.1. Descripción del sistema

Para llevar a cabo la descripción del sistema o proceso se requiere recabar la siguiente información: procedimiento que se debe seguir en la operación (arranque, paro), dispositivos que intervienen en el proceso (sensores, transductores, motores, interruptores etc.), variables a medir, variables a controlar, variables a monitorear, rangos de operación, función de los dispositivos, entradas y salidas. Esta actividad se lleva a cabo mediante entrevistas con los operadores y encargados de mantenimiento del proceso, visitas de campo y la experiencia del integrador (Castro Lugo, Padilla Ybarra, & Romero, 2005).

2.1.1. Sistema de lazo abierto

La máquina universal de ensayos es una máquina con un proceso fácil de controlar. Es un sistema de lazo abierto en el que la salida no tiene efecto sobre la acción del controlador, es decir, la salida ni se mide ni se realimenta para compararla con la entrada. Por lo tanto, para cada valor de referencia corresponde una condición de operación fijada (Mario, Perez; Analía, Perez; Elisa, Perez, 2008).

La *Figura 21* representa el sistema de lazo abierto de la máquina.

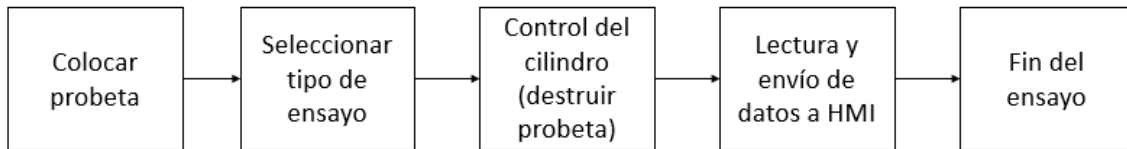


Figura 21: Sistema de lazo abierto de la máquina

2.2. Diagrama de flujo

El diagrama de flujo es una representación gráfica de los pasos en el proceso. Dicho diagrama es útil para determinar cómo funciona realmente el proceso. El diagrama se utiliza en gran parte de las fases del proceso para una mejora continua, sobretodo en diseño e implantación de soluciones y procedimientos del proceso (Castro Lugo, Padilla Ybarra, & Romero, 2005).

Se puede apreciar en la *Figura 22* el diagrama de flujo de la máquina universal de ensayos.

2.3. Descripción del diagrama de flujo

Como se mencionó anteriormente, el funcionamiento de la máquina universal de ensayos es un sistema de lazo abierto; el control y las acciones de la máquina son sencillas ya que no es necesario realizar una realimentación en el sistema.

2.3.1. Preparación del ensayo

Para iniciar un proceso de ensayo de materiales se debe colocar la probeta a evaluar, esto se lo realiza de forma manual sujetando la probeta en ambos extremos. El espacio en el que se va a colocar la probeta puede estar muy grande o muy pequeño por lo que se debe mover las columnas de la máquina accionando el motor que da movimiento a las columnas o el cilindro activando la bomba hidráulica. Se recomienda que el cilindro esté totalmente abajo y que el espacio de trabajo se controle por medio de las columnas (activando el motor).

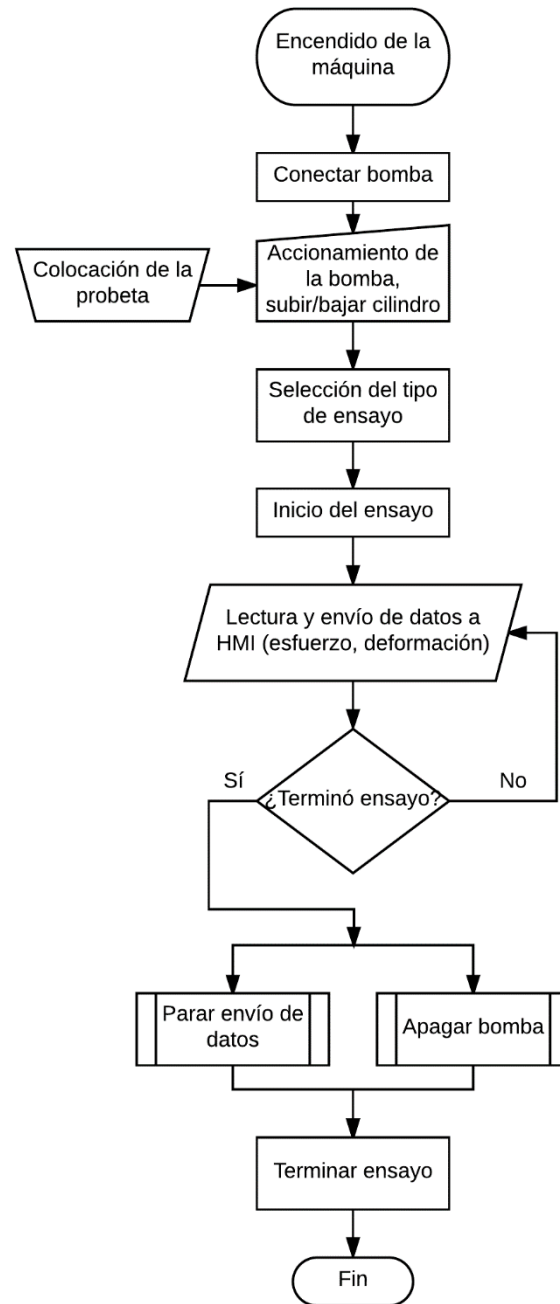


Figura 22: Diagrama de flujo de la máquina universal de ensayos

Para seleccionar el elemento que se quiere controlar (bomba hidráulica o motor), se contará con una perilla de selección que está ubicada en la botonera de mando. El movimiento se lo realiza por medio de los pulsadores SUBIR y BAJAR, también se puede realizar el movimiento de la columna o cilindro a través del HMI.

En la *Figura 23* se muestra los botones para el control del movimiento de la bomba o motor puestos en una caja de botoneras. En la *Figura 24* se muestran los pulsadores disponibles en el HMI.



Figura 23: Pulsadores subir y bajar cilindro y selector (máquina)



Figura 24: Pulsadores subir y bajar cilindro (HMI)

2.3.2. Selección del tipo de ensayo

Una vez colocada la probeta a ensayar, se deberá seleccionar el tipo de ensayo, ya sea ensayo de tracción, compresión o flexión; esto se lo realiza a través del HMI y éste enviará la orden para iniciar el ensayo, el sistema se encargará de ejecutarlo.

2.3.3. Ejecución del ensayo y lectura de datos

Antes de ejecutar el ensayo se hace la lectura del esfuerzo causado por el peso del material, este dato se envía al HMI para realizar las respectivas operaciones.

Una vez que se haya seleccionado el tipo de ensayo y se dé la orden de “iniciar ensayo”, iniciará el proceso, se enciende la bomba hidráulica y se moverá el cilindro alargando o comprimiendo la probeta, según sea el caso, hasta destruirse. La bomba hidráulica tiene 2 movimientos: subir y bajar. En la siguiente tabla se muestra el movimiento del cilindro de acuerdo al tipo de ensayo.

Tabla 1: Movimientos del cilindro según el tipo de ensayo

Acción	Movimiento del cilindro de la bomba hidráulica
Colocación de una probeta	Bajar cilindro
Ensayo de tracción	Subir cilindro
Ensayo de compresión	Subir cilindro
Ensayo de flexión	Subir cilindro

Antes de colocar la probeta, se recomienda que el cilindro de la bomba hidráulica esté completamente abajo.

Para todos los tipos de ensayo, el cilindro de la bomba debe subir para tener la misma velocidad de avance y un incremento de presión. La máquina universal de ensayos tiene dos divisiones, en la parte inferior se realizarán los ensayos de compresión y flexión, mientras en la parte superior el ensayo de tracción.

Mientras se ejecuta el ensayo, se deben leer de forma analógica las señales de la fuerza aplicada y la deformación, estas señales se las envía al HMI de la tesis “*Máquina*

universal de ensayos destructivos: sistema de control y supervisión de datos” donde será mostrada mediante una gráfica.



Figura 25: Máquina universal de ensayos

2.3.4. Fin del ensayo

El ensayo del material termina cuando la probeta se fracture o se destruya. Al destruirse la probeta se debe parar el proceso, la bomba hidráulica se apaga y se interrumpe el envío de datos de esfuerzo y deformación al HMI para no alterar los cálculos realizados en la tesis mencionada anteriormente. En el caso de los ensayos a compresión, se recomienda terminar el ensayo manualmente al momento de detectar una fractura del material.

Una vez terminado el ensayo se puede ejecutar uno nuevo y el ciclo del sistema comenzaría desde cero.

2.4. Dispositivos que intervienen

Dispositivos necesarios para el funcionamiento básico de la máquina universal de ensayos.

Las *Tablas 2, 3 y 4* muestran los componentes que serán utilizados para el funcionamiento de la máquina de ensayos.

Tabla 2: Actuadores del sistema

Actuador	Descripción
Bomba hidráulica y motor.	Usada para el accionamiento de la parte móvil de la máquina universal de ensayos. Se utilizan para colocar la probeta en la máquina y ejercer la presión necesaria para destruir el material.

Tabla 3: Dispositivos de control

Dispositivos de control	Descripción
Contactores	Utilizado para alimentar la bomba hidráulica, motor y control de giro del motor.
Relés	Dan la dirección del movimiento del cilindro hidráulico. (subir o bajar cilindro, control de electroválvulas).

Tabla 4: Sensores del sistema

Sensores	Tipo de señal	Descripción
Celda de carga	Analógica	Mide la fuerza ejercida en el ensayo.

Extensómetro	Analógica	Mide la deformación de la probeta o material al cual se realiza el ensayo.
Finales de carrera	Digital	Determinan el límite de recorrido del cilindro de la bomba hidráulica.

2.5. Selección del PLC

Como se describió en los antecedentes, la mayoría de estas máquinas que son comercializadas están controladas por tarjetas electrónicas. Las tesis y trabajos realizados en instituciones educativas también han optado por este tipo de control. En este caso, se decidió realizar una automatización de tipo industrial y optar por el uso de un PLC con fuente de alimentación a +24V, la celda de carga y extensómetro también tienen este tipo de alimentación.

Seleccionar el PLC adecuado para una máquina o proceso implica evaluar no solamente las necesidades actuales, sino también los requerimientos futuros. Si los objetivos presentes y futuros no son apropiadamente evaluados, el sistema de control podría quedar rápidamente inadecuado y obsoleto. (Yugsi, R, 2009)

2.5.1. Consideraciones para entradas y salidas

Determinar el número de entradas y salidas requeridas es el primer paso en la selección de un controlador. Luego de que se haya detallado el funcionamiento de la máquina o proceso, la determinación de la cantidad de entradas y salidas es simplemente una tarea de contabilizar los dispositivos discretos y analógicos que serán monitoreados o controlados. Esta contabilización ayudará a identificar el tamaño mínimo del PLC. Se

debe recordar que el controlador debería permitir futuras expansiones y reposiciones, en el orden del 10% al 20%. (Yugsi, R, 2009)

Se necesita controlar el funcionamiento de la máquina universal de ensayos por lo que en la *Tabla 5* se ha determinado las siguientes entradas y salidas del PLC:

Tabla 5: Entradas y salidas requeridas

	Cantidad	Tipo de señal
Señales de entrada		
Pulsadores	5	Digital
Finales de carrera	2	Digital
Sensor de esfuerzo	1	Analógica
Sensor de deformación	1	Analógica
Switch de selección	1	Digital
Señales de salida		
Bomba hidráulica	1	Digital
Electroválvulas	2	Digital
Motor	1	Digital
Control del motor	2	Digital
Estado de la máquina	1	Digital

Con un requisito mínimo de 8 entradas digitales, 2 entradas analógicas; y, 7 salidas digitales, se procede a la selección del PLC.

2.5.2. Expansiones y modificaciones futuras

Antes de continuar me permito comentar que la selección del PLC y las dimensiones del tablero eléctrico han sido sobrevaloradas ya que están pensados para

permitir acoplar nuevos elementos, en caso de ser necesario, y tener un mayor control de la máquina universal de ensayos, ya que en este trabajo de tesis solo se realiza el control básico de la misma.

2.5.3. Características del PLC Siemens S7-1200

- Alimentación 24 Vdc.
- 14 entradas digitales.
- 10 salidas digitales.
- 2 entradas analógicas.
- Comunicación Ethernet, Profibus DP.
- Interrupciones.
- Módulos de expansión.
- Software pagado.

2.5.4. Características del micro PLC logo8

- Alimentación 24 Vdc.
- 8 entradas digitales.
- Opción para 2 entradas analógicas
- 4 salidas tipo relé (digitales).
- Comunicación ethernet
- Módulos de expansión.
- Software pagado.

2.5.5. Características del PLC XINJE XC3-24R-C

- Alimentación 24Vdc.
- 14 entradas digitales opto-aisladas (maneja entradas NPN para transistores).
- 10 salidas tipo relé.

- Reloj en tiempo real, memorias de retención al apagar.
- Soporta operaciones matemáticas de punto flotante.
- Funciones en lenguaje “C”.
- Soporta contadores de alta frecuencia (high speed count).
- Interrupciones.
- Lazos de control PID.
- COM1 para comunicaciones con PC o Pantalla (Modbus RS232).
- COM2 para protocolo serial libre o Modbus (RS232 / RS 485).
- Software de programación gratis.
- Programación en lenguaje Ladder Logic y con lista de instrucciones.
- Módulos de expansión.

2.5.6. Características del PLC Allen Bradley 1400

- Alimentación 24 Vdc.
- 20 entradas digitales.
- 12 salidas digitales.
- 3 puertos de comunicación (Ethernet, RS232 y RS485).
- 2 entradas analógicas.
- 2 salidas analógicas
- Módulos de expansión.
- Software pagado.

2.5.7. Matriz de decisión para la selección del PLC

En la *Tabla 6* se tiene los criterios de selección del PLC con una valoración entre 1 y 5 puntos, donde: 1 = no recomendable y 5 = opción más viable para nuestro proyecto.

Tabla 6: Criterios de selección del PLC

	Siemens S7-1200	Logo 8!	Xinje	Allen Bradley
Costo	3	5	4	2
Costo de software	2	3	5	2
Capacidad de ampliación	5	4	5	4
Mínimas entradas	5	3	5	3
Mínimas salidas	5	2	5	3
Intercomunicación	4	3	5	4
Modular	4	3	4	3
Total	28	3	33	21

2.5.8. Selección del PLC más viable

Posteriormente a las características de los diferentes PLC's, se tomó en cuenta los datos obtenidos en la matriz de decisión y considerando las necesidades de la máquina universal de ensayos se puede determinar la opción más viable, de acuerdo al costo, número de entradas y salidas, consideraciones futuras y con una calificación obtenida de 33 puntos se determinó que la opción más viable es el PLC XINJE XC3- 24R-C por las características antes mencionadas.

2.6. Selección de la celda de carga

La construcción de la máquina de ensayos se basa en la norma UTM 30, esto quiere decir que la máquina puede soportar hasta 50 Toneladas. Utilizando esta característica, se toma como referencia este valor para la selección de la celda de carga. Ya que en el tablero de la máquina de ensayos se tiene una fuente de voltaje de 24V, se incluye esta característica para la selección de la celda de carga.

En este punto se procede a analizar las características de 3 tipos de sensores.

2.6.1. Características Siemens SIWAREX WL280 RN-S SA

- Capacidad nominal 13 - 60 toneladas.
- Para compresión y tracción.
- Tensión de alimentación 5 – 30 V.
- Sensibilidad 2mV/V.
- Protección de sobrecargas integrado.
- Grado de protección IP66/68.
- Longitud de cable 10m.

2.6.2. Características DPF –BPSE

- Capacidad nominal 50 T.
- Tensión de alimentación 5 – 24 V (MAX 35V).
- Sensibilidad 2mV/V.
- Máxima carga de trabajo 150%.
- Grado de protección IP65.
- Longitud de cable 5m.

2.6.3. Características EMIC CCE600KN

- Capacidad nominal 12 - 600KN (61 T).
- Tensión de alimentación 10 – 30V
- Sensibilidad 2mV/V.
- Longitud de cable 5m.

2.6.4. Matriz de decisión para la selección de la celda de carga

En la *Tabla 7* se establecen los criterios de selección de la celda de carga con una valorización entre 1 y 5, donde: 1 = no recomendable y 5 = opción más viable para nuestro proyecto.

Tabla 7: Criterios de selección de la celda de carga

Características	Siemens Siwarex	DPF - BPSE	EMIC
Alimentación	5	5	5
Capacidad	5	5	5
Longitud de cable	5	4	4
Protección	5	4	5
Costo	2	5	2
TOTAL	22	23	21

2.6.5. Selección de la celda de carga más viable

Las características de estos tipos de sensores son similares en todas las alternativas, lo que varía en ellos es el material de construcción y el precio, en algunos tipos de sensores varía la tensión de alimentación, pero la funcionalidad es la misma. Por el costo de adquisición menor y por las características antes mencionadas se selecciona la celda de carga DPF – BPSE.

2.7. Selección del extensómetro

La principal característica diferencial entre un extensómetro y otro es la distancia de recorrido o la longitud de deformación máxima para un material. En la siguiente tabla se muestra una lista de la distancia de desplazamiento o de sensado de los extensómetros axiales de la marca **Epsilon**.

Extensómetro axial de contacto directo.	10mm
Extensómetro axial de contacto directo.	12mm
Extensómetro axial de contacto directo.	25mm
Extensómetro axial de contacto directo.	50mm
Extensómetro axial de contacto directo.	80mm

Se va a tomar como ejemplo el extensómetro de 25mm para presentar sus principales características. Para este rango de medición, existen varios modelos para esta marca de extensómetro, en las tablas 8 y 9 se muestran las características diferenciales en cada modelo.

Tabla 8: Modelos de extensómetros 25mm Epsilon

Part Number	Catalogue Number	Description
01/2955	STGA/25/5/E-ST	25mm Gauge Length with +5% Measuring Range
01/2918	STGA/25/10/E-ST	25mm Gauge Length with +10% Measuring Range
01/6013	STGA/25/20/E-ST	25mm Gauge Length with +20% / -10% Measuring Range
01/2919	STGA/25/25/E-ST	25mm Gauge Length with +25% / -10% Measuring Range
01/2920	STGA/25/50/E-ST	25mm Gauge Length with +50% / -10% Measuring Range
01/2921	STGA/25/100/E-ST	25mm Gauge Length with +100% / -10% Measuring Range
01/2955-LT	STGA/25/5/E-LT	25mm Gauge Length with +5% Measuring Range
01/2918-LT	STGA/25/10/E-LT	25mm Gauge Length with +10% Measuring Range
01/6013-LT	STGA/25/20/E-LT	25mm Gauge Length with +20% / -10% Measuring Range
01/2919-LT	STGA/25/25/E-LT	25mm Gauge Length with +25% / -10% Measuring Range
01/2920-LT	STGA/25/50/E-LT	25mm Gauge Length with +50% / -10% Measuring Range

Fuente: Epsilon

Tabla 9: Opciones del rango de temperatura

Temperature Range Options	
-LT	-265 °C to 100 °C (-450 °F to 210 °F)
-ST	-40 °C to 100 °C (-40 °F to 210 °F)
-HT1	-40 °C to 150 °C (-40 °F to 300 °F)
-HT2	-40 °C to 200 °C (-40 °F to 400 °F)
-LHT	-265 °C to 200 °C (-450 °F to 400 °F)

Fuente: Epsilon

Ya que la máquina universal de ensayos no está sometida a temperaturas extremas de trabajo, se recomienda utilizar la serie -ST que trabaja entre el rango de -40°C a 100°C. En la siguiente figura se muestra un extensómetro axial de contacto directo.

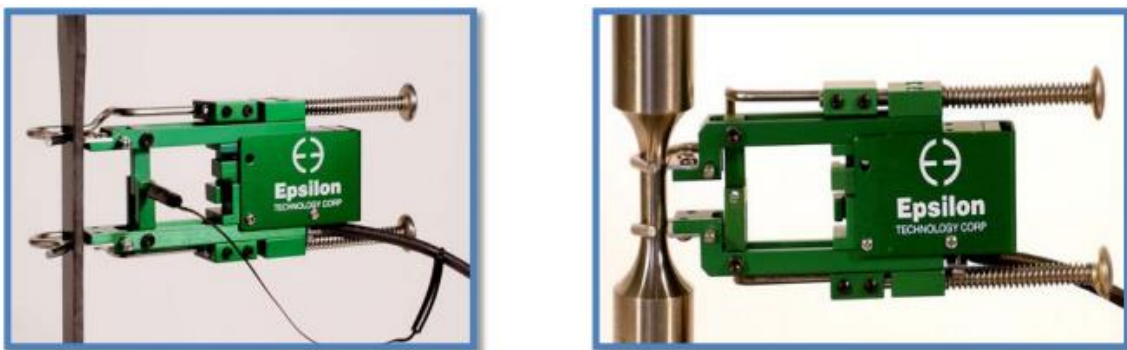


Figura 26: Extensómetro axial de contacto directo

Fuente: Epsilon

La tabla 10 muestra las especificaciones generales del extensómetro axial de contacto directo de 25 mm de la marca **Epsilon**.

Tabla 10: Especificaciones extensómetro axial de contacto directo

Especificaciones
Alimentación: 5 a 10 VDC
Salida: 2 a 4 mV/V
Linealidad: 0.10% a 0.15%
Rango de temperatura: Por modelo
Longitud de cable: 2.5m (estándar)

Fuente: Epsilon

Para los ensayos de flexión se utilizan los deflectómetros (*Figura 27*), éstos poseen las mismas características que los extensómetros con la diferencia que éstos se colocan en la parte inferior de la viga a la que se va a realizar el ensayo.

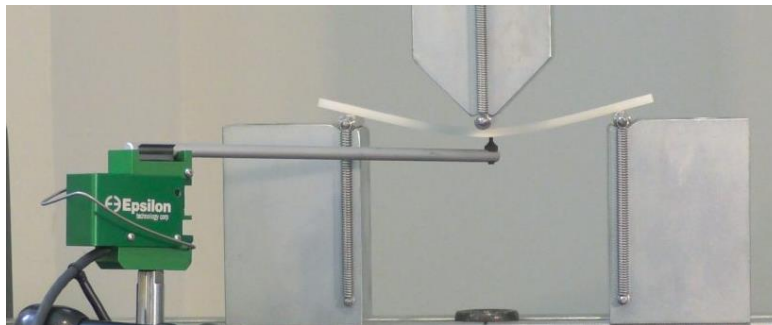


Figura 27: Deflectómetro

Fuente: Epsilon

2.8. Selección del final de carrera

El uso de finales de carrera es muy importante para la seguridad de la máquina y el usuario, estos dispositivos dan un límite a la carrera del cilindro de la bomba hidráulica y del cabezal móvil, deteniendo su movimiento para que no se produzca un fallo mecánico. El tipo de finales de carreras para la máquina universal de ensayos debe ser de tipo industrial, con seguridades extras que se ajusten a las exigencias de la misma.

Las columnas poseen roscas que estarán lubricadas para facilitar el movimiento, con el pasar del tiempo y de la generación de calor en el área de trabajo, esta lubricación

se puede derretirse y caer sobre los finales de carrera. Por esta razón se recomienda utilizar finales de carrera industriales a prueba de aceite.



Figura 28: Finales de carrera a prueba de aceite

Fuente: (Allen-Bradley, 2015)

Según Allen-Bradley (2015), Los finales de carrera a prueba de aceite Boletín 802T proporcionan clasificaciones piloto para aplicaciones severas, tamaño pequeño, un alto grado de versatilidad y una construcción a prueba de aceite NEMA Tipo 13 resistente. Están disponibles los estilos enchufable y no enchufable. Los finales de carrera enchufables tienen un cuerpo de cabeza e interruptor que se puede reemplazar con la base de la caja de cableado en su lugar. Esto reduce el tiempo improductivo al eliminar la necesidad de recableado tras el reemplazo del interruptor. (Allen-Bradley, 2015)

2.9. Diseño del tablero de control

Como se dijo en el punto 2.5.2. el sistema de automatización está pensado para expansiones a futuro por lo que el tamaño del tablero también está sobredimensionado. Se escogió una medida existente en el mercado de 120x80x40 cm, estas medidas fueron llevadas al software de diseño donde se procedió a ensamblar los dispositivos con medidas reales para dar una idea del diseño final del tablero.

2.9.1. Panel frontal

Para el panel frontal se tomó en cuenta las recomendaciones dadas por el encargado del laboratorio, el HMI estará instalado en una computadora portátil la cual estará guardada en el laboratorio y se conectará al PLC cuando se dé uso a la máquina. La mayoría de indicadores están ubicados en el HMI por lo que en el panel frontal del tablero solo se colocaron controles e indicadores básicos del estado de la máquina incluido un paro de emergencia.

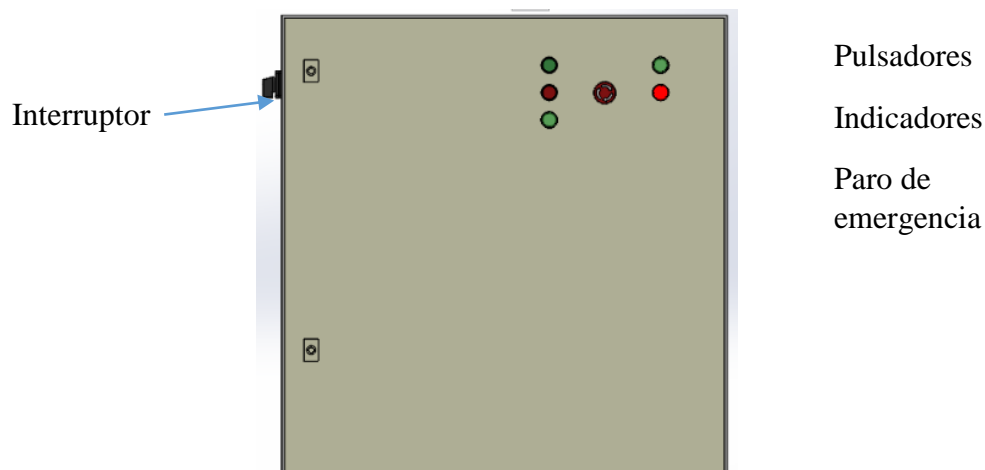


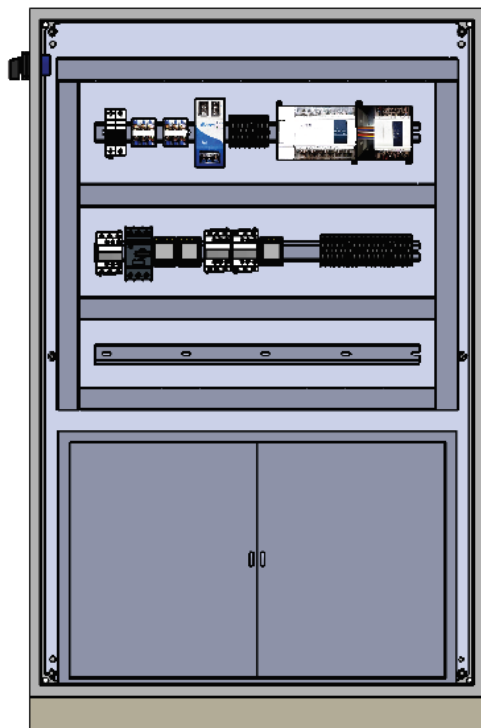
Figura 29: Panel frontal del tablero

2.9.2. Panel interno

Para el diseño de la parte interior se tuvo varias consideraciones para la colocación de los dispositivos en una disposición jerárquica. En la parte superior se tiene las protecciones de alimentación, borneras de alimentación y fuente de poder y el sistema de control, en este caso el PLC, el cual realiza todo el proceso. A continuación, se dispuso de los dispositivos de accionamiento como el control de encendido de la bomba hidráulica, guardamotor, relés de activación para las electroválvulas del cilindro y borneras de conexión las cuales tienen las conexiones exteriores al tablero.

Como el proyecto va a ser modificable a futuro, se dejó una línea libre para colocar más componentes de control, en la parte inferior se dispuso de unas cajoneras para guardar

los materiales de la máquina universal de ensayos como: probetas, cables, destornilladores, mordazas, etc.



Protecciones, fuente, sistema de control.

Accionadores, guardamotor, borneras.

Línea libre.

Cajoneras

Figura 30: Panel interno del tablero

2.9.3. Selección de cables

Para la parte de potencia y de alimentación desde el tomacorriente alterno de 120V se alimentará a: la fuente de poder de 24V/5A, bomba hidráulica, motor y 2 electroválvulas.

Tabla 11: Consumo de corriente de los elementos

Elemento	Corriente (A)
Fuente 24V/5A	1 A
Bomba hidráulica	10,2 A
Motor	14 A
Total	15 A

Cabe recalcar que la bomba y el motor son elementos que no se activarán al mismo tiempo ya que habrá un selector para determinar qué elemento se desea usar (el motor será para mover las columnas y la bomba para el cilindro). Tomando esta referencia, se tomará el elemento que posea mayor consumo de corriente, en este caso el motor, para el caculo de la protección general (véase el punto 2.9.3).

La tabla siguiente indica la corriente máxima que soportan los cables de acuerdo a su calibre, nuestro consumo de potencia tiene como resultado 15 amperios por lo que se seleccionó el cable calibre 14 AWG que soporta una capacidad máxima de 20 amperios. Para el circuito de control se utilizó el cable calibre 18AWG.

Tabla 12: Características y selección de cables AWG

TIPO	CALIBRE	CONDUCTOR				AISLAMIENTO			PESO TOTAL APROX Kg/Km	CAPACIDAD CORRIENTE	
		# H	DIÁMETRO		PESO APROX Kg/Km	ESP PROM mm	DIAM APROX mm	PESO APROX Kg/Km		-	**
			HILO	COND							
AWG	#	mm	mm	Kg/Km	mm	mm	Kg/Km	Kg/Km	Amp	Amp	
TF	18	1	1,02	1,02	7,32	0,76	2,54	5,96	13,28	6	7
TF	16	1	1,29	1,29	11,62	0,76	2,81	6,85	18,47	8	10
TWS	14	1	1,63	1,63	18,51	0,76	3,15	7,98	26,49	20	25
TWS	12	1	2,05	2,05	29,40	0,76	3,57	9,40	38,80	25	30
TWS	10	1	2,59	2,59	46,76	0,76	4,11	11,19	57,96	30	40
TWS	8	1	3,26	3,26	74,39	1,14	5,54	22,08	96,47	40	60
TWS	6	1	4,12	4,12	118,23	1,14	6,40	26,35	144,58	55	80
TWC	8	7	1,23	3,70	75,91	1,14	5,98	27,10	103,01	41	62
TWC	6	7	1,55	4,66	120,39	1,52	7,70	45,80	166,19	57	82
TWC	4	7	1,96	5,88	191,71	1,52	8,92	56,61	248,32	70	105
TWC	2	7	2,47	7,42	305,13	1,52	10,46	71,12	376,25	95	140

2.10. Cálculo de protecciones

2.10.1. Guardamotor

Este dispositivo es para proteger a la bomba hidráulica de posibles sobrecargas de corriente. Para la selección del guardamotor se tomó en cuenta la corriente nominal mostrada en la placa de la bomba. La siguiente figura muestra las características de la bomba hidráulica que se va a utilizar.

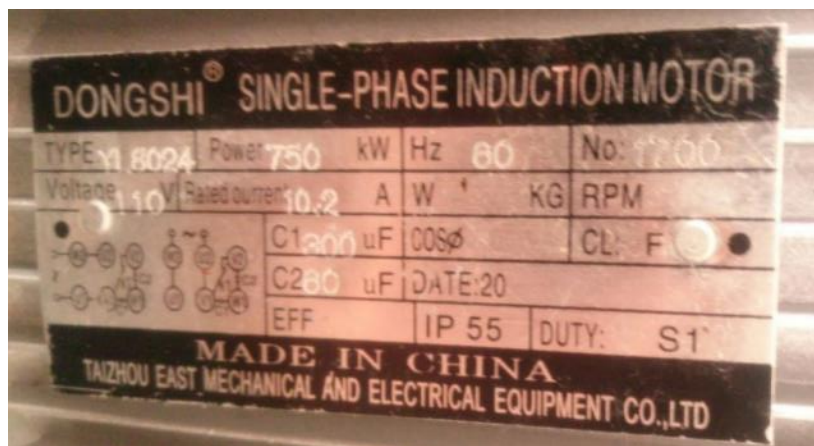


Figura 31: Placa de la bomba hidráulica

La placa de la bomba muestra una corriente nominal de 10.2A, por seguridad, se seleccionó el rango de protección del guardamotor de 10 – 16 A.

2.10.2. Selección de contactores

Un contactor será usado para la activación de la bomba hidráulica, así que se seleccionó un contactor de un poco más de 16 A. Se necesitó un contactor con bobina a 110V, y la corriente máxima soportada por éste es de 18 A, éste fue el próximo valor comercial encontrado en el mercado.

El motor para el control del movimiento de las columnas de la máquina es de conexión trifásica, en este caso, se necesita realizar el control del giro en ambos sentidos para subir y bajar el cabezal móvil, los contactores se seleccionaron a partir de la corriente

que consume el motor la cual es de 14 A, se seleccionó el contactor con el valor comercial superior cercano a este valor el cual es de 16 A.

En total se utilizarán 2 contactores para el control del motor, uno para el giro en sentido horario y otro para el giro en sentido antihorario.

2.10.3. Protección general (Breaker)

Para el cálculo de la protección general se tomó en cuenta el consumo de corriente de cada uno de los dispositivos de la *Tabla 12*. Una vez obtenida la corriente total se estableció un 30% extra para el cálculo de la protección general.

$$\text{Protección} = 15 \times 1,3 = 19,5A$$

Ecuación 3: Fórmula de cálculo de protección general

El valor obtenido fue de 19,5, en el mercado se encontró un breaker de protección de 20 A.

2.11. Programación del PLC

Existen dos formas de programación para el PLC: el método heurístico o informal (función memoria) y el método formal (GRAFCET). El método grafcet es el que mejor se acopla a la programación por procesos.

Antes de realizar el diagrama GRAFCET se deben describir las entradas y salidas que intervienen en el programa para tener una mejor visualización del mismo. Se debe tener en cuenta realizar un diagrama de ambiente; como se ve en la figura, se tiene las entradas las cuales entregan la información necesaria para que el sistema de control inicie el proceso y por ende brinde salidas al sistema de control que se maneja.

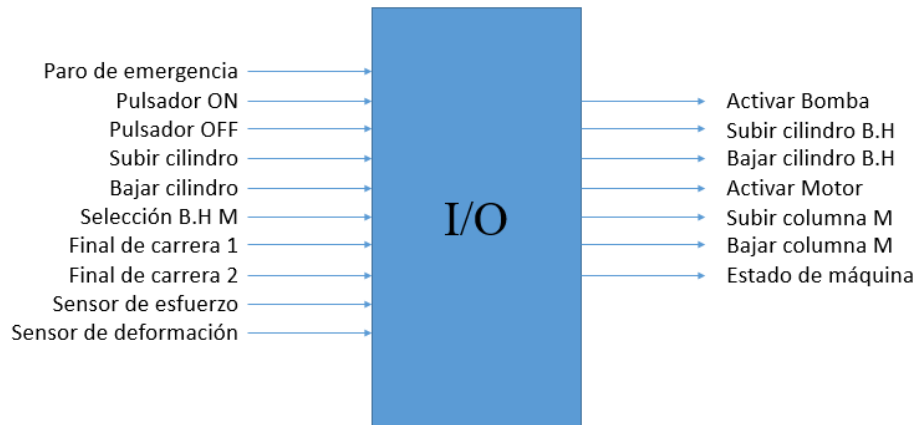


Figura 32: Diagrama de ambiente

2.11.1. Diagrama de entradas y salidas

En este diagrama se coloca las siglas de cada entrada y cada salida como se puede apreciar en la *Figura 33*, en la *Tabla 13* se muestra la descripción de cada una de las siglas de nuestro diagrama de entradas y salidas.

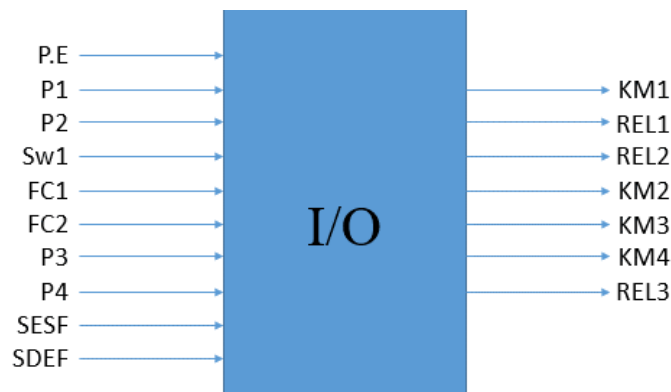


Figura 33: Diagrama de entradas y salidas

Tabla 13: Descripción de entradas y salidas

Sigla	Nombre	Descripción
P.E	Paro de emergencia	Detiene el ciclo de la máquina
P1	Activar Bomba y Motor	Alimenta la B.H y el M a 110V
P2	Desactivar bomba	Desconecta la B.H y M
SW1	Selección	Selecciona el control de la B.H o M
FC1	Final de carrera 1	Final de carrera arriba (Subir cilindro)

FC2	Final de carrera 2	Final de carrera abajo (Bajar cilindro)
P3	Subir cilindro	Sube el cilindro de la bomba hidráulica
P4	Bajar cilindro	Baja el cilindro de la bomba hidráulica
SESF	Sensor de esfuerzo	Mide la fuerza aplicada a la probeta
SDEF	Sensor de deformación	Mide la deformación de la probeta
KM1	Contactador 1	Bomba hidráulica
REL1	Relé 1	Subir cilindro
REL2	Relé 2	Bajar cilindro
KM2	Contactador 2	Motor
KM3	Contactador 3	Subir columna
KM4	Contactador 4	Bajar columna
EST	Estado	Indicador de estado de la máquina

2.11.2. Diagrama GRAFCET

El GRAFCET, cuyo nombre deriva de GRÁfico Funcional de Control de Etapas y Transiciones (en francés: GRAPhe Fonctionnel de Commande Etapes-Transitions) es un grafo, o diagrama funcional normalizado, que permite hacer un modelo del proceso a automatizar, contemplando entradas, acción es a realizar, y los procesos intermedios que provocan estas acciones. Este método de representación es aceptado en Europa y homologado por varios países, entre ellos Francia por la norma NFC-03-190 y en Alemania por DIN. (Gea, 2006)

En la siguiente figura se describe el GRAFCET del sistema.

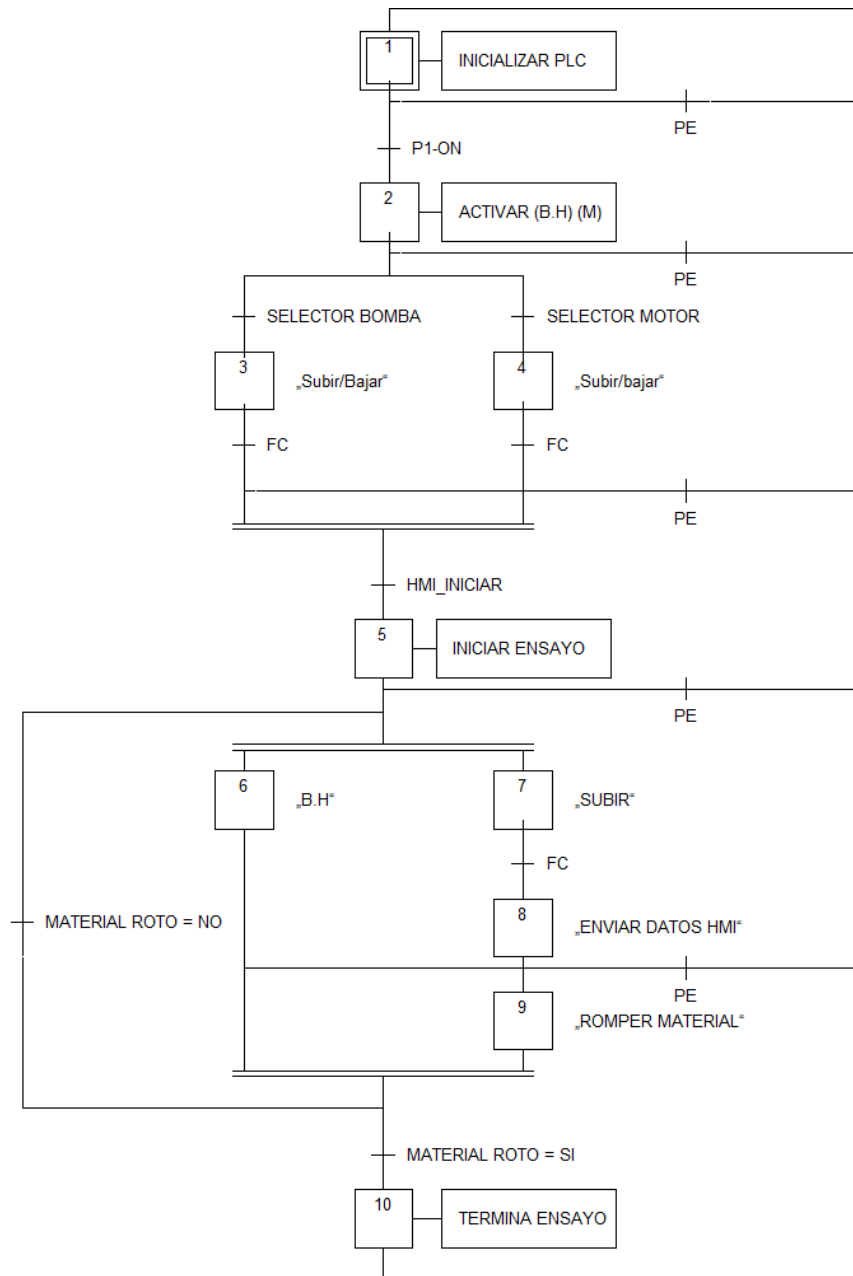


Figura 34: Diagrama graficet del sistema

2.11.3. Programación en el software XCP PRO

Para programar el PLC XINJE XC3- 24R-C de 24 I/O se utiliza el software gratuito denominado “XCP PRO” en su versión 3.3. El modo de programación del software es el “Ladder” o también llamado “programación gráfica”, muy popular dentro de los autómatas programables, aunque también tiene la opción de programarlo en lenguaje tipo “C”.

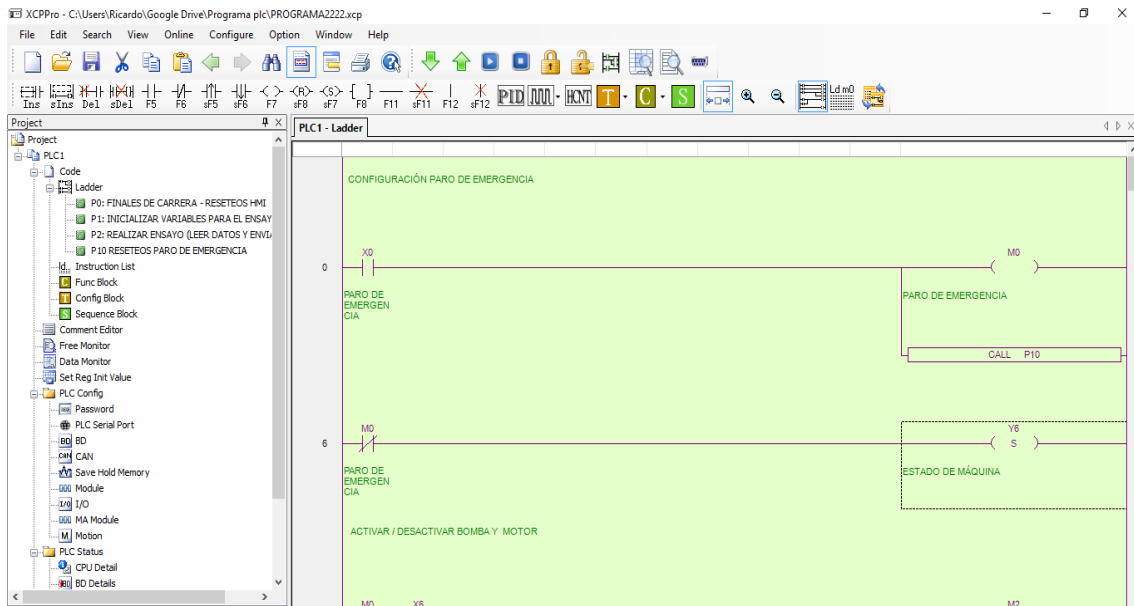


Figura 35: Interfaz del software de programación

Fuente: Xinje

2.11.4. Lista de variables usadas en la programación del PLC

Es la lista de entradas y salidas del sistema, su función y dirección de cada una de las variables empleadas en la programación.

2.11.4.1. Entradas digitales

Las entradas digitales se identifican con la letra X y son señales que pueden provenir de un sensor, pulsadores, finales de carrera, o algún dispositivo de activación. El PLC XC3-24R-C existen 14 entradas que van desde la X0 – X7; X10 – X15. La *Tabla 14* muestra la lista de entradas utilizadas en el PLC con su respectivo elemento.

Tabla 14: Entradas digitales del PLC

PLC Input	Función	Designación	Terminal
X0	Paro de emergencia	P.E 1 y 2	Bornera 2 - 3
X1	Subir cilindro	S.C	Bornera 4
X2	Bajar cilindro	B.C	Bornera 5

X3	Selección	S	Bornera 6
X4	Fin de carrera arriba	I.LIM1	Bornera 9
X5	Fin de carrera abajo	I.LIM2	Bornera 10
X6	Conectar bomba	B.ON	Bornera 11
X7	Desconectar bomba	B.OFF	Bornera 12

2.11.4.2. Salidas digitales

Las salidas digitales se identifican con la letra Y, el PLC XC3- 24R-C tiene 10 salidas que van desde Y0 – Y7; Y10 – Y11. Las salidas de este PLC son de tipo relé. A continuación, se muestran las salidas utilizadas en el PLC con su respectivo elemento.

Tabla 15: Salidas digitales del PLC

PLC output	Función	Designación	Terminal
Y0	Bomba/Motor	B.H / M	Y0 KM1 B.H / KM2 M
Y2	Subir cilindro	S.C	Y2 REL 1 S.C
Y3	Bajar cilindro	B.C	Y3 REL 2 B.C
Y4	Subir columna – Motor	KM3	Y4 KM3
Y5	Bajar columna – Motor	KM4	Y5 KM44
Y6	Estado de máquina	EST	REL 3

2.11.4.3. Memorias internas del PLC

Las memorias internas o relés internos del PLC se identifican con la letra M y sirven para activar alguna entrada o salida mediante software. Se los simboliza a través de contactos o bobinas, pero sin acceso a dispositivos externos y sólo para uso lógico en la programación. En la *Tabla 16* se muestra la lista de memorias internas utilizadas para el correcto funcionamiento del programa.

Tabla 16:Memorias internas del PLC

PLC relés internos	Función
M0	Paro de emergencia
M1	HMI Activar bomba
M2	Activar BH/M
M3	No mover
M4	Motor
M5	Bomba hidráulica
M6	Fin carrera arriba
M7	Fin carrera abajo
M8	HMI Subir
M9	HMI Bajar
M10	Aux Subir
M11	Aux Bajar
M12	Presión
M13	Compresión
M14	Tracción
M15	Flexión
M16	Inicia ensayo
M17	Termina ensayo
M18	HMI Selección BH/M

2.11.4.4. Salidas y entradas analógicas

En el PLC Xinje, las entradas analógicas se los identifica con los registros ID y a las salidas analógicas con el registro QD. El módulo de expansión empleado en este caso

es el XC-E4D2DA el cual contiene 4 entradas y 2 salidas analógicas. La máquina de ensayos utiliza 2 entradas analógicas que corresponden a la celda de carga y al extensómetro. En la siguiente tabla se muestra el registro que corresponde a cada una de estas variables.

Tabla 17: Entradas y salidas analógicas del PLC

PLC AI/O	Función	Designación	Terminal
ID100	Sensor de esfuerzo	S ESF	Bornera 17
ID101	Sensor de deformación	S DEF	Bornera 21

2.11.4.5. Registro de datos

Estos registros permiten guardar valores Dword, como, por ejemplo, para la inicialización de variables numéricas. Dichos registros se identifican con la letra D y se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 18: Registro de datos del PLC

PLC registros	Función
D0	Lectura del esfuerzo en HMI
D1	Lectura de la deformación en HMI
D2	Fuerza/Peso del material
D10	Constante de inicio del ensayo

2.11.5. Adquisición y envío de datos

Lectura de señales de los diferentes sensores distribuidos en la máquina como, por ejemplo: finales de carrera, sensor de fuerza, sensor de presión, extensómetro y demás pulsadores.

En la parte de adquisición y envío de datos también se realiza la comunicación con el HMI de la tesis denominada “Máquina universal de ensayos destructivos: sistema de control y supervisión de datos” dicha HMI está diseñada en el software Labview.

2.11.5.1. Comunicación del PLC Xinje y Labview 2014

Para la comunicación del PLC Xinje con Labview se utiliza uno de los módulos de Labview llamado Datalogging and Supervisory Control (DSC), en su versión 2014 para este caso.

2.11.5.2. Módulo Labview Datalogging and Supervisory Control (DSC)

El Módulo LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (DSC) es el complemento de LabVIEW, ideal para desarrollar su HMI/SCADA o aplicaciones de registro de datos de muchos canales. Con LabVIEW DSC, usted puede desarrollar de manera interactiva un sistema de monitoreo y control distribuido que va desde docenas hasta decenas de miles de etiquetas. Incluye herramientas para registrar de datos a una base de datos histórica en red, rastrear tendencias de datos históricos y en tiempo real, administrar alarmas y eventos, crear redes de objetivos LabVIEW Real-Time y dispositivos OPC en un sistema completo y añadir seguridad a interfaces de usuarios. (National Instruments, 2014)

Características:

- Cliente OPC Clásico y Modbus para compartir datos con dispositivos de terceros.
- Base datos integradas en red para registro de datos distribuido.
- Desarrollo gráfico para HMI y aplicaciones de monitoreo y control distribuido.
- Tendencias de datos históricos y de tiempo real, alarmas y manejo de eventos basados en configuración.

- Etiquetas ilimitadas para conectar a hardware de NI, PLCs y otro hardware de terceros.

2.11.5.3. NI OPC Servers

Software para Establecer Interfaz a Dispositivos de Automatización Industrial. El puente de Servidores NI OPC convierte protocolos industriales a los protocolos abiertos OPC Clásico y OPC Arquitectura Unificada (UA). Esta conversión a OPC le permite al software NI LabVIEW comunicarse con diferentes controladores lógicos programables (PLCs) y dispositivos de terceros a través del Cliente OPC que está incluido con el Módulo LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (DSC). La combinación de los Servidores NI OPC y LabVIEW ofrece una sola plataforma para brindar medidas y control de alto rendimiento a sistemas industriales. (National Instruments, 2014)

Una de las características más importantes de esta extensión de Labview es que incluye controladores para PLCs, que van desde PLCs de legado basado en serial hasta los últimos PLCs basados en Ethernet.

2.11.5.4. Configuración NI OPC Servers

La configuración de NI OPC Servers se la puede apreciar en el ANEXO 1. En este anexo se detalla paso a paso desde la configuración del dispositivo hasta la lectura de las variables en el software Labview.

CAPÍTULO III

3. Implementación y resultados

En este capítulo se detallarán los materiales utilizados, los pasos para la construcción del tablero eléctrico de para la máquina universal de ensayos y resultados esperados.

3.1. Materiales eléctricos

Los materiales utilizados para el armado del tablero de control de la máquina universal de ensayos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 19: Materiales utilizados en el tablero

Materiales eléctricos		
Material	Descripción	Cantidad
Tablero	120x80x40 cm	1
Riel din	35x27x7.5 1m	2
Canaleta ranurada	40x40 mm 2m	2
Paro de emergencia	Rearme por giro, NO 22mm	2
Interruptor	NA	1
Switch	NO	1
Pulsador	3 NO perfil bajo, verde 22mm	3
Pulsador	1 NO perfil bajo, rojo 22mm	1
Luz piloto	Verde 24V, 22mm	2
Luz piloto	Rojo 24V, 22mm	1
Cable de alimentación	Negro 14 awg	10m
Cable de alimentación	Blanco 14 awg	10m
Cable de conexión	Rojo 18 awg	15m

Cable de conexión	Negro 18 awg	15m
Cable de conexión	Amarillo 18 awg	30m
Borneras	Para riel din #14	30
Puente para borneras	Puente de energía	2
Terminales de cable	Tipo U y puntera para cable 14-18 awg	150
Breaker	20A	1
Guardamotor	Siemens 10-16 A	1
Contactador	18A	4
Fuente	Delta 24V/5A	1
Bloque de borneras	3 polos	2
Relés	110V	3
PLC	Xinje XC3-24R-C	1
Módulo de E/S analógicas	XC-E4AD2DA	1

3.2. Etapa de ensamblaje del tablero de control

- Diseño del tablero en software con medidas reales de cada uno de los elementos eléctricos.
- Realizar mediciones para colocar las canaletas y riel din en el doble fondo del tablero.
- Recortar la canaleta y el riel din a las medidas correspondientes.
- Taladrado de los agujeros para los pernos de sujeción de riel y canaleta.
- Colocación de los componentes eléctricos (breaker, fuente, PLC, relés, borneras, etc.).

- Montaje de la parte frontal del tablero eléctrico (agujeros, colocación de luces piloto y pulsadores).
- Proceder al respectivo cableado interno del tablero eléctrico y colocación de etiquetas.
- Verificar que no existan puentes entre conexiones que no correspondan antes de energizar el tablero.
- Energizar el tablero y verificar su funcionamiento.

3.3. Tablero de control

Se obtiene un tablero de control con las características antes mencionadas. Las medidas del tablero son de 120cm de alto, 80cm de ancho y 40cm de profundidad. Con las medidas escogidas en el diseño, se procede a colocar los elementos del panel frontal el cual se puede visualizar en la *Figura 36*. En la parte interna se tienen las protecciones, activaciones, elementos de control (PLC) y borneras, se puede apreciar en la *Figura 37*.



Figura 36: Panel frontal del tablero

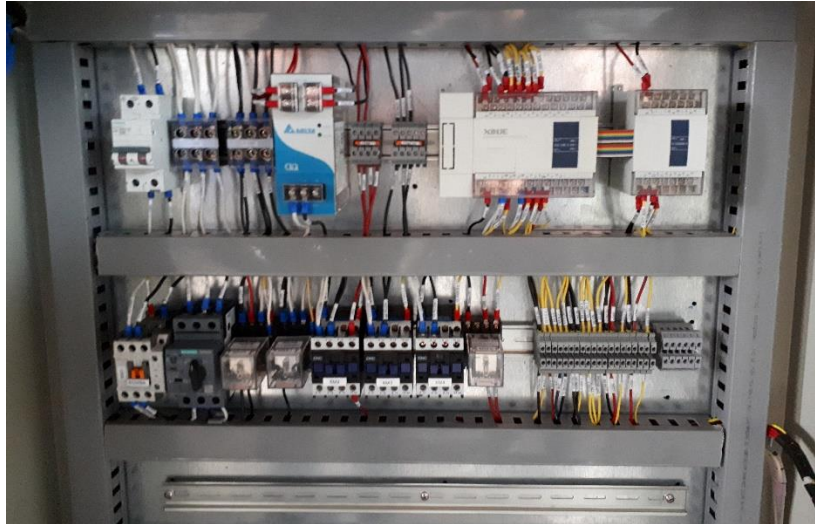


Figura 37: Panel interno del tablero

3.4. Colores del cableado interno

La lógica de colores empleados en el tablero de control en la etapa de potencia de corriente alterna se tomó los colores base (blanco y negro). En la parte de control se tomó el color amarillo (E/S del PLC), rojo para positivo (+24V) y negro para negativo o común (0V). En la siguiente tabla se resume los colores de cables usados.

Tabla 20: Colores del cableado interno del tablero

Descripción	Asignación	Color	Calibre
Línea de alimentación 120V	Línea	Negro	14AWG
Neutro de alimentación 120V	Neutro	Blanco	14AWG
Puesta a tierra alimentación 120V	Tierra	Verde	14AWG
Fuente de alimentación +5V	+24V	Rojo	18AWG
Fuente de alimentación 0V	0V	Negro	18AWG
Señales de salida y entrada del PLC	Y – X	Amarillo	18AWG
Común del PLC	COM	Negro	18AWG

3.5. Etiquetado del cableado interno del tablero

Para el etiquetado de cables de alimentación y de control se tomó en cuenta el origen del cable (inicio de la conexión) hasta la parte final a donde llega su conexión, con los nombres propios de los elementos tomados en el origen y al final del cable. En la siguiente tabla se detalla un resumen del etiquetado realizado.

Tabla 21: Resumen del etiquetado

Conexión	Etiqueta
Alimentación +24V PLC	+24V PLC
Línea 110V AC	L 110V
Neutro 110V AC	N 100V
Línea 1 contactor de bomba hidráulica	L1 110V
Salida Y0 contactor de bomba hidráulica	Y0 KM1 B.H
Salida Y2 relé 1 Subir Cilindro	Y2 REL1 S.C
Entrada X0 Paro de emergencia 1	X0 P.E 1
Entrada X5 interruptor de límite 2	X5 I.LIM 2
Interruptor de límite 2 - bornera 10	I.LIM 2 .B10
Paro de emergencia - bornera 2-3	P.E .B2 B3
Apagar/desconectar bomba – bornera 12	OFF .B12
Salida Y6 estado de máquina – relé 3	Y6 REL3 EST
Entrada analógica Sensor de Esfuerzo	VI0 S ESF

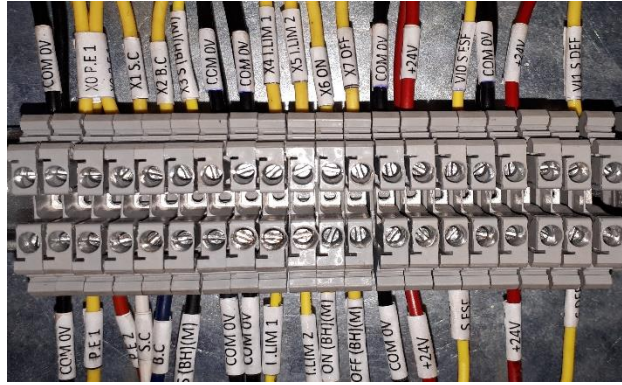


Figura 38: Etiquetado de Borneras

3.6. Pruebas y resultados

3.6.1. Control por botonera de mando

Para un mejor control y comodidad para el usuario se ha incorporado una botonera de mando (control remoto alámbrico) en el que constan los elementos para el control de la bomba y el motor (cilindro y columnas). En la botonera se tiene el selector, botones para subir o bajar y un paro de emergencia.



Figura 39: Botonera de mando o control remoto alámbrico

3.6.2. Señales luminosas

Al presionar cualquiera de los paros de emergencia, todos los elementos de la máquina se desactivan y se encenderá la señal luminosa roja (Figura 41) del “estado de máquina” lo cual indica que no se puede utilizar la máquina hasta que se rearme el paro de emergencia. Caso contrario, si está todo en orden, el estado de la máquina estará en “verde” Figura 40 lo cual significa que se puede operar.



Figura 40: Señal luminosa de estado de máquina



Figura 41: Señal luminosa de paro de emergencia

La bomba y motor se pueden activar desde el tablero o el HMI. Cuando se activan, se enciende el indicador de color verde que se encuentra en el tablero (Figura 42).



Figura 42: Señal luminosa de activación de bomba hidráulica y motor

Las señales luminosas de los finales de carrera se muestran en el HMI, se puede apreciar en la Figura 47.

3.6.3. Medición de la fuerza aplicada

La fuerza aplicada a la probeta se mide a través de la celda de carga, este sensor entrega una señal de tipo analógica, esta señal es adquirida por el PLC y enviada al HMI para su respectiva operación.

La celda de carga recomendada en el *Capítulo 2*, sección 2.6, tiene una sensibilidad de 2mV/V y una capacidad de hasta 50T, la fuente de voltaje de nuestro tablero es de 24V. Unidos estos datos, se tienen los siguientes resultados:

$$V_{out} = \text{sensibilidad} * V_{alimentación}$$

Ecuación 4: Respuesta a la sensibilidad de celda de carga

Esto quiere decir que, si la celda de carga tiene una alimentación de 24V y no se le coloca peso o fuerza, el sensor tendría una salida de 0mV. Si se coloca un peso o fuerza de 50T, se tendría una salida de 48mV.

Al momento de realizar un ensayo, mediante la celda de carga se toman los datos del esfuerzo aplicado a la probeta, estos datos de voltaje son leídos por el PLC en forma de bits, estos valores de conversión se los puede apreciar en la siguiente figura.

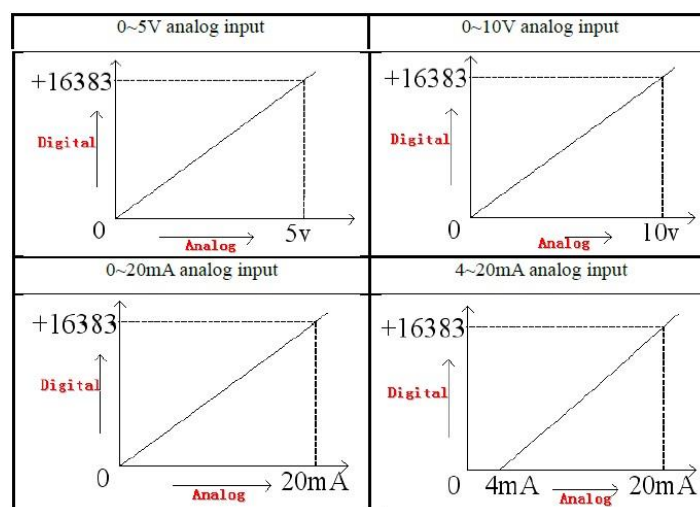


Figura 43: Relación entre el análogo de entrada y el digital convertido

Fuente: Xinje

La conversión del voltaje a los bits que reconoce el PLC es lineal, en la simulación se utilizó la configuración de la entrada analógica de 0-10V para probar la comunicación y el funcionamiento de la programación. Se debe amplificar la señal de la celda de carga para que el PLC pueda leer correctamente los datos. Para la amplificación de señal, véase el punto 3.6.5.

$$y = \frac{K * Vin}{Vmax}$$

Dónde:

Y = bits de lectura del PLC.

K = Constante / Bits de lectura del PLC.

Vin = Voltaje de entrada analógico.

Vmax = Voltaje máximo de entrada.

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$Y = \frac{16383 * Vin}{10}$$

Simplificando:

$$Y = 1638,3 * Vin$$

Ecuación 5: Conversión de voltaje a bits de lectura del PLC

3.6.4. Medición de la deformación del material

La lectura de la deformación del material se lo realiza mediante un extensómetro, este sensor posee una salida de señal analógica de 2 a 4mV/V. El principio de funcionamiento del extensómetro es similar al de la celda de carga, en ambos casos se necesita amplificar y acondicionar dichas señales para que puedan ser recibidas por el

PLC. De igual manera que en la celda de carga, se utilizó la configuración de 0-10V para la lectura de datos.

3.6.5. Amplificación de señales

Tanto las señales de la celda de carga como la del extensómetro son muy pequeñas para la lectura en el PLC, por lo tanto, se debe usar un amplificador de señal adaptándola entre 0-5V o entre 0-10V para poder hacer una lectura adecuada. Se recomienda utilizar un amplificador de señal específico para las celdas de cargas, por ejemplo, el amplificador de señal para celdas de carga PIXYS (Figura 44).



Figura 44: Amplificador programable para celdas de carga PYXIS

Tabla 22: Características principales del amplificador de señal PYXIS

Alimentación	24VDC
Tipo de entrada	En mV o en corriente 4-20mA
Tipo de salida	Analógicas y digitales (alarmas)
Número de sensores	2
Número de salidas	2 analógicas, 2 digitales
Programable	
Apto para riel din	

Fuente: SERCOFLEX

El amplificador de señal para celdas de carga posee 2 entradas y salidas analógicas las cuales pueden ser usadas para amplificar las señales de esfuerzo y deformación.

Al amplificar la señal de la celda de carga se tiene que las 0T corresponden a 0V y 50T a 10V.

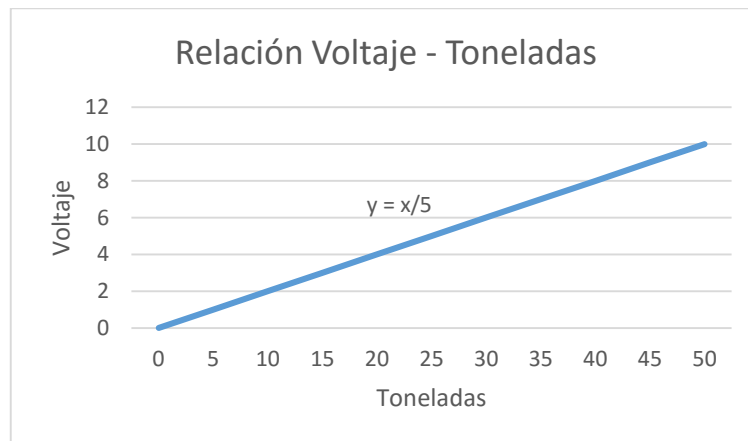


Figura 45: Relación Voltaje-Toneladas

La ecuación que gobierna el sistema es:

$$y = \frac{x}{5}$$

Ecuación 6: Ecuación de conversión Toneladas - Voltaje (0-10V)

Donde

x = Peso/fuerza (Toneladas)

y = Equivalencia a voltaje

Para una fuerza de 15 Toneladas se tiene el valor de 3V, esto, junto con la ecuación de conversión de voltaje a los bits de lectura del PLC (*Ecuación 5*), se tiene un valor de 4915 que son los datos que lee el PLC.

Este método de amplificación y conversión también aplica para el extensómetro.

3.6.6. Comunicación con el HMI

Para la comunicación con el HMI de Labview se determinó las variables que se utilizarán para la comunicación y se las configuró en el OPC Servers de NI, la lista de variables y la configuración de la comunicación se encuentra en el ANEXO 1.

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling
PARO DE EMERG...	000001	Boolean	50	None
CONECTAR BOMBA	000002	Boolean	50	None
FDC ARRIBA	000007	Boolean	50	None
FDC ABAJO	000008	Boolean	50	None
SUBIR CILINDRO	000009	Boolean	50	None
BAJAR CILINDRO	000010	Boolean	50	None
PRESION ALTA	000013	Boolean	50	None
COMPRESION	000014	Boolean	50	None
TRACCION	000015	Boolean	50	None
FLEXION	000016	Boolean	50	None
INICIAR ENSAYO	000017	Boolean	50	None
TERMINAR ENSAYO	000018	Boolean	50	None
SELECCIÓN BM	000019	Boolean	100	None
ESFUERZO	400001	Word	10	None
DEFORMACION	400002	Word	10	None

Figura 46: Variables OPC Servers

3.6.7. Interfaz del HMI y simulación de datos

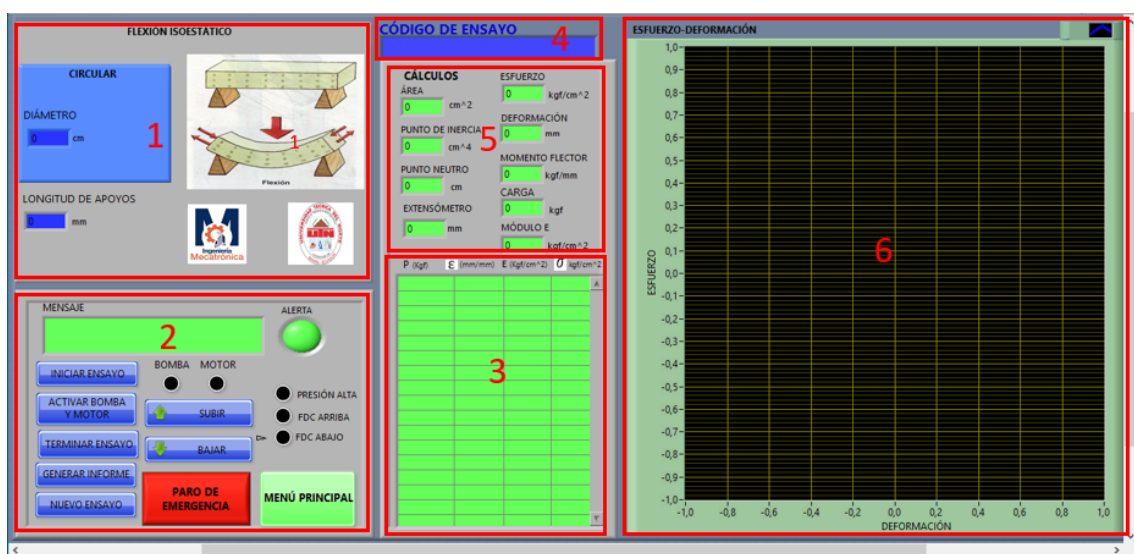


Figura 47: Representación de la pantalla para la simulación de ensayos

1. Indicador del tipo de ensayo y probeta con las medidas que debe de ingresar el usuario.
2. Se tiene los controladores para la bomba y motor y la simulación del ensayo como botones de seguridad, indicadores del estado de la máquina y finales de carrera.
3. Tabla de valores para la simulación de los ensayos.
4. Indicador del código del ensayo con el cual se guardan los datos en la base de datos.
5. Tabla de valores de los cálculos realizados. En este se muestra numéricamente los valores de esfuerzo aplicado y deformación de la probeta.
6. Esquema de la gráfica ESFUERZO – DEFORMACIÓN.

En la siguiente gráfica se muestra una simulación realizada para el ensayo de tracción.

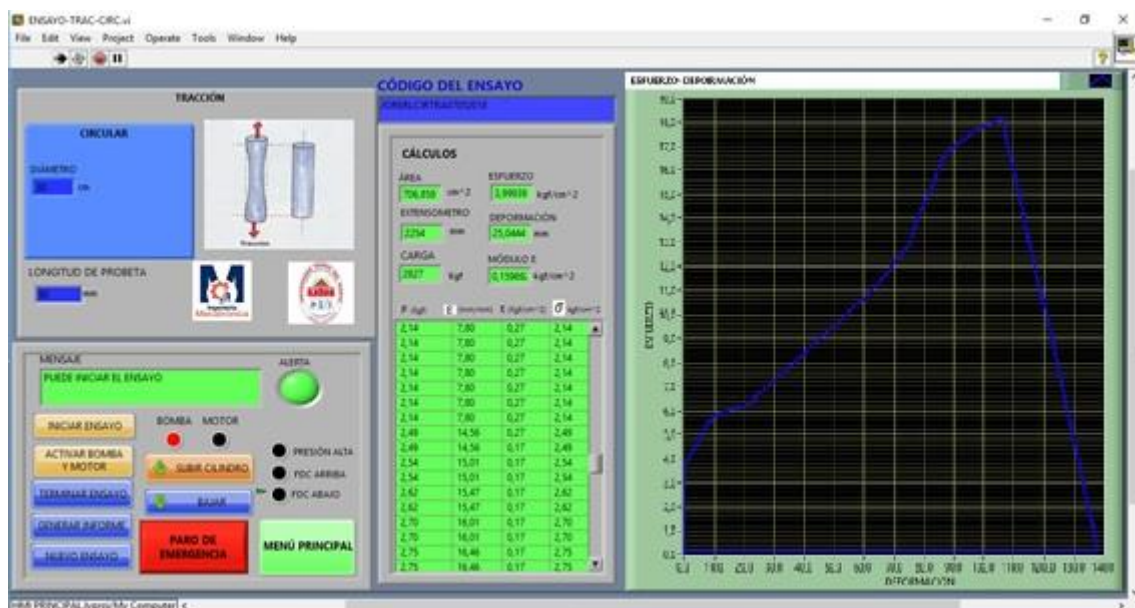


Figura 48: Simulación de un ensayo a tracción

En la figura anterior se muestra la comunicación y la toma de datos de los sensores. Se puede observar que al ejecutar el ensayo la bomba está encendida y, como se dijo anteriormente, el movimiento del cilindro de la bomba es hacia arriba. La grafica muestra la curva de los valores de esfuerzo y deformación de la probeta.

CAPÍTULO IV

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

Como resultado de la investigación se puede concluir que el funcionamiento de la máquina universal de ensayos destructivos no es complejo, señales on/off para controlar el movimiento de las columnas, señales de entrada para finales de carrera, paro de emergencia y demás pulsadores, adquisición de datos analógicos del esfuerzo y deformación, son características para el funcionamiento básico de la máquina.

Los sensores recomendados en este trabajo (celda de carga, extensómetro y finales de carrera) se escogieron determinando las características que mejor se acoplan a nuestra máquina ya que se posee una fuente de 24VDC, especialmente en la selección de la celda de carga.

El OPC Server de National Instruments es un software que permite crear canales de comunicación entre sistemas, el cual permitió la comunicación entre el HMI realizado en Labview y el PLC Xinje.

Para la simulación de los datos de esfuerzo y deformación, se tomaron varias muestras de ensayos ya realizados con el fin de crear la gráfica correcta y validar la ejecución del ensayo. Dentro de las pruebas también se simuló la ruptura de la probeta para la terminar el ensayo.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda principalmente adquirir celdas de carga y extensómetros con diferentes rangos de medida (celda de carga: 100Kg; 500Kg; 1T; 5T; extensómetro: 10mm; 25mm; 50mm) para tener una lectura precisa del esfuerzo y deformación aplicado a las probetas en diferentes materiales.

Una vez obtenidos los sensores, configurar y acoplar adecuadamente las señales utilizando un amplificador de señal y la conversión adecuada para que el PLC los pueda leer correctamente. Se recomienda que la amplificación sea entre los rangos de 0-10V o 0-5V.

Antes iniciar un ensayo, procurar que el cilindro de la bomba hidráulica esté abajo ya que es posible que se pueda quedar sin recorrido y haya problemas con la realización del ensayo.

Tener en cuenta que al conectar un sensor, pulsador o final de carrera se debe tener en cuenta la configuración del PLC el cual utiliza entradas NPN (activación con 0V).

El tablero eléctrico debe estar lo suficientemente cerca de la máquina para no exceder la longitud de los cables de los sensores analógicos y tener una mejor lectura.

Al adquirir el motor para el control de las columnas, realizar el cableado trifásico y, al conectarlo al tablero, asegurarse de que el giro del motor corresponda a los movimientos de subir o bajar cabezal móvil; la configuración para el control de giro del motor está especificada en los planos eléctricos.


Bibliografía

- Alberto Pinto. (2015). *Tipos de máquinas universales, de tensión y compresión*. Obtenido de Revista ingeniería real: <https://ingenieriareal.com/tipos-de-maquinas-universales-de-tension-y-compresion/>
- Allen-Bradley. (2015). *Finales de carrera a prueba de aceite*. Obtenido de Rockwellautomation: <https://ab.rockwellautomation.com/es/Sensors-Switches/Limit-Switches/OilTight-Limit-Switches#documentation>
- Allen-Bradley. (2015). *Interruptores de final de carrera*. Obtenido de Sensores e interruptores: <http://ab.rockwellautomation.com/es/Sensors-Switches/Limit-Switches>
- Areatecnologia. (2009). *Relés*. Obtenido de ¿Qué es un relé?: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/rele.html>
- Areatecnologia. (22 de Agosto de 2017). *Contactador*. Obtenido de areatecnologia.com: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/contactador.html>
- Castro Lugo, J., Padilla Ybarra, J., & Romero, E. (2005). Metodología para realizar una automatización utilizando PLC. *Impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales*, 18-20.
- Colcha, J, Villa, M. (2010). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICOINFORMÁTICO. Riobamba, Chimborazo, Ecuador.
- Durán, N. (Septiembre de 2009). *Controladores*. Obtenido de Introducción a los controladores lógicos programables: http://www.unet.edu.ve/~nduran/Teoria_Instrucontrol/Introduccion_al_PLC.pdf
- Gea, J. (marzo de 2006). *Automatas.org*. Obtenido de Introducción al GRAFCET: <https://www.automatas.org/redes/grafcet.htm>
- Grupo-maser. (2014). *Autómatas programables*. Obtenido de Curso básico de autómatas programables: http://www.grupo-maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm
- Guanipa, D. (Julio de 2011). *Electricidad práctica*. Obtenido de Protección de motores eléctricos según el C.E.N: <http://autodesarrollo-electricidadpractica.blogspot.com/2011/07/proteccion-de-motores-electricos.html>
- Ibertest. (2016). *Dispositivos de ensayo para probetas normalizadas*. Obtenido de Ibertest - Advanced Testing Solutions: <https://www.ibertest.es/products/dispositivos-de-ensayo-para-probetas-normalizadas/>
- Ingeniería Mecafenix. (marzo de 2017). *Guardamotor [Protección para motores eléctricos]*. Obtenido de Tutoriales y contenido de ingeniería: <http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/guardamotor/#more-613>
- Jusid_Automatizacion. (Octubre de 2005). *Controladores Lógicos Programales (PLCs)*. Obtenido de jusidautomatizacion.com.ar: <http://www.jusidautomatizacion.com.ar/articulos/1/controladores-logicos-programables--plcs-/>

- Maquiclick. (1 de febrero de 2014). *Ventajas y desventajas de los PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE)*. Obtenido de <https://www.fabricantes-maquinaria-industrial.es/ventajas-y-desventajas-de-los-plc-controlador-logico-programable/>
- Mario, Perez; Analía, Perez; Elisa, Perez. (2008). *INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE CONTROL Y MODELO MATEMÁTICO PARA SISTEMAS LINEALES INVARIANTES EN EL TIEMPO*. San Juan.
- Mecanicaauxiliar. (Mayo de 2011). *Ensayos mecánicos*. Obtenido de <http://mecanicaauxiliar.es/ensayos-mecanicos>
- Mecatrónica4b. (27 de Noviembre de 2011). *Mecánica de materiales*. Obtenido de Diagrama esfuerzo - deformación unitaria: <http://mechatronica4b.blogspot.com/2011/11/diagrama-esfuerzo-deformacion-unitaria.html>
- Moreno, G, López, J, Malagón, A, Henao, J. (2006). *Diseño y construcción de una máquina básica de ensayos destructivos de tracción y torsión*. Bogotá, Bogotá, Colombia.
- National Instruments. (2014). *Módulo LabVIEW Datalogging and Supervisory Control*. Obtenido de <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209851>
- National Instruments. (2014). *Servidores NI OPC*. Obtenido de <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209059>
- Neetesuela. (26 de Septiembre de 2013). *Probetas según el ensayo mecánico*. Obtenido de neetesuela.org: <https://neetesuela.org/probetas-segun-el-ensayo-mecanico/>
- Oscampo. (01 de Febrero de 2011). *Equipos de pruebas y ensayos de materiales*. Obtenido de wordpress: <https://oscampo.wordpress.com/2011/02/01/equipos-de-pruebas-y-ensayos-de-materiales/>
- Rivas, C. (2005). *Propiedades mecánicas: curva Esfuerzo - Deformación unitaria*. 68-72.
- Rodríguez, M. (marzo de 2013). *Revista digital INESEM*. Obtenido de Diferencia entre relés y contactores, "primos hermanos": <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/diferencia-reles-contactores/>
- Suarez, L., Rubiolo, B., & Jaime, G. (2015). *Introducción al control*. Obtenido de Celdas de carga: <https://www.eet460rafaela.edu.ar/descargar/apunte/842>
- Topoequipos S.A. (2015). *Máquina universal de ensayos*. Obtenido de <http://www.topoequipos.com/topoequipos2.0/labs-pin/maquina-universal-de-ensayos>
- Universidad Rafael Landívar. (1998). *Instructivo de uso de máquina de ensayos universales*. Obtenido de Laboratorio de resistencia de materiales: <http://www.geocities.ws/CollegePark/Library/6086/materiales.html>
- Wilmer Puentes. (Noviembre de 2015). *Solicitaciones mecánicas*. Obtenido de <http://maxautomocion.blogspot.com/2015/11/solicitaciones-mecanicas.html>
- Yugsi, R. (2009). *Selección del PLC*. Quito, Pichincha, Ecuador.

ANEXOS

ANEXO 1: Configuración de NI OPC Servers

Al abrir NI OPC Servers, como primer paso se debe crear el canal de comunicación, para ello se añade un nuevo canal  (Channel name), se le da un nombre y se escoge el tipo de driver del dispositivo (Device Driver), en el software ya viene incluida una lista de PLCs pre-configurados.

Para el caso del PLC XINJE no hay una configuración predeterminada por lo que se tuvo que crear un nuevo driver o canal (channel). El PLC Xinje soporta comunicación Modbus por lo que se seleccionó el tipo de comunicación Modbus RTU Serial.

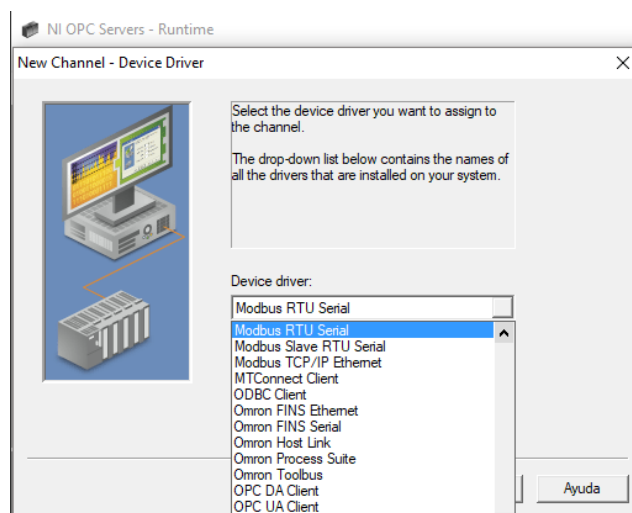


Figura 49: NI OPC Servers - Selección del tipo de comunicación

Fuente: NI OPC Servers

Luego se escoge el tipo de conexión, en nuestro caso, la conexión hacia nuestra computadora es mediante USB por lo que se debe verificar el puerto COM al que está conectado, después se colocan las configuraciones del puerto serial como el Baud rate, Databits, etc. Esta configuración debe coincidir con la del PLC y se puede verificar en el software de programación XCP PRO.

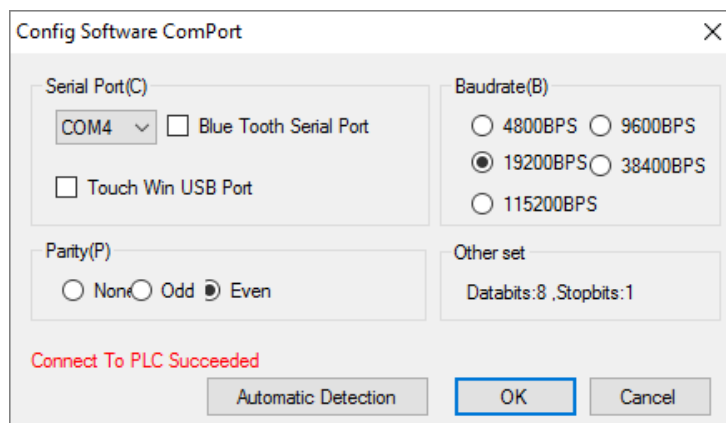


Figura 50: Configuración del puerto COM del software XCP Pro

Fuente: XCP Pro

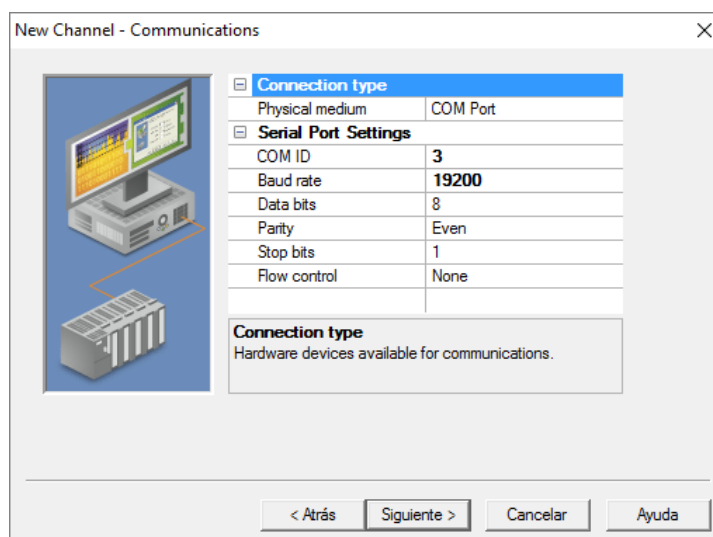


Figura 51: Configuración de la comunicación en el software NI OPC Servers

Fuente: NI OPC Servers

NOTA: El puerto de comunicación (COM) del XCP Pro y el OPC Servers debe ser diferente.


Las demás opciones de configuración no son relevantes para la comunicación del PLC por lo que se puede presionar Siguiente hasta finalizar la configuración.

Una vez creado el canal de comunicación se procede a añadir un dispositivo

haciendo clic en “Click to add a device”  Click to add a device..

Se le da un nombre al dispositivo y en modelo de dispositivo (Device Model) se

escoge la opción “Modbus”



Presionar “siguiente” hasta llegar al número de bobinas (coils) y registros (registers) que se desean añadir, el programa permite comunicar hasta 2000 bobinas internas del PLC. En mi caso dejé los valores por defecto.

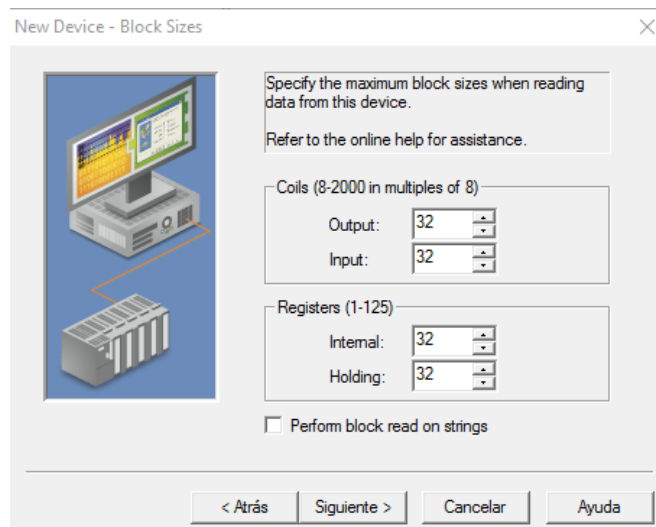


Figura 52: Tamaño del bloque de datos del dispositivo NI OPC Servers

Fuente: NI OPC Servers

Hacer a siguiente hasta finalizar la configuración. Estas configuraciones se pueden editar fácilmente en caso de un cambio.

Una vez configurado el dispositivo se procede a añadir las variables.



Hacer clic en “Click to add a static tag” para añadir una variable.

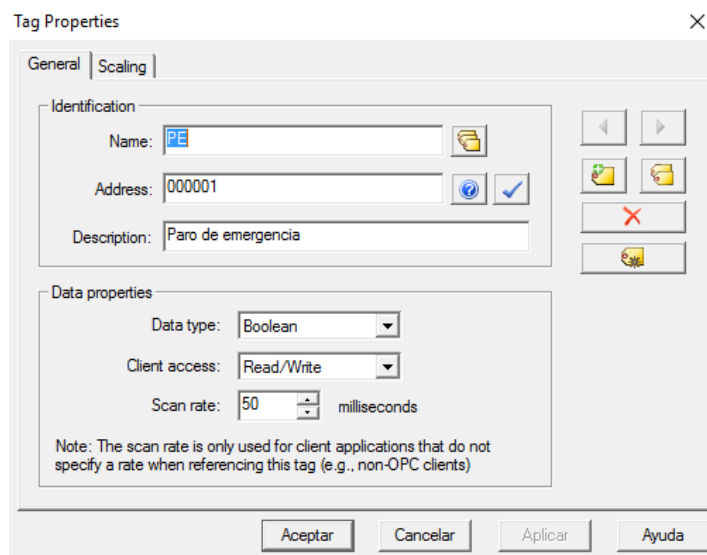


Figura 53: Configuración de una variable NI OPC Servers

Tabla 23: Tag properties NI OPC Servers

Opción	Descripción
Name	Nombre de la variable
Address	Dirección de lectura de la variable del PLC
Description	Descripción de la variable (opcional)
Data type	Tipo de dato de la variable, puede ser booleano, chart, word, double, etc. El tipo de variables se selecciona automáticamente al escribir la dirección y haciendo clic en el visto <input checked="" type="checkbox"/> que está al lado.
Client access	Tipo de acceso de variable, puede ser de lectura y escritura o sólo lectura o escritura
Scan rate	Tiempo de escaneo de la variable en milisegundos.

A continuación, se detallan las variables utilizadas para la comunicación del PLC con el HMI y sus respectivas direcciones.

Tabla 24: Variables para la comunicación NI OPC Servers

Nombre de variable	Ubicación		Tipo de dato
	PLC	OPC Server	
Paro de emergencia	M0	000001	Booleano
Conectar bomba / motor	M1	000002	Booleano
Fin de carrera arriba	M6	000007	Booleano
Fin de carrera abajo	M7	000008	Booleano
Subir cilindro	M8	000009	Booleano
Bajar cilindro	M9	000010	Booleano
Presión de aceite alta	M12	000013	Booleano
Compresión	M13	000014	Booleano
Tracción	M14	000015	Booleano
Flexión	M15	000016	Booleano
Iniciar ensayo	M16	000017	Booleano
Terminar ensayo	M17	000018	Booleano
Selección B/M	M18	000019	Booleano
Esfuerzo	D0	400001	Word
Deformación	D1	400002	Word

Una vez hecho esto, abrir el software Labview, el cual debe tener instalado el módulo DATALOGGING AND SUPERVISORY CONTROL.

- Crear un nuevo proyecto en blanco.
- Clic derecho sobre “My computer” > New > I/O Server.

- Dentro de las opciones, escoger “OPC Client” y dar clic en continuar.

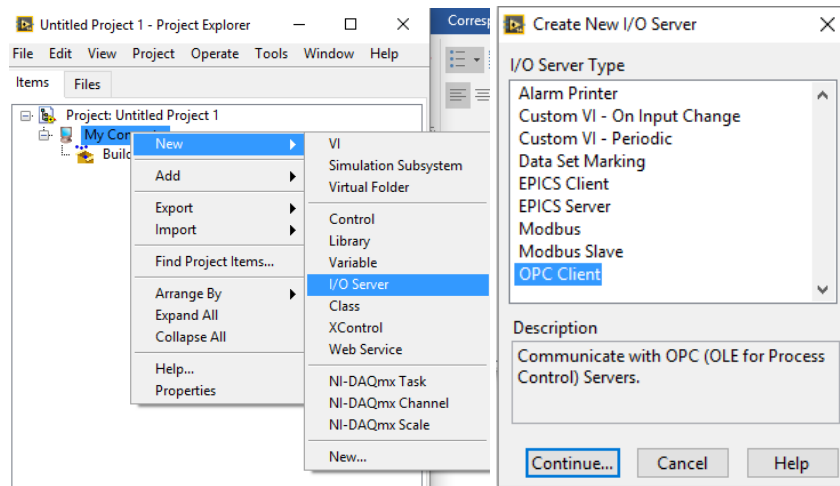


Figura 54: Configuración OPC Client – Labview

Luego se abre una ventana con una lista de OPC servers registrados, seleccionar la segunda de la lista y dar clic en OK.

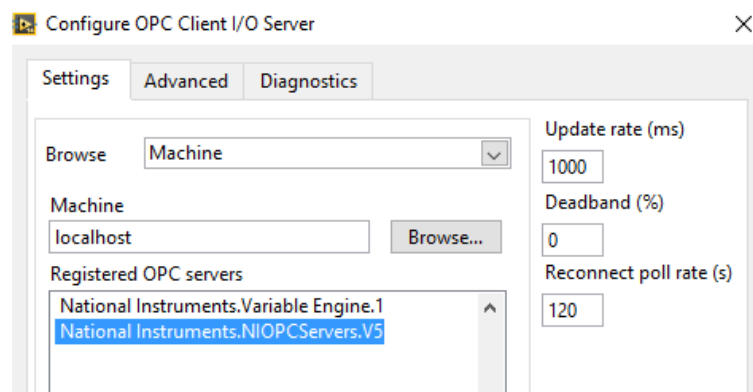


Figura 55: Configuración OPC Client Labview- lista de OPC Servers

Se creará una librería en nuestro proyecto de Labview, al expandir la librería, hacer clic derecho sobre OPC1 > Create Bound Variables.

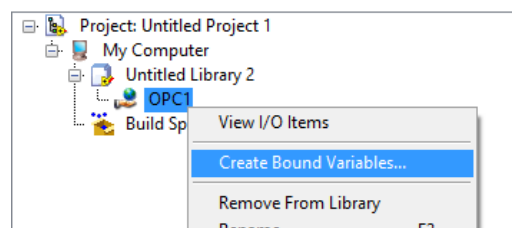


Figura 56: Configuración OPC Client Labview - Crear variables

Al expandir las carpetas marcadas en la figura se encuentra con las variables que se han configurado previamente en el programa NI OPC Servers.

Para comunicar las variables con Labview solo es necesario seleccionarlas todas (o las que el usuario desee) y hacer clic en “Add”, después de ello, dar clic en OK y las variables ya habrán sido añadidas.

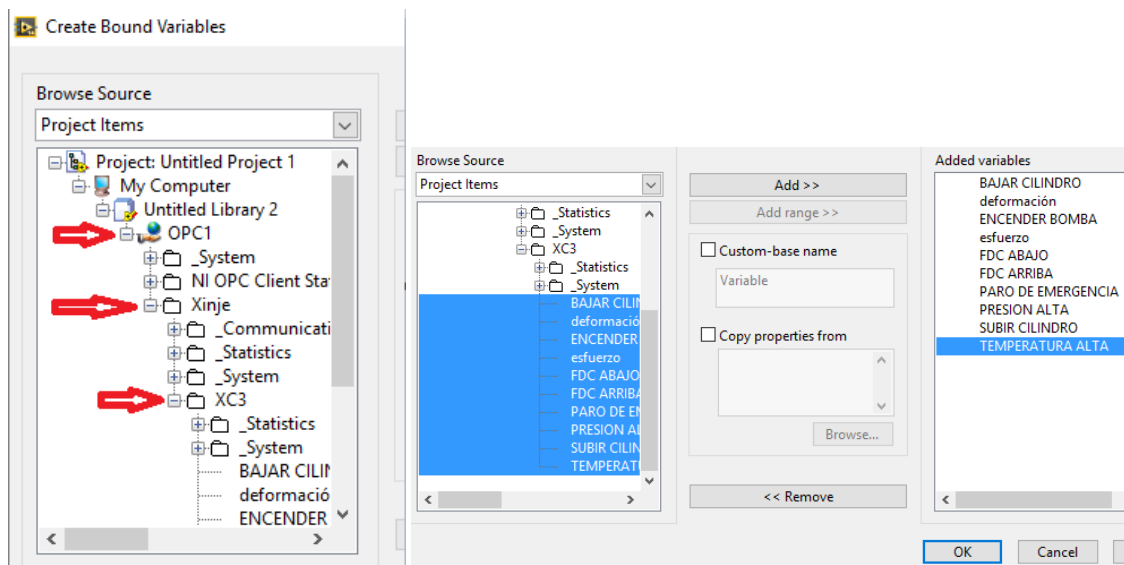


Figura 57: Configuración OPC Client Labview - añadir variables

Luego de esto se abrirá una ventana, hacer clic en “Done”.

Las variables creadas ya habrán sido añadidas en la librería.

Para usar las variables en un VI de Labview solo basta con arrastrarlas al panel frontal del VI.

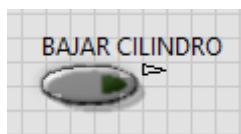


Figura 58: Variable añadida en el panel frontal del VI de Labview

Todas las variables booleanas tendrán la apariencia de la figura anterior, pero se pueden reemplazar por otro objeto ya sea de control (como un pulsador) o de visualización (como un led) haciendo clic derecho sobre el botón > reemplace.

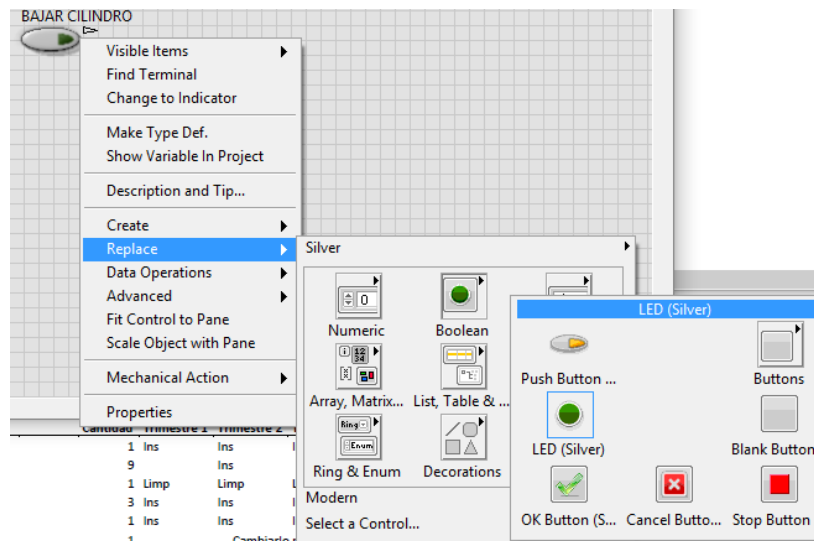


Figura 59: Cambio de control a la variable

No es necesario realizar conexiones en el diagrama de bloques del VI para visualizar una entrada o activar una salida del PLC, pero se pueden hacer conexiones internas para el control del VI.

Presionando el botón de la variable, se envía la señal de 1 lógico a la variable del OPC Server y ésta activa el relé interno del PLC para luego activar una salida. Todo este proceso se realiza casi en tiempo real. Así mismo para leer una entrada desde el PLC y mostrarla en Labview. La velocidad de la comunicación depende del Scan Rate en la configuración de las variables en el OPC Servers.

ANEXO 2: Manual del tablero eléctrico

A continuación, se muestra una pequeña guía para el uso del tablero eléctrico, encendido, controles básicos e indicadores.

Para el encendido

1. Antes de la conexión a la fuente de alimentación (120V), comprobar que el interruptor esté en la posición de OFF. Éste interruptor se encuentra al lateral izquierdo del tablero.



Figura 60: Interruptor ON/OFF

2. Verificar que el valor del breaker sea de 20A y que se encuentre en la posición de encendido.



Figura 61: Breaker de 20 A

3. Comprobar que el valor del guardamotor sea de 10 – 16 Amps y verificar que esté en la posición de ON.



Figura 62: Guardamotor de 10 - 16 Amps

4. Conectar a la red de alimentación 120V / 60 Hz.
5. Cambiar la posición del interruptor principal a ON para alimentar al tablero.

Controles

1. Activar bomba hidráulica y motor.

Esto se lo puede hacer desde de 2 formas: desde los pulsadores integrados en el tablero, o desde el HMI de Labview.

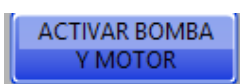


Figura 63: Botón activar/desactivar Bomba/Motor – HMI



Figura 64: Pulsadores activar/desactivar Bomba/Motor – Tablero

Cuando la bomba/motor estén activados se encenderá la luz piloto de color verde.



Figura 65: Indicador de bomba/motor conectados

La bomba hidráulica y el motor permanecerán energizados esperando la señal de movimiento para subir o bajar el cilindro/columnas.

2. Selección para el control del movimiento del cilindro (bomba hidráulica) o de las columnas (motor).

Esta selección se lo hace a través de una perilla situada en las botoneras de mando.



Figura 66: Perilla de selección

3. Subir y bajar el cilindro para el movimiento de la columna de la máquina.

Esto se lo puede hacer desde los pulsadores colocados al lado de la columna de la máquina universal de ensayos. Este movimiento también se lo puede realizar desde el HMI de Labview.



Figura 67: Botones SUBIR/BAJAR cilindro HMI



Figura 68: Pulsadores SUBIR Y BAJAR cilindro botonera de mando

4. Para realizar un ensayo, se debe seleccionar el tipo de ensayo y colocar los datos del material en el HMI de Labview.

En la tesis “Máquina universal de ensayos destructivos: sistema de control y supervisión de datos” se encuentra más detallado.

5. Paro de emergencia reinicia el sistema.

En la máquina se encuentran ubicados 2 paros de emergencia, uno está colocado en el tablero eléctrico y otro está en la máquina (debajo de los pulsadores de subir y bajar cilindro).



Figura 69: Paro de emergencia – Tablero

6. Estado de la máquina.

Está indicado por dos luces piloto, verde y roja.

Tabla 25: Luces de estado de máquina

Luz piloto	Observación
Verde	Se puede usar la máquina.
Roja	Paro de emergencia activado. No se puede usar la máquina. Solución: Desactivar paro de emergencia.



Figura 70: Luces de estado de la máquina

Para el apagado

Una vez terminado los ensayos, seguir los siguientes pasos para asegurar la protección del dispositivo:

1. Cambiar el interruptor principal de ON a OFF.
2. De ser necesario, desconectar de la red de alimentación de 120V.

NOTA: Procurar no encender ni apagar el equipo intermitentemente ya que puede reducir la vida útil de los dispositivos eléctricos.

ANEXO 3: Mantenimiento del tablero eléctrico

Asegurando el correcto funcionamiento del sistema, seguir el siguiente plan de mantenimiento.

Tabla 26: Acciones de mantenimiento

Acción	Duración
Inspección	10 min
Limpieza	30 min
Cambio	60 min

Tabla 27: Tabla de mantenimiento de elementos de automatización

Componente	Cantidad	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
Interruptor	1	Inspección	Inspección	Inspección	Inspección
Breaker 20A	1	Inspección	Inspección	Inspección	Inspección
Luz piloto	3		Inspección		Inspección
Pulsadores	6	Inspección	Inspección	Inspección	Cambio
Contactores	4		Cambiar por daño		
Guardamotor	1		Cambiar por daño		
Relés	3		Cambiar por daño		
Celda de carga	1	Limpieza	Limpieza	Limpieza	Limpieza
			Cambiar por daño		
Extensómetro	1	Limpieza	Limpieza	Limpieza	Limpieza
			Cambiar por daño		
Fuente 24V/5A	1		Cambiar por daño		
PLC	1		Cambiar por daño		
Módulo de expansión	1		Cambiar por daño		
Borneras	20	Reajustar	Reajustar	Reajustar	Reajustar

Para realizar el mantenimiento es necesario desconectar de la fuente de alimentación de 120V.

Comprobar los terminales de las borneras de conexión por si algún cable necesite reajustar.

ANEXO 4: Características del PLC Xinje XC3- 24R-C

Tabla 28: Especificaciones de alimentación

Rated voltage	DC24V
Voltage allow bound	DC21.6V~26.4V
Input current (Only basic unit)	120mA DC24V
Allow momentary power-cut time	10mS DC24V
Impact current	10A DC26.4V
Max power consumption	12W
Power for sensor use	24VDC \pm 10% Max 400mA

Fuente: Xinje

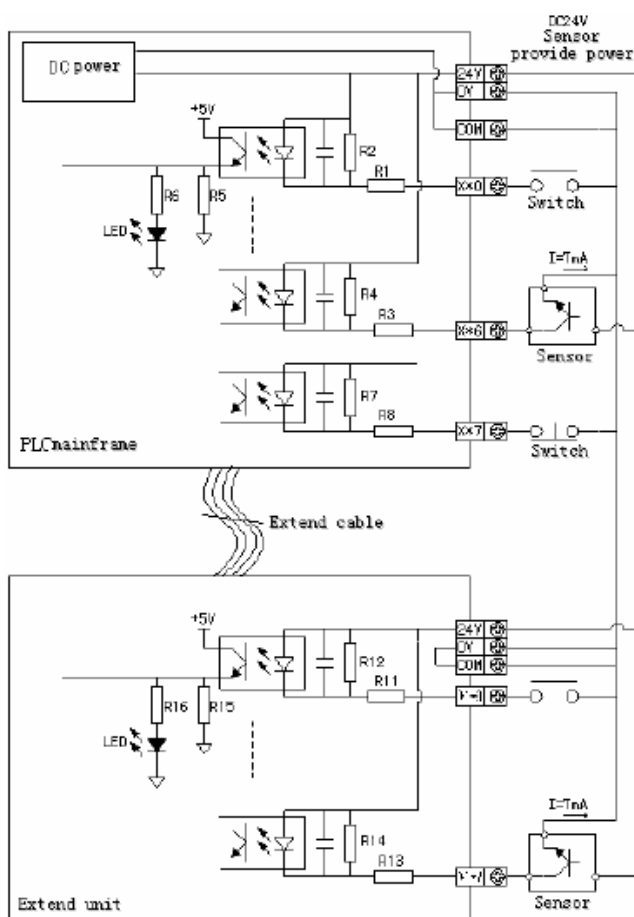


Figura 71: Conexiones de entrada

Fuente: Xinje

Interior power		Below AC250V, DC30V
Circuit insulation		Mechanism insulation
Action denote		LED indicate lamp
Max load	Resistant load	3A
	Induce load	80VA
	Lamp load	100W
Open circuit's leak current		-
Mini load		DC5V 2mA
Response time	OFF→ON	10ms
	ON→OFF	10ms

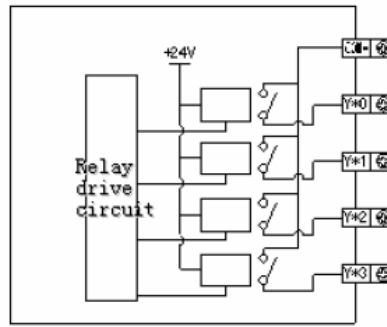
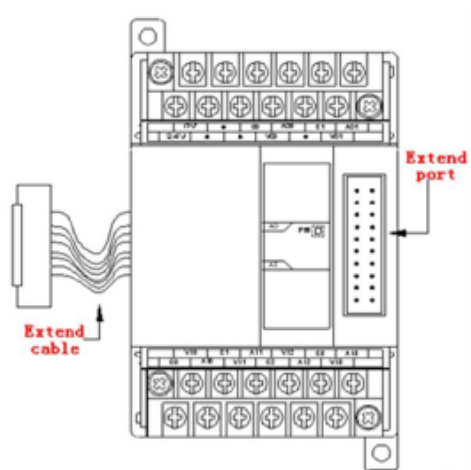


Figura 72: Conexiones de salida tipo relé

Fuente: Xinje

ANEXO 5: Características del módulo de entradas/salidas analógicas



Characteristic :

- 4 channels 14 bits analog input and 2 channels 12 bits analog output
- 4 channels selectable voltage 0~5V , 0~10V , current 0~20mA , 4~20mA input and 2 channels selectable voltage 0~5V , 0~10V , current 0~20mA , 4~20mA output. Set via host machine.
- As special function module of XC, 7 modules could be connected at most
- 4 channels A/D have PID adjustment function

Figura 73: Características Módulo de E/S analógicas

Fuente: Xinje

Tabla 29: Tabla de directorio de registros

Channel	AD signal	PID output value	PID start/stop control bit	The set value	PID parameter : Kp, Ki, Kd, control bound Diff, dead bound Death
0CH	ID100	ID104	Y100	QD102	Kp : QD106 Ki : QD107 Kd : QD108 Diff : QD109 Death : QD110
1CH	ID101	ID105	Y101	QD103	
2CH	ID102	ID106	Y102	QD104	
3CH	ID103	ID107	Y103	QD105	
Channel	DA signal	-	-	-	-
4CH	QD100	-	-	-	-
5CH	QD101	-	-	-	-

Fuente: Xinje

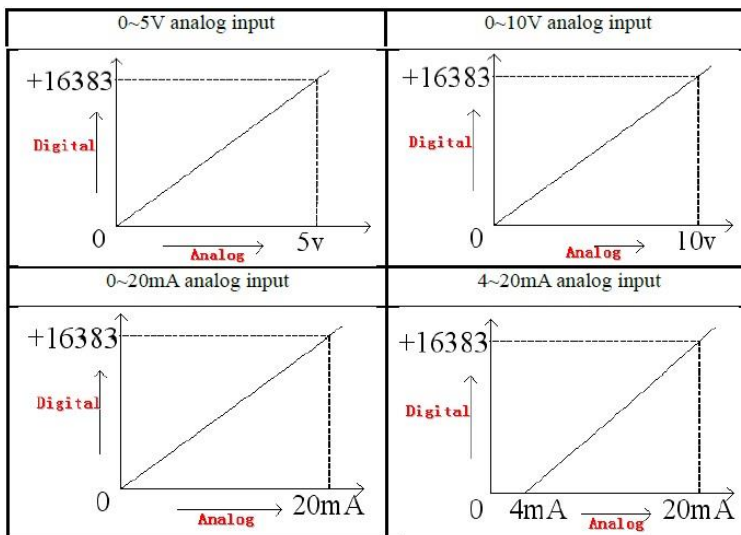


Figura 74: Relación entre el análogo de entrada y los bits de lectura del PLC

Fuente: Xinje

ANEXO 6: Configuración del guardamotor para motores monofásicos

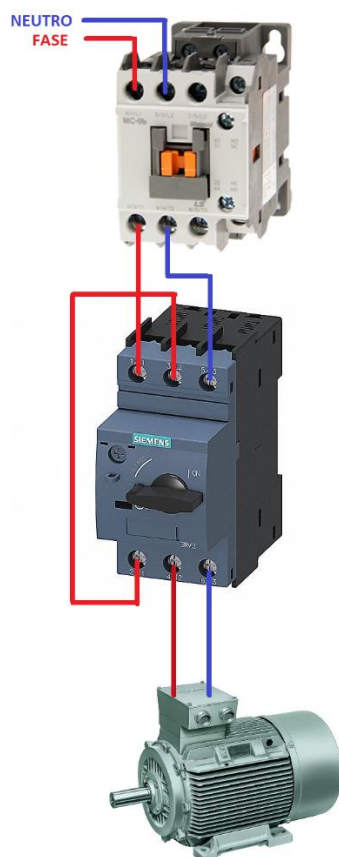


Figura 75: Conexión de un guardamotor a un motor monofásico (110V).

ANEXO 7: Abreviaturas y símbolos

ANEXO 8: Diagrama eléctrico

ANEXO 9: Conexiones de PLC

ANEXO 10: Conexiones de borneras

ANEXO 11: Dimensiones del tablero eléctrico