



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL, SUPERVISIÓN Y MONITOREO PARA LA COMPUERTA DE RESTITUCIÓN TIPO VAGÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO MEDIANTE EL USO DE UN PLC DE UNA INTERFAZ HUMANO - MÁQUINA

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

AUTOR: MARIO GERMÁN VILLACRÉS RODRÍGUEZ

TUTOR: ING. JORGE LUIS PAUCAR SAMANIEGO

Riobamba – Ecuador

2017

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

El Tribunal de Trabajos de Titulación certifica que: El trabajo de investigación : “DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL, SUPERVISIÓN Y MONITOREO PARA LA COMPUERTA DE RESTITUCIÓN TIPO VAGÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO MEDIANTE EL USO DE UN PLC DE UNA INTERFAZ HUMANO - MÁQUINA”, de responsabilidad del señor Mario Germán Villacrés Rodríguez, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna E. DECANO DE LA FIE
Ing. Freddy Chávez V. DIRECTOR: ESCUELA ELECTRONICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES
Ing. Jorge Luis Paucar S. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION
Ing. Marco Viteri B. MIEMBRO DE TRIBUNAL

“Yo, **MARIO GERMÁN VILLACRÉS RODRÍGUEZ**, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis; y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

MARIO GERMÁN VILLACRÉS RODRÍGUEZ

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida, por protegerme en mi etapa de formación universitaria y brindarme la sabiduría, los conocimientos y la experiencia necesaria para poder superar todas las pruebas y retos presentes en mi caminar académico con perseverancia y esfuerzo para llegar a ser un profesional correcto y poder servir a la sociedad y a nuestro país.

A mi familia, quienes son mi pilar y ejemplo de vida, siempre me ha apoyado en mis decisiones tomadas, por sus oraciones, consejos y palabras de ánimo que me han brindado en esta ardua etapa de aprendizaje.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, su Facultad de Informática y Electrónica y de manera muy especial a la Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales, por permitirme cursar cada aula y obtener los conocimientos de excelentes docentes con personalidad, experiencia y ética profesional al servicio de la institución. A los Ingenieros Jorge Paucar y Marco Viteri, quienes con sus conocimientos, constancia y paciencia han aportado para el desarrollo de este trabajo.

Un agradecimiento muy grande a la CENTRAL HIDROELECTRICA “SAN FRANCISCO” de la ciudad de Baños, en especial a los Ingenieros Juan Carlos Paredes y Carlos Molina por su confianza y apoyo para el desarrollo y culminación de este proyecto.

Mario

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico en primer lugar a Dios por darme la vida, sabiduría para afrontar cada prueba que se me ha presentado y ser mi guía para hoy poder cumplir un nuevo objetivo académico. A mis padres Gustavo y Liliana quienes con su cariño, sabiduría y consejo son mi soporte y ejemplo de superación ante cualquier adversidad.

A mis hermanos María Fernanda, Gustavo Enrique, José Francisco y mis queridos sobrinos Juan Sebastián, José Camilo por sus enseñanzas de perseverancia y esfuerzo en mi camino de formación profesional.

A mis amigos, docentes, y a todas aquellas personas que forman parte de mi vida, que de alguna manera u otra, me han ayudado para alcanzar esta meta.

Mario

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
ABREVIATURAS.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES.....	2
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN	3
OBJETIVOS	5
CAPÍTULO I	
1. Marco Teórico.....	6
1.1. Procesos Industriales.....	6
1.1.1. Conceptos generales.....	6
1.1.2. Clasificación de los procesos industriales.....	7
1.1.3. Diagramas de instrumentación de procesos (P&ID).....	8
1.2. Variables en un proceso industrial	9
1.2.1. Variables controladas	9
1.2.2. Variables manipuladas	10
1.2.3. Elementos finales de control	10
1.3. Controladores	17
1.3.1. Sistemas de control.....	17
1.3.2. Tipos de control.....	17
1.3.3. Hardware del sistema de control	18
1.3.4. Software del sistema de control	20
1.4. Interfaz Humano – Maquina (HMI).....	22

1.4.1.	Normativas utilizadas para el diseño de HMI	23
1.4.2.	Norma ISA 101	23
1.5.	Compuertas Hidráulicas	31
1.5.1.	Generalidades	31
1.5.2.	Compuertas tipo vagón.....	31
CAPÍTULO II		
2.	Marco Metodológico.	33
2.1.	Características del sistema de compuerta hidráulica tipo vagón	33
2.2.	Operatividad del sistema de compuerta hidráulica tipo vagón.....	35
2.2.1.	Apertura de la compuerta	35
2.2.2.	Cierre normal de la compuerta	36
2.2.3.	Cierre de emergencia de la compuerta	36
2.2.4.	Reposición de la compuerta	36
2.2.5.	Diagrama de Instrumentación de Procesos (P&ID)	37
2.2.6.	Diagrama de bloques de proceso.....	37
2.2.7.	Planos eléctricos - electrónicos del sistema de control	39
2.3.	Elementos de control	39
2.3.1.	Sensores inductivos finales de carrera – sensor analógico de posición.....	40
2.3.2.	Motor eléctrico	41
2.3.3.	Cilindro hidráulico de simple efecto	42
2.3.4.	Bomba Hidráulica	42
2.3.5.	Acondicionamiento del sensor de posición	43
2.4.	Tipo de sistema de control seleccionado.....	44
2.4.1.	Control ON – OFF para la compuerta de restitución	44
2.5.	Diseño del sistema de control.....	45
2.5.1.	Introducción.	45
2.5.2.	Hardware del sistema de control	45
2.5.3.	Controlador Lógico Programable SIEMENS S7-1200	46
2.5.4.	Pantalla táctil SIEMENS SIMATIC KTP-900 BASIC	49
2.5.5.	Software del sistema de control	50
2.5.6.	Programación del Controlador Lógico Programable.....	57
2.6.	Análisis económico para la empresa.	65
CAPÍTULO III		
3.	Análisis y Resultados.	67

3.1.	Interfaz Humano - Máquina	67
3.2.	Pruebas realizadas al nuevo sistema de control.....	76
3.2.1.	Simulación del sistema.....	76
3.2.2.	Software PLCSIM V13	76
3.2.3.	Tablero de pruebas	77
3.3.	Análisis del nuevo sistema de control de la compuerta hidráulica.....	78
3.3.1.	Sistema electrónico	78
3.3.2.	Sistema de monitoreo y supervisión.....	79
3.4.	Pruebas y resultados del sistema de control instalado en el tablero de mando	80
3.4.1.	Pruebas en modo local.....	80
3.4.2.	Pruebas modo mantenimiento	91
3.5.	Análisis económico para la empresa	93
3.5.2.	Evaluación económica del proyecto.....	94
	CONCLUSIONES:	97
	RECOMENDACIONES:.....	98
	BIBLIOGRAFÍA:	
	ANEXOS:	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Características compuerta hidráulica tipo vagón.....	35
Tabla 2-2: Características Sensor Inductivo marca BALLUFF.....	41
Tabla 3-2: Características Sensor Analógico de Posición.....	41
Tabla 4-2: Características motor eléctrico trifásico. Marca WEG.....	41
Tabla 5-2: Características cilindro hidráulico simple efecto.....	42
Tabla 6-2: Características bomba hidráulica marca BOSCH REXROTH.....	42
Tabla 7-2: Datos técnicos PLC SIEMENS S7-1200. CPU 1212C.....	47
Tabla 8-2: Datos técnicos módulos ampliación SIEMENS SM 1223.....	47
Tabla 9-2: Fuente de alimentación SIPLUS PM1207. SIEMENS.....	47
Tabla 10-2: Características Touch Panel SIEMENS KTP-900.....	49
Tabla 11-2: Variables de entrada al PLC S7-1200.....	60
Tabla 12-2: Entrada analógica al PLC S7-1200.....	61
Tabla 13-2: Salidas digitales desde el PLC S7-1200.....	61
Tabla 14-2: Cotización por parte de una empresa contratista.....	66
Tabla 1-3: Prueba: Arranque de las bombas 1 y 2 – Abrir compuerta.....	80
Tabla 2-3: Prueba: Presencia de fallas graves en el sistema.....	82
Tabla 3-3: Prueba: Cerrar compuerta normalmente.....	83
Tabla 4-3: Prueba: Parar compuerta en su carrera de apertura normal.....	84
Tabla 5-3: Prueba: Parar compuerta en su carrera de cierre normal.....	86
Tabla 6-3: Prueba: Reposición de la compuerta.....	88
Tabla 7-3: Prueba: Cerrar compuerta por emergencia.....	89
Tabla 8-3: Prueba: Prueba de bombas – modo mantenimiento.....	91
Tabla 9-3: Presupuesto aprobado para el desarrollo del proyecto.....	94
Tabla 10-3: Gastos de capacitación para el desarrollo del proyecto.....	95
Tabla 11-3: Valor Actual Neto del proyecto.....	95
Tabla 12-3: Beneficio del proyecto.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Diagrama P&ID de un proceso industrial.	9
Figura 2-1: Válvula direccional 2 vías – 2 posiciones.	10
Figura 3-1: Válvula de control de flujo tipo alivio y su funcionamiento.	11
Figura 4-1: Válvula de control de flujo. Tipos.	11
Figura 5-1: Sensor Inductivo de posición M30x1.5 y sus dimensiones.	13
Figura 6-1: Sensor Analógico de Posición.	13
Figura 7-1: Presostato mecánico. Símbolo Norma ISO 1219.	14
Figura 8-1: Interruptor eléctrico de nivel marca KIT NEVEL.	14
Figura 9-1: Motor eléctrico de inducción tipo Jaula de ardilla. Marca WEG.	15
Figura 10-1: Contactor de fuerza y contactos auxiliares. Marca SIEMENS.	16
Figura 11-1: Cilindro hidráulico de simple efecto. Símbolo Norma ISO 1219.	16
Figura 12-1: Sistemas de control.	17
Figura 13-1: Control ON - OFF.	18
Figura 14-1: Categorías paneles táctiles SIMATIC.	20
Figura 15-1: Software TIA PORTAL V13.	21
Figura 16-1: Configuración modelo del PLC. TIA PORTAL V13.	22
Figura 17-1: Configuración modelo de HMI. TIA PORTAL V13.	22
Figura 18-1: Descripción de colores en pantallas HMI.	24
Figura 19-1: Representación de valores en HMI.	25
Figura 20-1: Representación de alarmas en un HMI.	26
Figura 21-1: Columna de nivel en HMI.	27
Figura 22-1: Representación de colores en animaciones HMI.	28
Figura 23-1: Representación de indicadores de nivel para HMI.	28
Figura 24-1: Representación de las válvulas de control.	29
Figura 25-1: Representación de tablas para HMI.	30
Figura 26-1: Objetos y botones de navegación.	30
Figura 27-1: Compuerta hidráulica tipo vagón.	32
Figura 1-2: Compuerta vagón Central "San Francisco"	34
Figura 2-2: Esquema hidráulico compuerta vagón.	38
Figura 3-2: Diagrama P&ID compuerta vagón.	38

Figura 4-2: Diagrama de bloque de procesos. Compuerta vagón.	39
Figura 5-2: Transductor ABB. Conexiones eléctricas y funcionamiento.	44
Figura 6-2: PLC SIEMENS.	46
Figura 7-2: Diagrama conexión para el PLC S7-1200.	48
Figura 8-2: Cableado módulo ampliación.	49
Figura 9-2: Panel Touch SIEMENS modelo KTP-900.	50
Figura 10-2: Apertura software TIA PORTAL V13.	51
Figura 11-2: Vista previa del proyecto. TIA PORTAL V13.	52
Figura 12-2: Configuración de dispositivos. TIA PORTAL V13.	53
Figura 13-2: Selección y configuración del PLC. TIA PORTAL V13.	53
Figura 14-2: Selección y configuración del Panel de Control HMI. TIA PORTAL V13.	54
Figura 15-2: Árbol del proyecto, equipos configurados. TIA PORTAL V13.	54
Figura 16-2: Configuración dirección IP PLC. TIA PORTAL V13.	55
Figura 17-2: Configuración dirección IP PLC. TIA PORTAL V13.	55
Figura 18-2: Comunicación PLC - HMI. TIA PORTAL V13.	56
Figura 19-2: Entorno de programación PLC STEP 7. TIA PORTAL V13.	58
Figura 20-2: Bloque de programación. TIA PORTAL V13.	58
Figura 21-2: Simbología LADDER para PLC SIEMENS.	59
Figura 22-2: Tabla de variables del PLC. TIA PORTAL V13.	60
Figura 23-2: Diagramas de control eléctrico industrial.	62
Figura 24-2: Programación LADDER PLC. TIA PORTAL V13.	63
Figura 25-2: Entorno programación HMI WinCC. TIA PORTAL V13.	64
Figura 26-2: Elementos de programación WinCC. TIA PORTAL V13.	64
Figura 1-3: Pantalla principal.	68
Figura 2-3: Pantalla unidad hidráulica.	69
Figura 3-3: Pantalla estados de la compuerta de restitución.	70
Figura 4-3: Pantalla gráficas sensores analógicos.	71
Figura 5-3: Pantalla diagrama unifilar compuerta de restitución.	72
Figura 6-3: Pantalla información nomenclatura utilizada.	72
Figura 7-3: Pantalla menú de configuraciones.	73
Figura 8-3: Pantalla inicio de sesión.	73
Figura 9-3: Pantalla gestión de usuarios.	74
Figura 10-3: Pantalla configuración de fechas y horas.	75

Figura 11-3: Pantalla de historial, avisos y eventos.....	75
Figura 12-3: Entorno software PLCSIM V13 SP1.....	77
Figura 13-3: Tablero de pruebas.	78
Figura 14-3: Tablero de control compuerta de restitución interior y exterior.....	79
Figura 15-3: PLC instalado para el nuevo sistema de control.....	79
Figura 16-3: Pantalla touch SIEMENS instalado en el tablero de control.....	80

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Sistema electrónico.....	7
Gráfico 2-1: Clasificación de los procesos industriales.	8

RESUMEN

Se desarrolló un sistema de control, supervisión y monitoreo para la compuerta de restitución tipo vagón de la Central Hidroeléctrica San Francisco mediante el uso de un Controlador Lógico Programable (PLC) y una Interfaz Humano – Máquina (HMI) que permite la salida de agua turbinada de las dos unidades de generación y a su vez evita el ingreso de agua desde el río Pastaza cuando la central se encuentra fuera de servicio. La compuerta de restitución posee un tablero de control automático que permitió operar la compuerta en mando manual para su apertura, cierre normal y cierre de emergencia. Este tablero realizó el control mediante un PLC marca SIEMENS modelo S7-1200 CPU 1212C DC/DC/RLY y un HMI marca SIEMENS modelo KTP-900 los cuales se comunican mediante protocolo ETHERNET. Con el fin de mejorar el sistema de control se realizó los diagramas de instrumentación de procesos (*P&ID*), se modificó planos eléctricos y electrónicos, se instaló nuevos dispositivos e interfaces de acuerdo a los requerimientos que la empresa deseó. Se realizó las pruebas en cada etapa de la carrera de la compuerta en el nuevo sistema de control a través del software simulador de SIEMENS en el tablero de pruebas para su posterior implementación en el túnel de restitución comprobando así los datos técnicos entregados por la constructora del proyecto con los obtenidos en el proyecto mediante su monitoreo y supervisión en el HMI. Se concluyó que el nuevo sistema de control para la compuerta de restitución garantiza un aumento en su confiabilidad y la reducción del número de fallas. Se recomienda realizar mantenimientos más rutinarios en el sistema de control de la compuerta de restitución para evaluar el funcionamiento correcto de los dispositivos eléctricos, sensores y actuadores que lo conforman.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA> <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO> <HIDROELÉCTRICA> <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE> <INTERFAZ HUMANO MAQUINA> <INSTRUMENTACIÓN DE PROCESOS> <PANEL TÁCTIL> <COMPUERTAS HIDRÁULICAS>

ABSTRACT

A control, supervision and monitoring system was developed for the fixed wheel floodgate at the San Francisco Hydroelectric Power Station, through the use of a Programmable Logic Controller (PLC) and a Human Machine Interface (HMI) that allows the outflow of turbine water from the two generation units and in turn prevents the entry of water from the Pastaza river when the plant is out of service. The floodgate has an automatic control panel that allows for the manual operation of the gate for opening, normal closure and emergency closure. This panel is controlled via a SIEMENS PLC, model S7-1200, CPU 1212C DC/DC/RLY and a SIEMENS HMI, model KTP-900, which communicate via ETHERNET protocol. In order to improve the control system, piping and instrumentation (*P&ID*) diagrams were drawn up, the electrical and electronic plans were modified, and new devices and interfaces were installed according to the company's requirements. Tests were carried out at each of the gate's stages in the new control system via the SIEMENS software simulator in the testing panel for its later implementation in the tunnel, thus verifying the technical data delivered with the project construction with those obtained in the project through HMI monitoring and supervision. As a result it was concluded that the new control system for the floodgate guarantees an increase in reliability and a reduction in the number of failures. More regular routine maintenance is recommended for the floodgate control system in order to monitor the correct operation of the electrical devices, sensors and actuators that make it up the system.

Key words: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY>, <HYDROELECTRIC>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER>, <HUMAN MACHINE INTERFACE>, <PROCESS INSTRUMENTATION>, <TOUCH PANEL>, <HYDRAULIC GATE>

ABREVIATURAS

A.C	Corriente Alterna.
CELEC	Corporación Eléctrica del Ecuador.
DC	Corriente Directa.
HMI	Interfaz Humano Máquina.
I.P	Protocolo de Internet.
LADDER / KOP	Diagrama escalera.
N.C	Normalmente Cerrado.
N.O	Normalmente Abierto.
PLC	Controlador Lógico Programable.
P&ID	Diagrama de Instrumentación de Procesos.
RLY	Relé.
S.C.A.D.A	Supervisión, Control y Adquisición de Datos.
S.D.S.C	Sistema Digital de Supervisión y Control.
T.C.P	Protocolo de Control de Transmisión.
T.I.A PORTAL	Totally Integrated Automation Portal.
T.S.E	Tablero de Servicios Especiales.
T.S.G	Tablero de Servicios Generales.
V.A.N	Valor Actual Neto.

INTRODUCCIÓN

El proceso de generación y provisión de energía eléctrica tiene una alta incidencia en el grado de competitividad para nuestro país ya que el sector eléctrico es considerado un sector prioritario y estratégico del Ecuador, por ende obliga a las empresas generadoras a modernizarse y se pongan a la altura de sus similares nacionales e internacionales.

La Central hidroeléctrica “San Francisco” tiene una potencia instalada de 230 MW conformada por dos unidades generadoras de 115MW para la producción de energía hidroeléctrica y la demanda del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador. Se encuentra ubicada entre la cuenca media y baja del Río Pastaza, municipio de Baños de Agua Santa, Provincia de Tungurahua, región central del Ecuador.

Se puede considerar como una de las centrales hidroeléctricas más modernas del país ya que cuenta con muchos sistemas automáticos y de gran complejidad regidos con programación en PLC, supervisión y monitoreo en Touch Panels los cuales ayudan a llevar de una manera más eficiente la Central.

La central posee una compuerta tipo vagón ubicada en el túnel de restitución, la cual permite la salida de agua turbinada de las dos unidades de generación y a su vez evita el ingreso de agua desde el río Pastaza cuando la central está fuera de servicio. En condiciones normales de operación de la central la compuerta se encuentra siempre totalmente abierta.

Por su gran incidencia dentro del proceso de generación de energía para el país y sobretodo precautelar la integridad de los operadores que trabajan allí se ha desarrollado el tema “Diseño e instalación de un sistema de control, supervisión y monitoreo para la compuerta de restitución tipo vagón de la Central Hidroeléctrica “San Francisco” mediante el uso de un PLC e interfaz Humano – Máquina”

ANTECEDENTES

La Central Hidroeléctrica San Francisco perteneciente a la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP dispone de un sistema de control para la compuerta del túnel de restitución que está constituida por un vano para cerrar y permitir la salida del agua turbinada de las dos unidades de generación como a su vez evita el ingreso de agua desde el río Pastaza cuando la central se encuentra fuera de servicio como también durante los trabajos de mantenimiento de máquinas.

En caso de parada de la máquina, la compuerta se cerrará, según el programa de cerramiento establecido. Actualmente la compuerta en el túnel de restitución posee un tablero de mando que permite operar la compuerta en forma manual (local) y remota para su apertura, cierre normal y cierre de emergencia.

Este tablero realiza el control mediante un PLC marca MOELLER modelo PS4-341-MM1 y un HMI MOELLER modelo MI4-150-KI1 los cuales se comunican mediante protocolo MODBUS, y que al momento presenta problemas en su funcionamiento lo cual no permite interactuar con el sistema hidráulico de la compuerta por lo tanto no es posible realizar un registro de datos operativos del sistema.

Un mal funcionamiento del PLC y TOUCH PANEL no permite operar la compuerta con total normalidad, por lo tanto dificulta los trabajos de mantenimiento en la central cuando se realizan los respectivos paros de máquinas (trimestrales, semestrales y lavados de embalse) y permitiría el ingreso de agua hacia la central en caso de una crecida del río Pastaza afectando al equipamiento electromecánico instalado en la central y al personal que labora en la misma.

Adicional a esto la central no dispone del software para el acceso al PLC ni a la pantalla HMI por lo cual es necesario realizar su reemplazo lo más pronto posible debido a que no existen proveedores disponibles dentro del país para soporte y repuestos.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los factores que provocan fallas en los sistemas mecánicos, hidráulicos y eléctricos en la compuerta de restitución por parte de la presencia de tecnología obsoleta instalada que imposibilitan continuar con un correcto control, supervisión y monitoreo en la Central Hidroeléctrica “San Francisco”?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los equipos instalados en la planta que forman parte del sistema de compuerta hidráulica?

¿Cuál es la tecnología que me permite acondicionar la señal análoga proporcionada por los dispositivos de campo?

¿Cuál es la tecnología de control, software y hardware, que me permite eliminar las fallas graves en la unidad hidráulica?

¿Qué interfaz Humano – Máquina me permitirá diseñar un sistema de monitoreo en la compuerta de restitución en tiempo real?

¿Diseñar un protocolo de pruebas que me permita evaluar los dispositivos de campo que conforman el sistema de compuerta hidráulica?

JUSTIFICACIÓN

Justificación Teórica

Es necesario realizar un nuevo diseño para el control, monitoreo y supervisión de la actual compuerta de restitución. La mejor opción sería modernizar los equipos PLC – HMI y una restructuración en el tablero de control en la central, permitiendo a los operadores a realizar una supervisión más exigente, más exacta y un mayor tiempo de vida útil para los equipos eléctricos-electrónicos y su correcto mantenimiento.

Es necesario realizar un levantamiento completo de las variables que intervienen directamente en el proceso de control de la compuerta tipo vagón (presión, nivel, apertura, cierre, protección, etc.) lo cual nos permitirá desarrollar planos eléctricos- electrónicos, diagrama P&ID, diagrama de bloques del proceso, programación PLC y programación en el HMI.

Justificación Aplicativa

La mejor manera para llevar a cabo nuestro monitoreo y control para el sistema de control en la compuerta tipo vagón es mediante una actualización del Controlador Lógico Programable (PLC) marca SIEMENS S7-1200 CPU 1212C DC/DC/RLY para poder tener su acceso en la programación Ladder (KOP), lectura de datos en tiempo real provenientes del acondicionamiento de los sensores instalados en la compuerta de restitución y modificar parámetros establecidos por la central a través del Software STEP 7 Professional.

En el sistema de control actual se plantea desarrollar en el HMI SIMATIC KTP-900 de SIEMENS pantallas para control, supervisión y monitoreo de la compuerta como sería el caso del estado de la compuerta, diagrama unifilar, control y monitoreo de movimientos de la compuerta, avisos y configuración del sistema mediante WINCC BASIC que forma parte del paquete TIA PORTAL en su versión 13.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Diseñar e instalar un sistema de control, supervisión y monitoreo para la compuerta de restitución tipo vagón de la Central Hidroeléctrica San Francisco mediante el uso de un PLC y una Interfaz Humano – Máquina.

Objetivos Específicos:

- Levantar la información técnica y elaborar diagramas de procesos de instrumentación P&ID y bloques de control para un mejor conocimiento del sistema para los operadores de la planta.
- Acondicionar la señal analógica del sensor de posición de la compuerta para la apertura y cierre de la compuerta.
- Configurar la comunicación PLC – HMI para el funcionamiento automático de la compuerta.
- Desarrollar pantallas HMI para una mejor interfaz con los operadores de la central hidroeléctrica San Francisco.
- Realizar pruebas y manual operativo de la compuerta para futuras utilidades por parte de los operadores de la central.

CAPÍTULO I

1. Marco Teórico.

1.1. Procesos Industriales

En todo proceso industrial exige un control estricto en la fabricación de productos obtenidos a partir de la materia prima inicial. Por lo tanto es necesario realizar un control en las diferentes magnitudes físicas medidas para mantener dichos valores constantes.

La instrumentación industrial nos garantiza la medición, el control y el mantenimiento de dichas constantes en condiciones más idóneas para cualquier operador que se encuentre ubicado ya sea dentro de la misma planta o bien en salas de control aisladas.

Por lo tanto, gracias a la instrumentación instalada en la planta de un proceso industrial ha sido posible fabricar productos complejos en condiciones estables calidad que a una operación le hace difícil realizando exclusivamente un control manual del proceso.

1.1.1. Conceptos generales

Un proceso industrial es el conjunto o secuencia de operaciones sistemáticas estrechamente relacionadas entre en sí con el propósito de obtener un resultado preciso. Consiste en aprovechar al máximo los recursos naturales para convertirlos en herramientas, sustancias y derivados para satisfacer las necesidades y mejorar la calidad de vida de los seres humanos.

Se lo puede definir también como la manipulación y regulación de las variables que influyen en el comportamiento de un proceso de manera que se obtenga un producto de calidad deseado.

Dentro de todo proceso industrial se puede hacer énfasis en los sistemas electrónicos que por lo general es un conjunto de circuitos que se interactúan entre sí con el propósito de obtener un resultado.

Un sistema electrónico convencional está conformado por las siguientes etapas que son:

- Entradas.
- Proceso.
- Salidas.

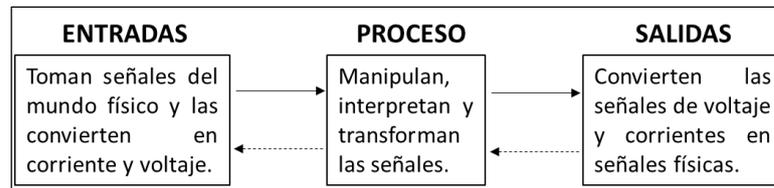


Gráfico 1-1: Sistema electrónico.

Fuente de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3nica>

El bloque de Entradas hace referencia a todas las señales físicas que se toman o adquieren por medio de un elemento accionador o transductor para convertirlos en corriente o voltaje.

El bloque de Procesamiento de señal es el encargado de manipular o convertir la señal proveniente del bloque de entrada en otro tipo de señal para accionar un módulo de salida.

Finalmente el bloque de Salida hace referencia a los actuadores que se encargan de transformar las señales de voltaje o corriente, provenientes del bloque de proceso, en señales físicas útiles.

En conclusión un sistema electrónico está constituido por tres etapas que son: transductores, circuito procesador y actuador.

1.1.2. Clasificación de los procesos industriales

Como lo hace referencia (Creus, Instrumentación Industrial, 1997), los procesos industriales se los puede clasificar en dos categorías: procesos continuos y procesos discontinuos sobre el control de las variables físicas (caudal, nivel, presión, etc.)

- **Procesos continuos:** Son aquellos procesos constantes en donde la materia prima, productos intermedios y finales son procesados de manera continua en un determinado período de tiempo, sin paro alguno. Es decir, existe un flujo permanente de entrada y salida durante todo el tiempo que dura el proceso. Ejemplos de procesos continuos podemos encontrar en las industrias químicas, petroleras y la energética.

- **Procesos discontinuos:** Son los procesos en donde existe presencia de paros, es decir se cambia de un producto a otro. En este tipo de procesos, no hay transferencia de materia a través de las fronteras del sistema.

Para que estos procesos sean costeables en su operación, se necesita realizar una automatización adicional que generará cambios en las condiciones de operación. Ejemplo de este tipo de procesos encontramos las industrias que realizan productos procesados como el papel, alimentos, etc.



Gráfico 2-1: Clasificación de los procesos industriales.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

1.1.3. Diagramas de instrumentación de procesos (P&ID)

Los diagramas de instrumentación de procesos (*Piping and Instrumentation Diagrama - P&ID*) es el documento que detalla al máximo el diseño de un proceso o planta industrial. Se representa gráficamente el flujo del proceso en las tuberías, líneas, instrumentos y actuadores dentro de un proceso de planta a través de símbolos y nomenclaturas basadas en la norma ISA/ANSI 5.1.

Es decir, al realizar un diagrama de instrumentación, a cada dispositivo o instrumento, se le debe asignar un nombre propio a ese icono para identificarlo de los demás (TAG NUMBER) así mismo definir líneas para representación de flujos de proceso, señales proveniente de sensores, símbolo para válvulas, actuadores entre otros, representando el comportamiento general de una planta.

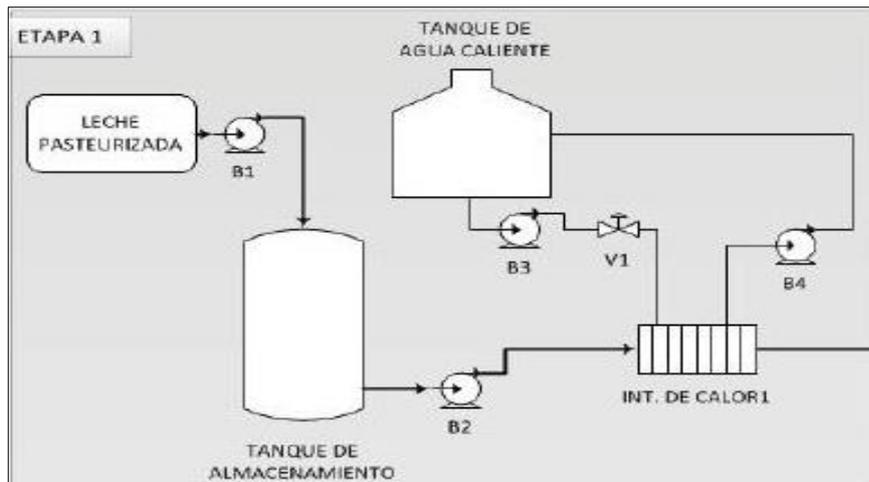


Figura 1-1: Diagrama P&ID de un proceso industrial.

Fuente: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702011000200006

1.2. Variables en un proceso industrial

En la mayoría de los procesos industriales existen diversas variables, que afectan las entradas o salidas del proceso. Como variables podemos mencionar a la temperatura, nivel, flujo, presión, etc. que son las más comunes en los procesos industriales, las cuales son monitoreadas y controladas a través de la instrumentación del proceso (P&ID).

Dichas variables se encuentran inmersas para las diferentes tareas como supervisión, monitoreo y control en un sistema definido tales como:

- Sistemas neumáticos.
- Sistemas hidráulicos.
- Sistemas mecánicos.
- Sistemas eléctricos y electrónicos.

1.2.1. Variables controladas

Se define como variables controladas cuyos parámetros de control indican calidad en el producto o de las condiciones de operación en el proceso. Entre algunas variables controladas tenemos:

- **Presión:** Es la propiedad física que relaciona a la fuerza por unidad de superficie y se lo puede expresar en unidades tales como: pascal, psi, atmósferas y bares.

- **Nivel:** Para la medición del nivel de líquidos, se lo realiza directamente a la altura del líquido sobre una línea de referencia, sobre la presión atmosférica, el desplazamiento producido en un flotador generado por el propio líquido en un tanque contenedor, etc.

1.2.2. Variables manipuladas

La variable manipulada se define como aquella variable que se modifica para provocar un cambio de estado sobre la variable controlada. Como es el caso de la velocidad de un motor, accionamiento de un interruptor de estados, posición de una válvula direccional, etc.

1.2.3. Elementos finales de control

1.2.3.1. Válvulas de control

Las válvulas de control realizan un papel preponderante dentro de los procesos industriales ya que se encarga del bucle de regulación, es decir, varía el caudal del flujo de control y que a su vez modifica el valor de la variable medida actuando como un orificio de área continuamente variable. Existen diferentes tipos de válvulas de control dependiendo de diseño del cuerpo y su respectiva aplicación en el circuito:

- **Válvulas distribuidoras o de control direccional**

Se utilizan para cambiar el sentido del flujo de aceite dentro del cilindro y mover el pistón de un extremo al otro de su carrera. **Figura 2-1.**

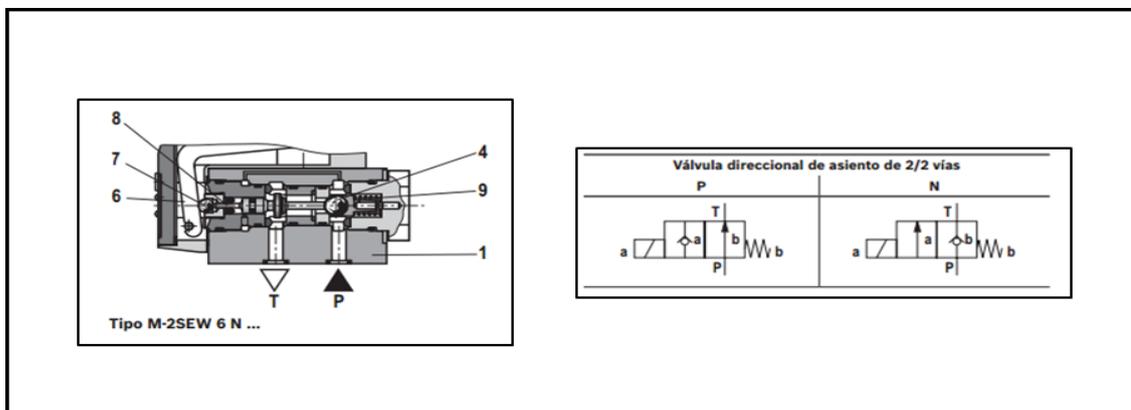


Figura 2-1: Válvula direccional 2 vías – 2 posiciones.

Fuente de: https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload-internet.dll/rs22058_2013-06.pdf?db=brmv2&lvid=1175223&mvid=12091&clid=20&sid=ED8768E9B7FDCA22EBC4C401E167DD5F.borex-tc&sch=M&id=12091,20,1175223

- **Válvulas de control de presión**

Las principales funciones de las válvulas de control de presión se pueden mencionar el limitar la presión máxima de un sistema hidráulico como también regular la reducción de la presión en ciertas partes del circuito. Ver, **Figura 3-1**.

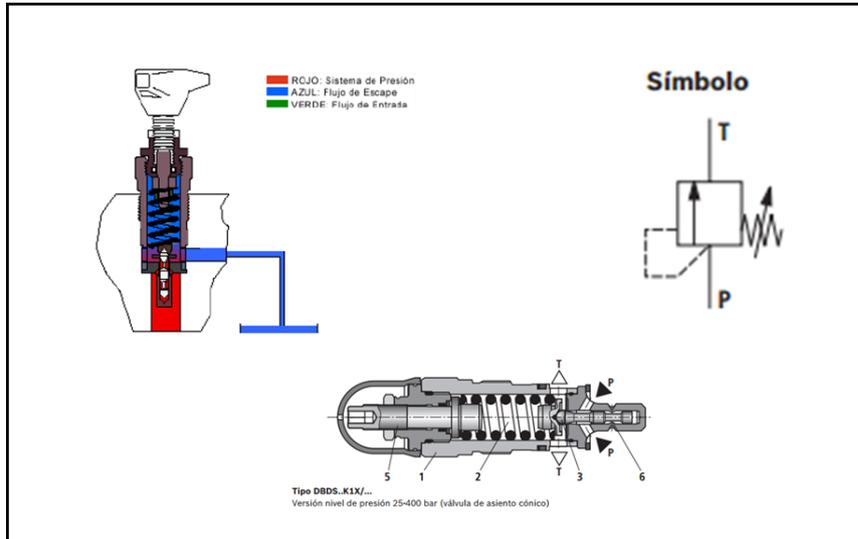


Figura 3-1: Válvula de control de flujo tipo alivio y su funcionamiento.
Fuente: <https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload-internet.dll>

- **Válvulas de control de flujo**

Las válvulas de control de flujo tienen la función de reducir y regular el caudal o volumen de aceite en cualquier área del circuito hidráulico. Su localización y determinación es crucial para el correcto funcionamiento del sistema ya que genera una reducción de velocidad en el actuador; por ende, aumenta más su presión de trabajo dando como resultado un desvío de flujo sobre la válvula de alivio. Ver, **Figura 4-1**.

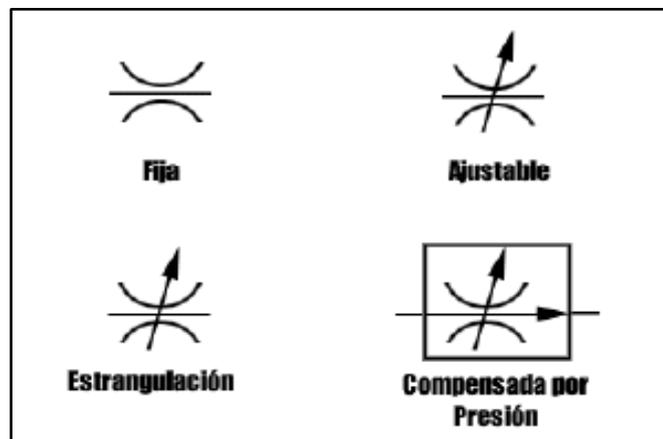


Figura 4-1: Válvula de control de flujo. Tipos.
Fuente: (Creus, Neumática e Hidráulica, 2007) Neumática e Hidráulica.

1.2.3.2. Sensores

Se puede definir a un sensor como un dispositivo o combinaciones de dispositivos que convierten señales o energía de una forma física en otra. Éstos proporcionan una salida útil en respuesta a una condición física medida. En los sensores eléctricos la salida es una cantidad eléctrica de tensión o corriente, función de la medición.

Una vez obtenida la señal eléctrica, se somete a un proceso de acondicionamiento y amplificación para ajustarla a las necesidades de las entradas del PLC.

- **Sensores Inductivos**

Los sensores inductivos “permiten detectar la presencia de objetos metálicos en un rango de distancias que va desde 1 mm a unos 30 mm, aproximadamente, con una resolución del orden de décimas de milímetro”. Existen en el mercado diferentes tipos de sensores inductivos ya normalizados como es el caso de sensores inductivos de la *Forma A* que se caracteriza por tener una rosca cilíndrica con diámetros normalizados como por ejemplo M8, M12 hasta M30.

También encontramos sensores de la *Forma C* que se caracterizan por su alto nivel de detección a grandes distancias por tener una forma de paralelepípedo con un cabezal orientable.

- **Sensor analógico de posición**

Los sensores de posición permiten medir la distancia de un objeto respecto a un punto de referencia o simplemente detectar la presencia de un objeto a una cierta distancia.

Entregan una señal analógica que permiten determinar la posición lineal o angular respecto a un punto o eje referencia similar al mecanismo de potenciómetro” con valores resistivos estandarizados de 1K, 2K, 5K y 10K ohmios, con salida analógica de 4-20 mA y 0-10 VDC con grado de protección IP68 para altas presiones.

- **Presostato.**

Formado por un pistón sometido a la presión del fluido hidráulico que actúa sobre un resorte ajustable. Se accionará un micro interruptor cuando se supera una presión preestablecida del fluido.

Para aumentar el tiempo de vida útil de los presostatos se debe montar protegido contra vibraciones y picos de presiones hidráulicas.

- **Interruptor de nivel de aceite**

Permite medir el nivel de un fluido en particular dentro de un tanque (agua, aceite, etc.). Dispone de dos sensores magnéticos que son activados cuando se genera un campo magnético producido por las bolas de flotador cuando el nivel del fluido en el tanque se eleva o desciende activando los contactos del sensor que pueden ser N.O o N.C según las necesidades o condiciones en la planta.

- Sensor Inductivo final de carrera, ver **Figura 5-1**.

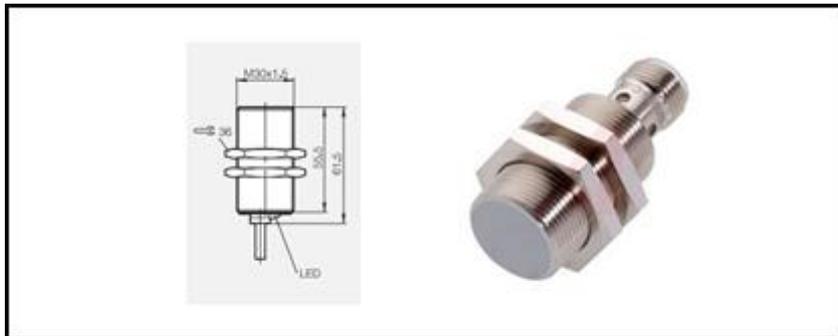


Figura 5-1: Sensor Inductivo de posición M30x1.5 y sus dimensiones.

Fuente de: Página Oficial BALLUFF. <http://www.balluff.com/>

- Sensor analógico de nivel, ver **Figura 6-1**.



Figura 6-1: Sensor Analógico de Posición.

Realizado por: Villacrés M. 2017.

- Sensor de presión (Presostato), ver **Figura 7-1**.

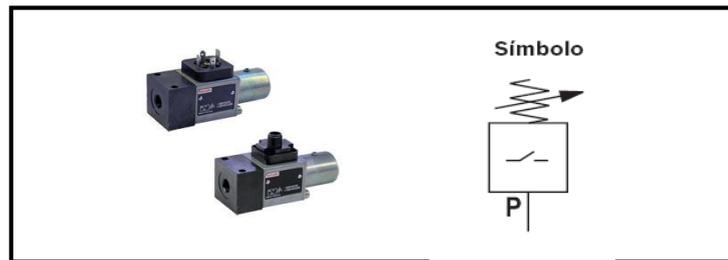


Figura 7-1: Presostato mecánico. Símbolo Norma ISO 1219.
Fuente: <https://md.boschrexroth.com/modules>.

- Sensor o interruptor de nivel de aceite, ver **Figura 8-1**.



Figura 8-1: Interruptor eléctrico de nivel marca KIT NEVEL.

Fuente: <http://www.exportersindia.com/kit-nivel-comercio-e/electrical-level-switch-knbm-5202-sao-paulo-brazil-707424.htm>

1.2.3.3. Actuadores

Los actuadores son los elementos de salida encargados de transformar las señales de control o de mando en esfuerzos de potencia como órgano de accionamiento o producir el movimiento requerido para automatismos como motores, bombas, compresores, etc.

Debido al tipo de energía para generar el movimiento en los automatismos, se los puede clasificar en:

- Hidráulicos.
- Neumáticos.
- Eléctricos.

- **Motor eléctrico**

Los motores eléctricos son aquellos que transforman la energía eléctrica en mecánica proporcionando un par constante a diferentes velocidades y cargas. Dependiendo el tipo de corriente para su alimentación encontramos motores de corriente continua y alterna; siendo estos últimos los más utilizados a nivel industrial por su facilidad de utilización, menor mantenimiento, y un costo bajo de fabricación.

Existe una diversidad de motores eléctricos en el mercado dependiendo del tamaño, torque, velocidades por minuto (RPM), y la potencia para lo cual estaría dimensionado para una aplicación específica en un proceso industrial.

Hay que tomar en consideración que se debe realizar un dimensionamiento propio para el correcto funcionamiento del motor eléctrico con la finalidad de protección de las partes constitutivas eléctricas (bobinados) y mecánicas del mismo (rodamientos). Ver, **Figura 9-1**.

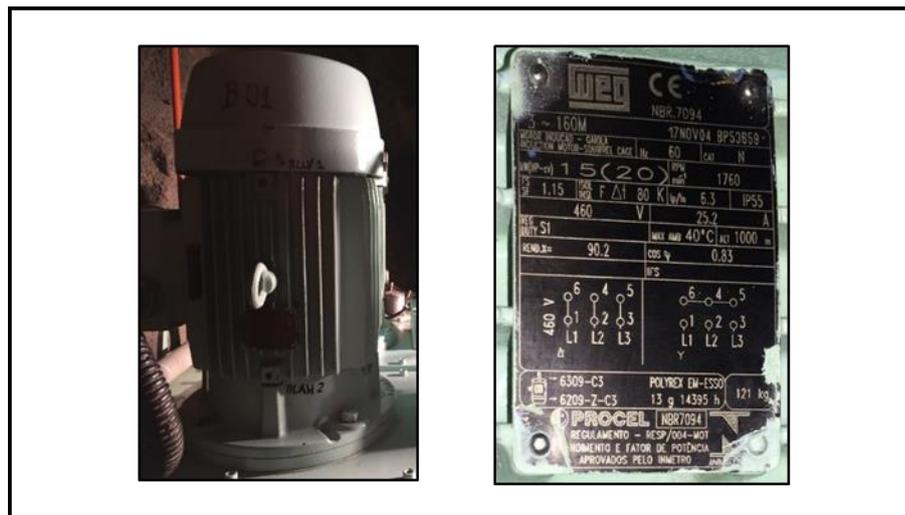


Figura 9-1: Motor eléctrico de inducción tipo Jaula de ardilla. Marca WEG.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

- **Contactador**

El Contactador es un dispositivo mecánico que trabaja como interruptor de corriente pero no de corto-circuito. Permite soportar, interrumpir y accionar cargas (motores) cuando es accionado por un electroimán o bobina excitada ya que normalmente se encuentra en la posición de abierta.

Está constituido por la parte de accionamientos (núcleo, bobina), contacto principal (fuerza) y contactos auxiliares (N.O y N.C). Ver, **Figura 10-1**.



Figura 10-1: Contactor de fuerza y contactos auxiliares. Marca SIEMENS.
Fuente: Página oficial Siemens. <http://controlparts.com/siemens.sirius/3rt1036-1a.htm>

- **Cilindros Hidráulicos**

Son actuadores lineales que ejercen una fuerza, movimiento de salida, o ambos en línea recta. Su función es convertir la potencia hidráulica en potencia mecánica lineal. Entre sus aplicaciones de trabajo más usuales podemos mencionar el de empuje, arrastre y ejercer presión; su aplicación varía dependiendo el tipo de cilindro que se esté empleando.

- *Cilindros de simple efecto*

Es el más sencillo de los actuadores hidráulicos, ya que dispone solamente de una cámara para la entrada del fluido hidráulico y ejerce una fuerza para empujar en un sentido el pistón del cilindro. Su retorno puede ser por resorte o gravedad a través de una fuerza externa que lo retrae en sentido contrario. Ver, **Figura 11-1**.

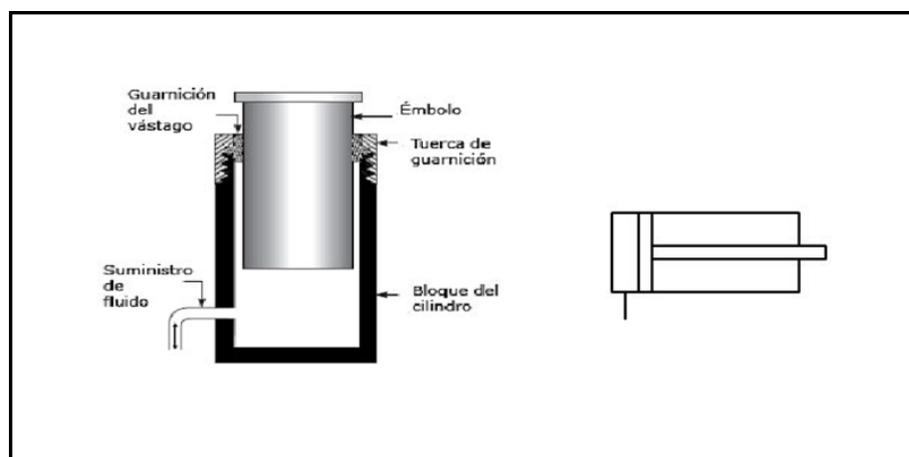


Figura 11-1: Cilindro hidráulico de simple efecto. Símbolo Norma ISO 1219.
Fuente: <http://temporizador-trabajo-reposo.blogspot.com/>

1.3. Controladores

Los controladores se definen como el conjunto de dispositivos o elementos encargados de gestionar, decidir y regular el funcionamiento del sistema dentro de un proceso industrial, cumpliendo así un objetivo de control, reduciendo el número de fallas - errores y obteniendo un sistema más estable. El controlador permite al proceso poder cumplir con los objetivos de transformación del material, comparar la variable medida con la deseada para poder determinar el *error* y estabilizar el funcionamiento dinámico del bucle de control para eliminar dicho *error*.

1.3.1. Sistemas de control

Los sistemas de control (**Figura 12-1**) se define como una interconexión entre componentes físicos o elementos que conforman una configuración denominado sistema, de ese modo dicho arreglo permite controlar, manipular o regular asimismo o a otro sistema, con el propósito general la reducción de probabilidades de fallo obteniendo un control con calidad, mejoras en la productividad y seguridad en un proceso industrial.

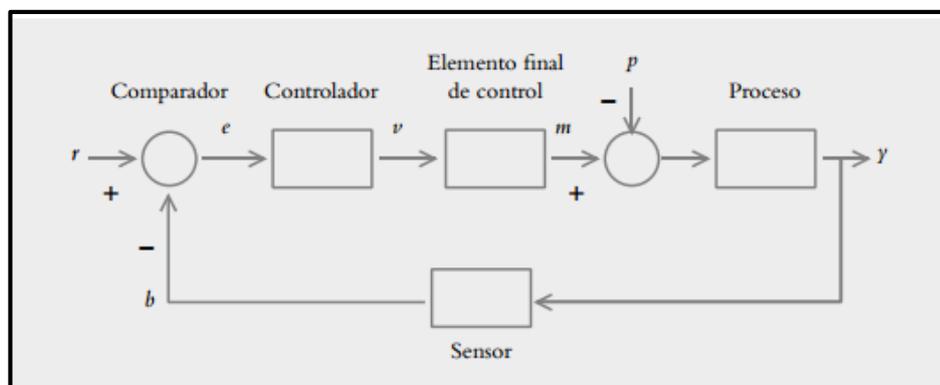


Figura 12-1: Sistemas de control.

Fuente: Introducción a los sistemas de control. Ricardo Hernández. 2007

1.3.2. Tipos de control

El tipo de control a elegirse o implementarse en una planta industrial, depende en sí de la función que desarrollaría en el proceso y sobre todo de los requerimientos pre-establecidos en la empresa. Para lo cual en controles industriales es común encontrarse con las siguientes tipos de control.

- Control ON – OFF
- Control Proporcional (P)
- Control Proporcional – Integral (PI)

- Control Proporcional – Derivativo (PD)
- Control Proporcional – Integral – Derivativo (PID)

Dependiendo de los beneficios del control que se necesita se estableció que el sistema que se va a utilizar es el control ON-OFF para la compuerta de restitución tipo vagón.

1.3.2.1. Control ON – OFF

La acción del controlador ON – OFF únicamente puede optar por dos posiciones o valores, similar al modo de operación de un interruptor. Es uno de los controladores más utilizados por su simple mecanismo de construcción. Permite activar el mando de control cuando dicho valor medido esté por debajo de un set point pre-establecido para el control y desactivarlo cuando este valor supere al set-point y viceversa. En este tipo de control, el elemento final de control se mueve rápidamente entre una de dos posiciones fijas a la otra, para un valor único de la variable controlada.

El control “todo o nada” funciona satisfactoriamente si el proceso en el sistema tiene una velocidad de reacción lenta y posee un tiempo de retardo mínimo. Ver **Figura 13-1**.

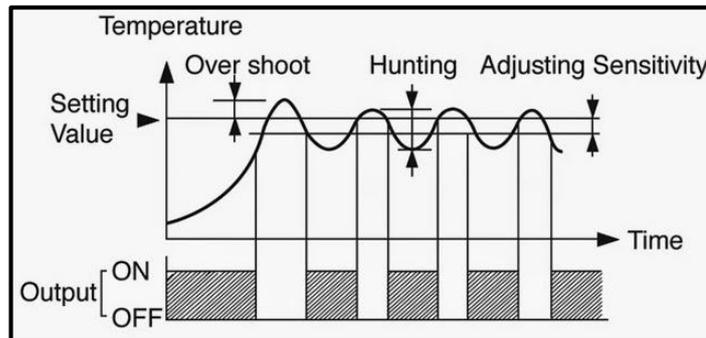


Figura 13-1: Control ON - OFF.

Fuente: <http://ceiisa.blogspot.com/>

1.3.3. Hardware del sistema de control

1.3.3.1. Controlador Lógico Programable (PLC)

Un controlador lógico Programable (PLC) se define como un equipo electrónico, programable por el usuario en lenguaje no informático, y que está destinado a gobernar, dentro de un entorno industrial, máquinas o procesos lógicos y/o secuenciales.

Un PLC consta de un conjunto de entradas y salidas que pueden ser digitales o análogas, consta de un hardware estándar, con capacidad de conexión directa a las señales de campo (niveles de tensión y corriente compatibles con los sensores y actuadores industriales) y programable por el usuario para que desempeñe una determinada función.

Mientras tanto (Leiva, 1998, pág. 31) en su libro titulado “Controladores y Automatismos Eléctricos” afirma que los PLC: “Es un autómatas que no solamente sustituye a todos los contactores auxiliares, temporizadores y bloques de memoria sino que además, por las características y funciones que posee”.

1.3.3.2. Pantallas táctiles o Touch Panel

Podemos definir a las pantallas táctiles como los equipos o dispositivos destinados para el control, supervisión y monitoreo del estado actual del sistema dentro de un proceso industrial a través de un entorno gráfico y visual. Por medio de las pantallas táctiles el operador, supervisor o usuario final puede interactuar con el sistema y saber su situación de operación actual para una empresa o industria en tiempo real a través de una interfaz Humano – Máquina que es programado por medio del software dependiendo de la marca fabricante de dicho equipo.

1.3.3.2.1. Pantalla táctil marca SIEMENS

“Los paneles SIMATIC HMI ofrecen modernas funciones de manejo y visualización aunadas con características tales como robustez, estabilidad y simplicidad. SIMATIC HMI está optimizado para satisfacer sus necesidades de interfaz hombre-máquina específicos utilizando interfaces abiertas y estandarizadas en hardware y software, que permiten la integración eficiente en sus sistemas de automatización”. (Siemens, 2016, pág. 10)

El SIMATIC HMI está conformado por diferente grupos de pantallas táctiles dependiendo de la aplicación y del grado de robustez de la planta industrial, para lo cual tenemos los siguientes grupos, ver **Figura 14-1**:

- **Basic HMI**: Paneles para operador con excelente relación costo-rendimiento, ideales para tareas de supervisión sencillas y puntuales. Dispone de funcionalidad completa con todos los tamaños de pantalla; sistema de alarma, administración de recetas y la funcionalidad de curvas.

- Advanced HMI: Potentes paneles de operador con alto grado de confiabilidad para proyectos referente supervisión en plantas robustas.
- PC-based: Potentes paneles de operador para tareas de visualización complejas y con gran volumen de almacenamiento de datos.

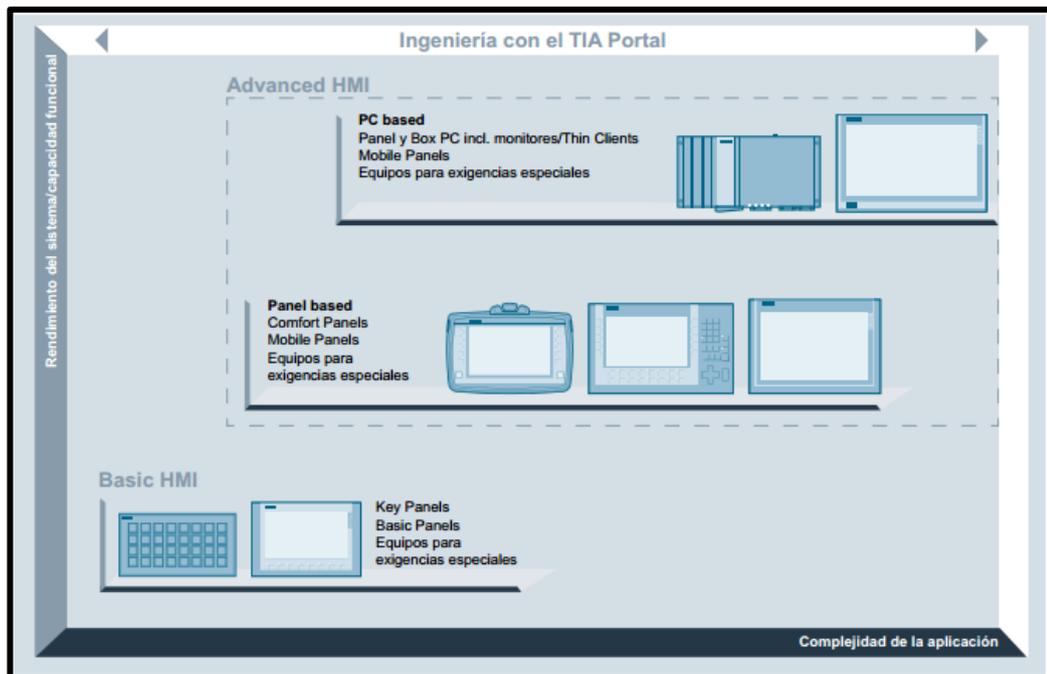


Figura 14-1: Categorías paneles táctiles SIMATIC.

Fuente: <http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/catalog/es/simatic-st80-stpc-chap02-spanish-2016.pdf>

1.3.4. Software del sistema de control

1.3.4.1. Software (TIA PORTAL V13)

SIMATIC TIA PORTAL V13 (Totally Integrated Automation) se presenta como un software líder dentro del mercado de la automatización industrial de la marca SIEMENS de última generación, permite a los usuarios una gestión conjunta de los datos, manejo unitario de los programas, datos de configuración y de visualización, configuración y diagnóstico asistidos por gráficos, monitorización y supervisión de procesos en un entorno amigable, intuitivo y de fácil uso para el control. Ver **Figura 15-1**.

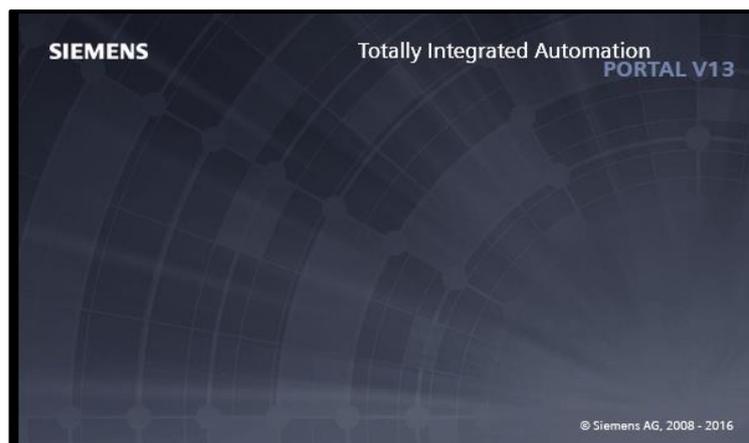


Figura 15-1: Software TIA PORTAL V13.

Fuente: Software SIEMENS. 2016

TIA PORTAL presenta una configuración tanto del control como de la visualización en un sólo sistema de ingeniería en conjunto. Los componentes de programación (SIMATIC STEP 7) y visualización (SIMATIC WINCC) no son programas independientes, al contrario son parte de un sistema que accede a una base de datos que se guardan en un archivo de proyecto en común.

Para la configuración del dispositivo tanto del PLC como del HMI en el TIA PORTAL, depende de la aplicación que se desea realizar ya que para controladores y pantallas básicas se necesita como software de programación el STEP 7 y WINCC BASIC y para proyectos más robustos el STEP 7 y WINCC PROFESSIONAL en el caso que se esté utilizando dispositivos de alta gama.

TIA PORTAL soporta diversos tipos de controladores de la propia marca SIEMENS desde los controladores de baja gama o básicos como son los S7-1200, gama medio como los S7-300 y S7-400 hasta los controladores S7-1500 que son de alta gama y los más actuales que se encuentran en el mercado de los controladores lógicos programables.

El mismo entorno del TIA PORTAL permite desarrollar interfaces humano – máquina (HMI) para las diferentes pantallas que pueden ser básicas de diferentes tamaños (pulgadas), confort panels, y sistemas PC industriales para lo que son sistemas SCADA.

- Selección y configuración del modelo de PLC. Ver, **Figura 16-1**.

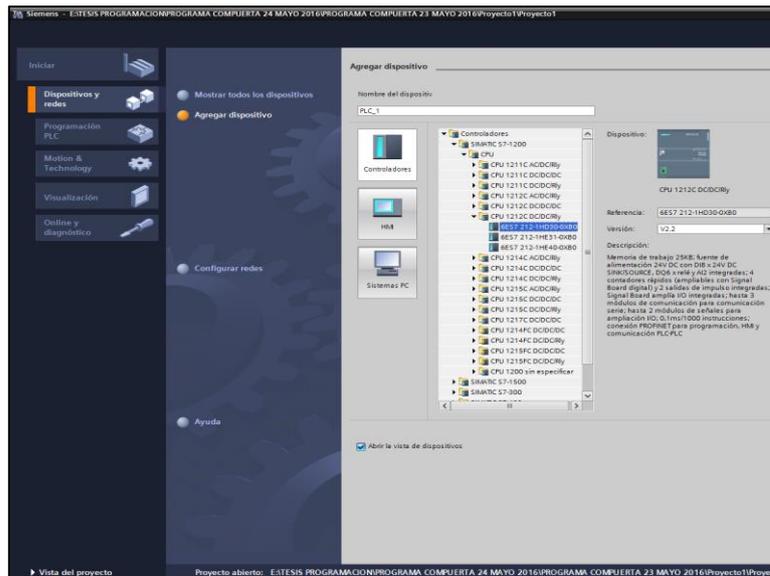


Figura 16-1: Configuración modelo del PLC. TIA PORTAL V13.
Fuente: Software SIEMENS. 2016.

- Selección y configuración del modelo de HMI. Ver, **Figura 17-1**.

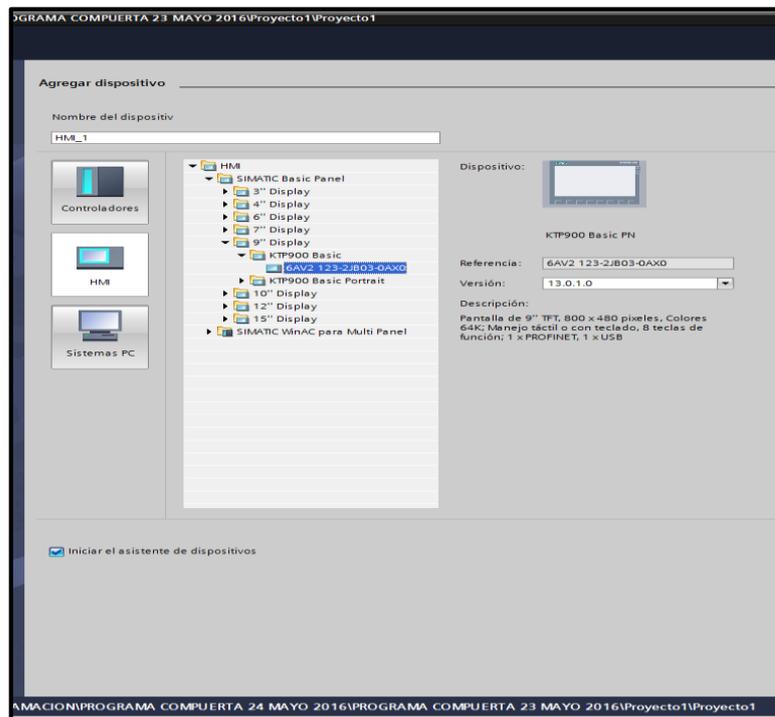


Figura 17-1: Configuración modelo de HMI. TIA PORTAL V13.
Fuente: Software SIEMENS. 2016.

1.4. Interfaz Humano – Maquina (HMI)

Los paneles de proceso son equipos electrónicos cuya función es servir de interfaz entre el hombre y la máquina, razón por la cual se suelen denominar con las siglas HMI. Mediante estos

dispositivos se pueden visualizar datos y resultados del PLC, para que los operarios de una planta observen el comportamiento de un proceso determinado.

Además, es posible enviar información que el PLC puede utilizar para tomar ciertas decisiones sobre el proceso que está controlando. El intercambio de información consiste en que el operador pueda ingresar datos de ajuste, visualizar mensajes del PLC, monitorear mediciones o cálculos internos, etc.

El mercado de las HMI's ha aumentado con el paso de los años ya que permite una mejor interfaz amigable con el operador para la monitorización y supervisión de un proceso y así poder acceder a los datos de control (temperatura, caudal, presión, etc.) que se encuentran distantes en el campo como también brindar seguridad en caso de procesos peligrosos para salvaguardar la integridad humana.

1.4.1. Normativas utilizadas para el diseño de HMI

Para aplicaciones de automatización industrial en máquinas de una planta, el uso de normativas o convenciones para el diseño de interfaces Humano – Máquinas garantizan resultados más seguros, eficaces y eficientes en el control de un proceso en sus condiciones de funcionamiento reduciendo considerablemente el riesgo de accidentes por fallas humanas por sobrecarga de información.

1.4.2. Norma ISA 101

Las Normas ISA 101 (ANSI/ISA-101.01-2015) es el conjunto de acuerdos para el desarrollo de interfaces Humano – Máquinas dentro de la automatización industrial que garantizan omitir el flujo innecesario de información no deseada para el operador, obteniendo así la eficiencia y reducción de sobrecarga de datos. Proveer las herramientas al usuario para detectar, diagnosticar y responder ante situaciones anormales en un sistema.

Abarcan factores indispensables para el diseño de pantallas HMI como son:

- ✓ Selección del color y fondos.
- ✓ Forma, agrupación y tamaño del objeto. Teclados
- ✓ Jerarquía de menús. Pantallas emergentes.
- ✓ Diseño de elementos dinámicos.

- ✓ Pantallas de ayuda.
- ✓ Diseño de bases de datos – históricos.
- ✓ Administración de usuarios, etc.

Se debe cumplir algunos criterios al momento de realizar un HMI:

- ✓ Fácil entendimiento y comprensión para los operadores.
- ✓ Evitar errores para todo tipo de usuario.
- ✓ Aumento de productividad en el operador.
- ✓ Reducción de estrés por saturación de información innecesaria.
- ✓ Reducción de pérdidas significativas para la empresa por factor tiempo y recurso.

- **Normalización del uso de colores**

El color, por sí mismo, nunca se utiliza como único diferenciador de una condición o estado importante. Los colores brillantes se utilizan principalmente para llamar la atención sobre situaciones anormales. Las pantallas que representan la operación en funcionamiento normal no deben mostrar colores brillantes saturados, como bombas, equipos, válvulas y elementos similares de color rojo o verde brillante.

Cuando se seleccionan colores de alarma (**Figura 18-1**), como el rojo brillante y el amarillo, se utilizan únicamente como un aspecto de la representación de una condición relacionada con la alarma, y para ningún otro propósito. Para el estado de alerta del operador, la iluminación de la sala de control debe ser realmente más brillante que una oficina típica, todo el día y toda la noche.

Color	RGB Values	Sample	Defined Uses
Gray	213, 213, 213		Overall graphic background
White	255, 255, 255		Highlighting of some small items, e.g., PV Quality Indications
Light Gray	243, 243, 243		ON indication for equipment
Gray	136, 136, 136		Off indication for equipment
Dark Gray	74, 74, 74		Some text, minor process lines
Black	0, 0, 0		Text and labels, major process lines, process vessel outlines. Dark Gray (64, 64, 64) can also be a good choice.
Dark Blue	0, 0, 215		Process values, controller modes and outputs, similar special purposes. Trend line for a single trended value.
Dark Green	0, 128, 0		Controller setpoints and other operator inputs, trend trace of setpoints
Light Green	153, 255, 102		Possible "faint green" for some specific highlighting
Light Blue	187, 224, 227		Desired operating ranges or conditions
Cyan	0, 255, 255		Vessel level strips, trend lines
Brown	204, 102, 0		Trend lines, position feedback indication
Pale Red (Pink)	255, 153, 204		Possible "faint red" for some specific indications
Red	255, 0, 0		Top level, priority one alarm
Yellow	255, 255, 0		Priority two alarm
Orange	255, 102, 0		Priority three alarm
Magenta	255, 0, 255		Priority four alarm for diagnostics
Dark Magenta	204, 0, 102		Trend lines

Figura 18-1: Descripción de colores en pantallas HMI.

Fuente: Normas ISA 101. 2015

- **Representación de valores en procesos**

La visualización de valores en tiempo real en una pantalla táctil debe mostrarse de una manera diferente que la del texto estático, ver **Figura 19-1**:

- ✓ La elección de un color azul oscuro en negrilla es una buena opción con el fondo gris y diferencia los valores vivos del texto estático hecho en negro o gris.
- ✓ Los ceros iniciales no se muestran, excepto en valores fraccionarios (por ejemplo, 0.50). Los valores se muestran dependiendo de la precisión que necesita el operador dependiendo del proceso industrial.
- ✓ En tablas o columnas, generalmente se alinea los números en el punto decimal.
- ✓ Las unidades de medida se muestran en texto sin negrilla cerca del valor real.

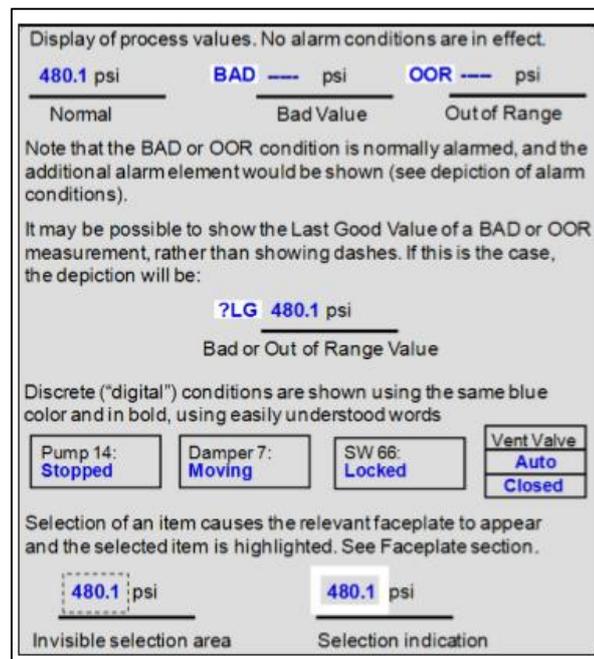


Figura 19-1: Representación de valores en HMI.

Fuente: Normas ISA 101. 2015.

- **Representación de alarmas**

La representación apropiada para las alarmas se deben codificarse según la prioridad de la alarma (color / forma / texto). Los colores de alarma no deben utilizarse para funciones no relacionadas con la alarma, es decir, no deben incumplir directamente con la regla básica del uso del color antes mencionada.

Cuando un valor o un objeto entran en alarma, el indicador separado con la alarma aparece junto a él, como se muestra en la **Figura 20-1**. El indicador parpadea mientras la alarma no es reconocida y cesa de parpadear después del reconocimiento.

Permanece visible mientras la condición de alarma esté en efecto. Los operadores no detectan el cambio de color en la visión periférica, pero el movimiento tal como parpadear se detecta fácilmente.

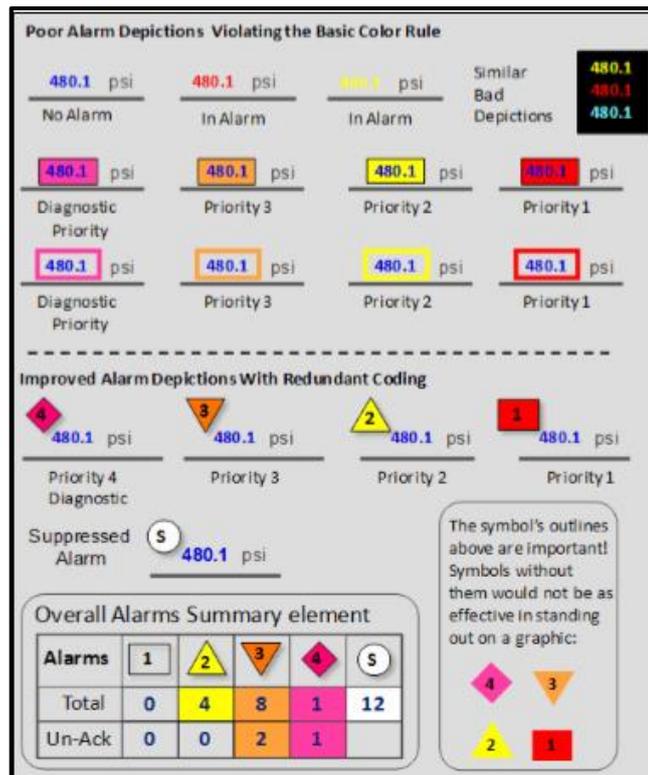


Figura 20-1: Representación de alarmas en un HMI.
Fuente: Normas ISA 101. 2015.

- **Representación de columnas de nivel para temperatura y presión**

Considere las pantallas de niveles de temperatura de la **Figura 21-1**, cuando sólo se muestran números, incluso un operador experimentado puede perder fácilmente una condición sub-óptima. Además, un nuevo operador tendrá dificultades para construir un mapa mental de un perfil adecuado. El deseo es que todos los operadores reconozcan los perfiles normales y anormales de un solo vistazo. Un perfil correcto se puede ver de un vistazo como una línea recta.

- **Representación de columnas de nivel para temperatura y presión**

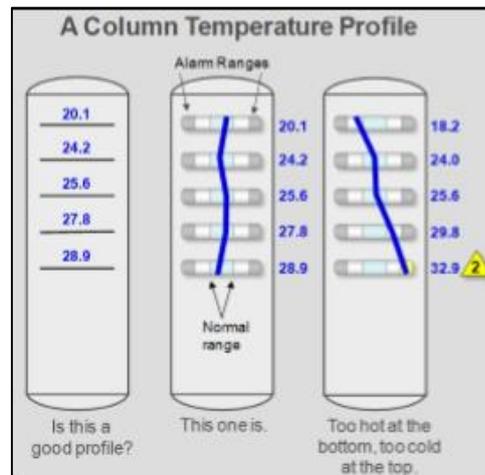


Figura 21-1: Columna de nivel en HMI.
Fuente: Normas ISA 101. 2015.

- **Representación de los cambios de estado en una animación**

El brillo relativo del objeto muestra su estado de encendido / apagado, al igual que el uso de una palabra de valor del proceso junto a ella. Los elementos del equipo más brillantes que el fondo se representan como encendidos. Los elementos más oscuros que el fondo están apagados.

Si el equipo no tiene el estado que es detectado por el sistema de control, pero se desea en el gráfico de todos modos, se muestra como transparente al color de fondo. Recuerde que si alguna de estas también son condiciones de alarma, el indicador de alarma separado aparecerá junto al equipo cuando se encuentre en estado de alarma. Ver, **Figura 22-1**.

- **Representación de indicadores de nivel**

Los indicadores de nivel en los tanques no deben mostrarse como manchas grandes de color saturado. Una representación simple de una tira que demuestre la proximidad a los límites de la alarma es mejor. Una combinación de representaciones entre indicadores de tendencias y análogos es incluso mejor tal como la **Figura 23-1** El borde derecho de la tendencia reemplaza al puntero y proporciona contexto.

- **Representación de los cambios de estado en una animación**

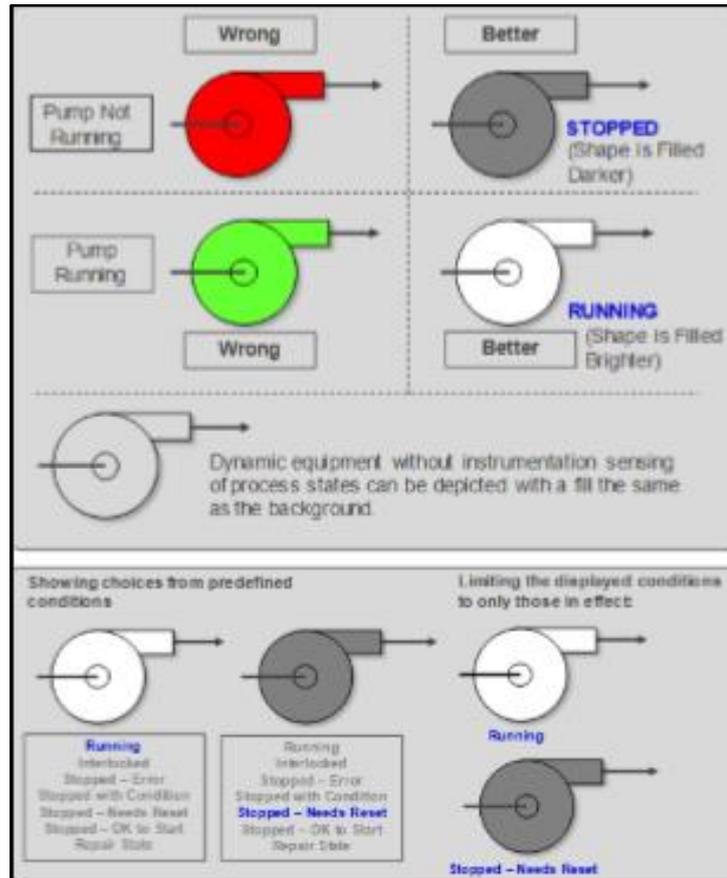


Figura 22-1: Representación de colores en animaciones HMI.
Fuente: Normas ISA 101. 2015.

- **Representación de los indicadores de nivel para HMI**

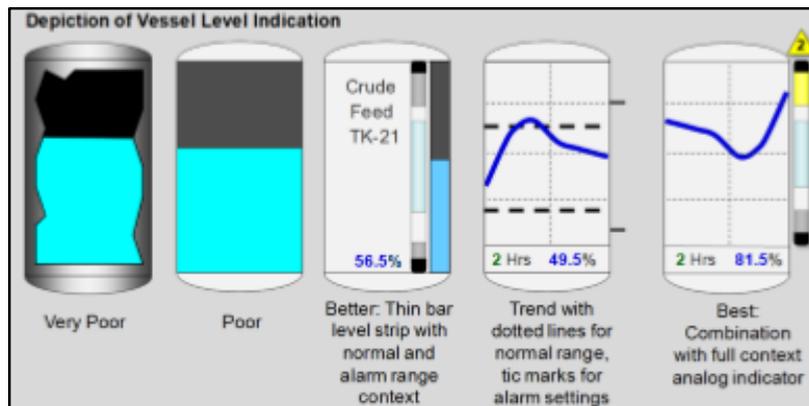


Figura 23-1: Representación de indicadores de nivel para HMI.
Fuente: Normas ISA 101. 2015.

- **Representación para encendido o apagado de válvulas de control**

Las válvulas de control resultan ser uno de los elementos más complicados de representar. La tendencia es querer meter demasiados datos en un espacio pequeño. Tradicionalmente, representamos una válvula de control (estrangulación, posición variable) con una representación de la cabeza abovedada y una válvula de bloqueo automatizada (sólo encendido / apagado) con una representación de la cabeza rectangular.

De acuerdo con las representaciones del equipo, el cuerpo de la válvula se representa con un color negro para cerrado y color claro para abierto. Esto también sigue para la representación de diagramas P&ID para válvulas de bloqueo.

El mismo método puede representar el estado de las válvulas de tres vías. Los estados del solenoide y del interruptor de posición también se pueden mostrar si se desea.

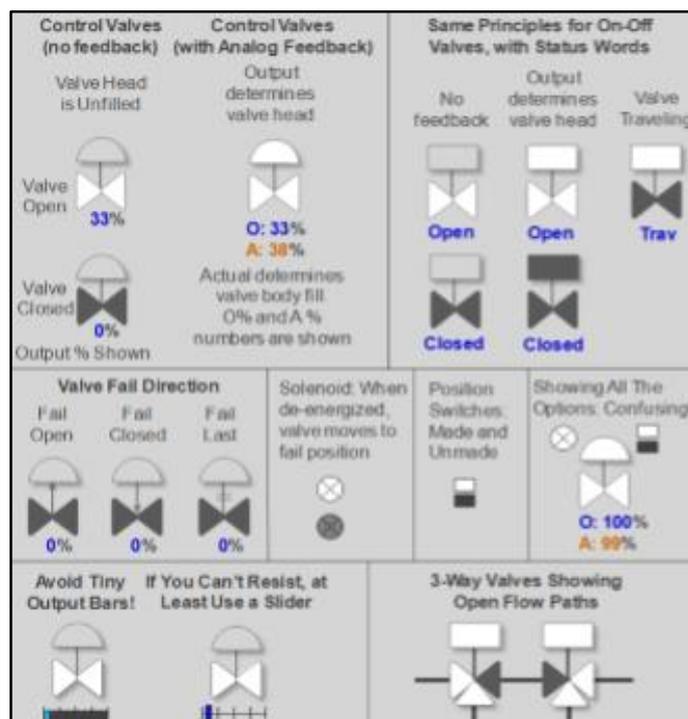


Figura 24-1: Representación de las válvulas de control.
Fuente: Normas ISA 101. 2015.

- **Representación de tablas**

Incluso las tablas y listas de verificación pueden incorporar los principios apropiados, como se muestra en la **Figura 25-1**. Se pueden integrar colores e indicadores de estado consistentes. La intención es hacer que el dato de control se destaque.

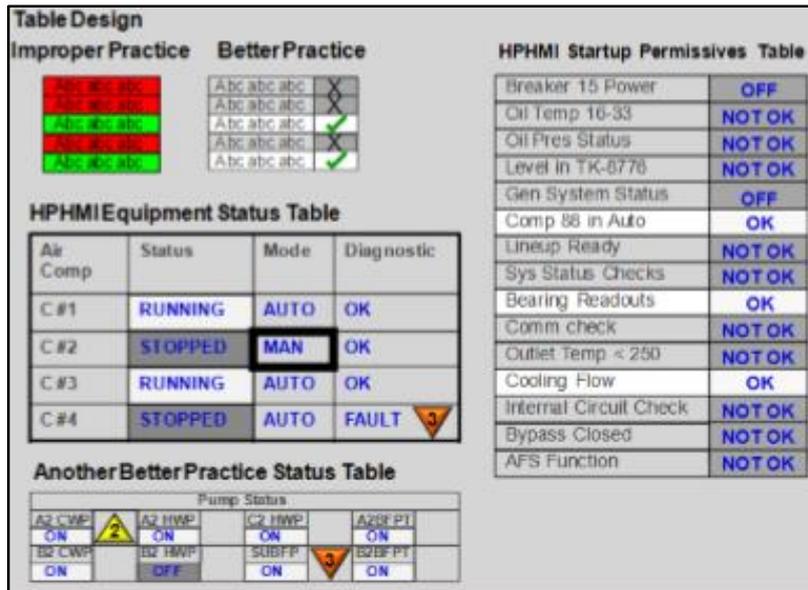


Figura 25-1: Representación de tablas para HMI.
Fuente: Normas ISA 101. 2015.

- **Representación de botones de comando y navegación**

Todas las pantallas deben tener botones de navegación para acceder a las demás pantallas a las que el operador tendría acceso. Cuando se utiliza una representación P&ID, cualquier línea de proceso que entre o salga de la pantalla debe contener un botón de enlace de navegación al gráfico correspondiente. Los botones de navegación o los objetivos deben ser coherentes y simples (y no parecer idénticos a los botones de comando).

La mayoría de los sistemas de control proporcionan objetos de botones de navegación pre-hechos, incluyendo muchos que están inapropiadamente coloreados, innecesariamente 3-D y demasiado intrusivos.

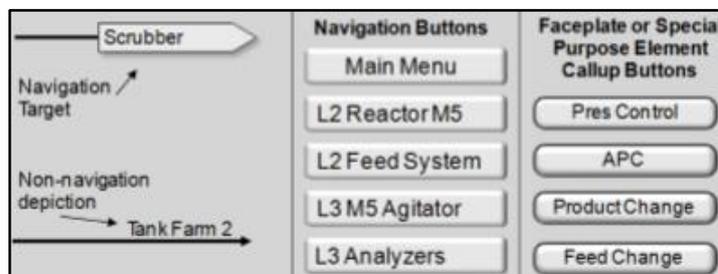


Figura 26-1: Objetos y botones de navegación.
Fuente: Normas ISA 101. 2015.

1.5. Compuertas Hidráulicas

1.5.1. Generalidades

Se puede definir a la compuerta como un equipo mecánico utilizado para el control y regulación de caudal, control de inundaciones, sistemas de drenaje, cierre para mantenimientos en equipos y otras estructuras, entre otros. Está formado por una placa plana, móvil o curva, que al instante de su apertura origina un espacio entre el borde inferior y su estructura hidráulica sobre el cual se monta.

Existen varios tipos de compuertas ya sea de diferentes tamaños, forma del orificio donde se ubica, la presión hidráulica y caudal que manejan, todo dependerá de las condiciones de operación y su aplicación en el proceso.

La compuerta tiene como objetivo cerrar el túnel de restitución, en condiciones normales para el mantenimiento de la máquina y no permitir que el agua retorne del río.

1.5.2. Compuertas tipo vagón

Las compuertas tipo vagón puede ser accionados de manera hidráulica - neumática (por medio de un pistón), eléctrica y manual. Se utilizan para el cierre u obturación de grandes secciones en huecos, canales, arquetas y con presencia de cargas elevadas de agua. En su gran mayoría se utilizan estas compuertas para descargas de fondos, bocatomas de presas y como elemento regulador de caudal.

Este tipo de compuertas se componen de un tablero mecano-soldada plana y tiene como principal característica que disponen de un sistema de rodaduras en los laterales en acero inoxidable, que permiten disminuir las presiones o rozamientos sobre el tablero al instante de desplazarse ya sea en la apertura o cierre. El número de rodillos depende de las dimensiones de la compuerta y de las cargas a soportar.

1.5.2.1. Accionamiento hidráulico para las compuertas tipo vagón

Para el accionamiento de la compuerta se realiza en la mayoría de los casos por medio de un cilindro hidráulico de doble efecto con un vástago de acero inoxidable. Para la compuerta vagón ubicada en el túnel de restitución de la Central Hidroeléctrica San Francisco su accionamiento es

a través de un cilindro hidráulico de simple efecto y su dimensionamiento para cierre es por gravedad para protección de centrales hidráulicas. Ver, **Figura 27-1**.

Se dispone de un grupo oleo hidráulico para las maniobras del cilindro hidráulico conformado por un tanque de aceite, dos motobombas, una bomba manual, válvulas reguladoras de caudal y presión, presostatos e indicadores de nivel de aceite, válvulas solenoides para el accionamiento de apertura, cierre normal y de emergencia, entre otras.

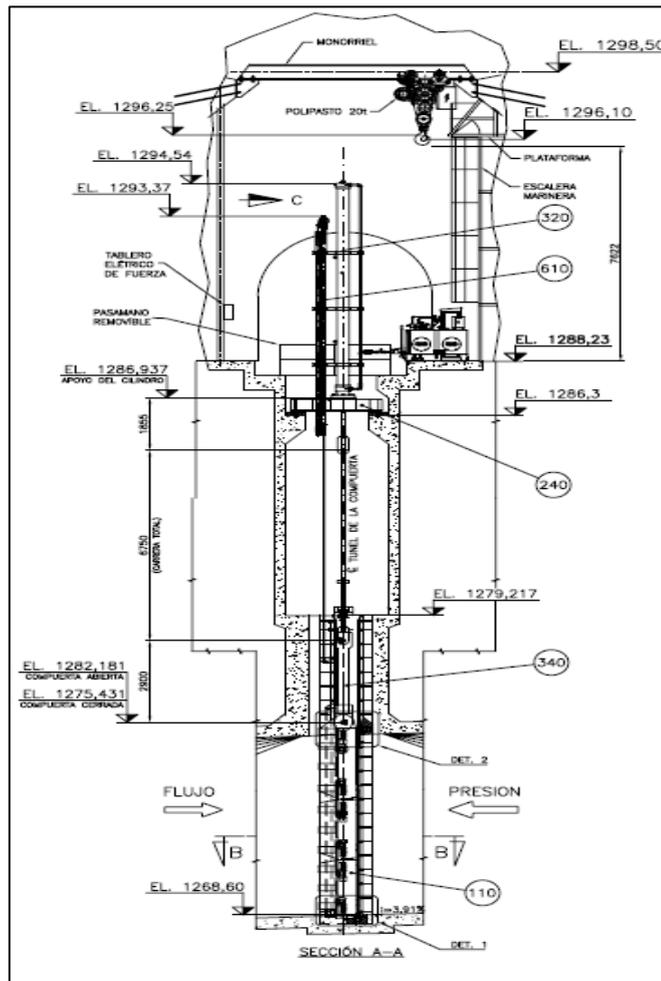


Figura 27-1: Compuerta hidráulica tipo vagón.
Fuente: Planos generales Central Hidroeléctrica San Francisco. 2007

CAPÍTULO II

2. Marco Metodológico.

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se detalla de forma precisa la metodología que se utilizó para el desarrollo del sistema de control para compuerta hidráulica en el túnel de restitución y su monitorización por medio de una nueva interfaz humano – máquina, para ello se realizó el levantamiento de la información técnica del tablero de control ya instalado en la central, el desarrollo del diagrama de bloques del proceso para un total conocimiento del correcto funcionamiento de la compuerta vagón, diseño de diagramas de instrumentación de procesos (P&ID), diseño de nuevos planos eléctricos y electrónicos, direccionamiento IP, comunicación y programación del PLC y HMI.

2.1. Características del sistema de compuerta hidráulica tipo vagón

Como se puede observar en la **Figura 1-2** la compuerta vagón se encuentra ubicada en el túnel de restitución en el nivel de 1286 m.s.n.m. Las operaciones de apertura y cierre de la compuerta serán realizados utilizando el sistema hidráulico compuesto por la unidad oleo-hidráulica y el cilindro hidráulico.

Para ello existen dos modos de operación que son escogidos a través de un interruptor o selector de comando y monitorización del sistema a través del HMI instalado en dicho tablero o en sala de control. Los modos de operación para la compuerta vagón son:

- **Mando local:** a través del comando del panel eléctrico en el piso de operación del túnel de restitución.
- **Mando remoto:** control de la compuerta desde el panel de comando ubicado en sala de control (UAC-SA).

El tablero de control permanece normalmente energizado, a no ser en caso de un mantenimiento programado. En el tablero de control se encuentra instalado el PLC marca MOELLER modelo PS4-341-MM1 y su HMI de la misma marca modelo MI4-150-KI1, con la singularidad de que el

control local actual de la compuerta es únicamente por medio de sus componentes electro-mecánicos industriales (relés, contactores, temporizadores, etc.); debido a que el control por PLC – HMI presentan fallas o inconsistencias en su programación e interfaz.

Además de ser modelos antiguos y discontinuados que no se encuentran en el mercado actual, presenta la singularidad de no tener acceso a su programación para efectuar cambios o correcciones para su correcto control; para ello jefes del departamento electrónico del proyecto hidroeléctrico “San Francisco” tomaron la decisión de desconectar la parte del control por remoto que se hace desde sala de control (UAC-SA) y mantener el PLC –HMI en control local únicamente para un entorno visual del estado de la compuerta y su monitorización.

De allí que se llevó la necesidad de instalar un nuevo sistema de control por PLC y HMI modernos, existentes en el mercado y con un entorno más visual amigable para su programación, control y supervisión por parte del fabricante y distribuidor en Ecuador como es SIEMENS.



Figura 1-2: Compuerta vagón Central "San Francisco"
Realizado por: Villacrés M. 2017.

Tabla 1-2: Características compuerta hidráulica tipo vagón.

TIPO DE COMPUERTA	Vagón
CANTIDAD DE RUEDAS	12
VELOCIDAD APERTURA NORMAL	1 [m/min]
VELOCIDAD CIERRE NORMAL	1 [m/min]
VELOCIDAD CIERRE POR EMERGENCIA	4 [m/min]
CARRERA DE LA COMPUERTA	6750 [mm]
TABLERO (PESO) [Kg]	
PANEL INFERIOR	5285.5
PANEL INTERMEDIO	5542.9
PANEL SUPERIOR	6957.2
CENTRAL HIDRAULICA (PESO) [Kg]	
CENTRAL HIDRAULICA	1000
CILINDRO HIDRAULICO (PESO) [Kg]	
CILINDRO HIDRAULICO (SIN ACEITE)	2855
CILINDRO HIDRAULICO (CON ACEITE)	3115

Realizado por: Villacrés M. 2017.

2.2. Operatividad del sistema de compuerta hidráulica tipo vagón.

Tomando como base el *plano No. 3* que se visualiza en la **Figura 2-2** se describe el modo de actuación del sistema de compuerta hidráulica a través del circuito hidráulico existente en la documentación entregada por parte de la Central hidroeléctrica “San Francisco”. También se lo puedo visualizar en el **ANEXO A**.

2.2.1. Apertura de la compuerta

Se debe tomar como consideración y cuidado antes del inicio de apertura de la compuerta, verificar el nivel de aceite en el tanque como también verificar si las válvulas de mantenimiento o regulación **RGM2**, **RGM3**, **RGM5** y **RGM6** están abiertas.

Dado la señal de partida para apertura de la compuerta, el PLC comandará la energización de los motores eléctricos **ME1** y **ME2** con un intervalo de tiempo, para reducir las exigencias sobre los servicios auxiliares.

La partida o arranque de los motores deberá ser en vacío, o sea, el aceite pasará por el filtro de succión **FS1** de la bomba **B1** y por el filtro **FS2** de la bomba **B2** retornando al tanque de aceite por medio de las válvulas de control direccional **VPV1** y **VPV2** respectivamente.

Para que el sistema sea presurizado para continuación del movimiento de apertura, el solenoide **S1** de la válvula **VPV1** y el solenoide **S2** de la válvula **VPV2** deber ser energizados. Con esto, el aceite pasará por las válvulas de retención **VR1**, **VR2** y **VR6**, válvulas de mantenimiento **RGM2** y **RGM5**, válvula reguladora de caudal **VRV1** hasta la cámara inferior del cilindro hidráulico, abriendo la compuerta normalmente.

El aceite de retorno saldrá de la cámara superior del cilindro hidráulico pasando por las válvulas de mantenimiento **RGM6** y **RGM3**, válvula de retención **VR2** y filtro de retorno **FR**.

Al finalizar la apertura, es accionada la señal de “compuerta abierta” proveniente del sensor inductivo final de carrera que desenergizará los motores eléctricos **ME1** y **ME2** como también a los solenoides **S1** y **S2** de las válvulas de control direccional **VPV1** y **VPV2**.

2.2.2. Cierre normal de la compuerta

La compuerta cierra por su propio peso (por gravedad), o sea, no hay necesidad de que se energice los grupos moto-bomba. Dado la señal de cierre normal, el PLC comandará la energización del solenoide **S3**, actuando la válvula de cierre **VCN**, cerrando la compuerta. El aceite lado del vástago será succionado por el lado del pistón y el restante del aceite será succionado del tanque.

El sensor inductivo de final de carrera emitirá una señal al panel indicando el cierre completo de la compuerta.

2.2.3. Cierre de emergencia de la compuerta

En caso de cualquier defecto, el cierre de emergencia deberá ser accionado, actuando los solenoides **S4** y **S5** de las válvulas de cierre de emergencia **VCEM1** y **VCEM2**, cerrando la compuerta en emergencia.

2.2.4. Reposición de la compuerta

Será utilizado cuando la compuerta quedara abierta.

2.2.4.1. Reposición de la compuerta (1era. etapa)

Cuando, por efecto de fugas internas, la compuerta baja hasta cerca de 100 mm desde la posición abierta donde acciona un sensor inductivo de posición, el sistema de control de reposición de la compuerta será accionada, reponiendo la compuerta en la posición consignada, donde la misma será mantenida y controlada por este sistema.

2.2.4.2. Reposición de la compuerta (2da. etapa)

En caso de que la reposición (1era. ETAPA) no funcione, un segundo interruptor o sensor inductivo será accionado cuando la compuerta baje hasta 200 mm.

2.2.4.3. Cierre automático o compuerta en deriva

En caso de que la operación de recuperación de posición también no funcione en esta segunda operación, un tercer interruptor será accionado cuando la compuerta baje hasta los 250 mm y comandará el cierre automático de la compuerta.

Tomar como consideración adicional la presión de descarga de las bombas que será vigilada continuamente por el automatismo del panel local “PLC” por medio de señales emitidas por los presostatos **PA** y **PB**.

2.2.5. Diagrama de Instrumentación de Procesos (P&ID)

El diagrama P&ID (diagrama de instrumentación del proceso) representa el flujo del proceso en las tuberías, líneas, instrumentos y actuadores dentro de un proceso de planta.

En el *plano No. 2* correspondiente al **ANEXO B** se detalla el diagrama de instrumentación *P&ID* en el cual se detalla las válvulas, actuadores y sensores para una adecuada automatización en la compuerta de restitución en la Central “San Francisco”

2.2.6. Diagrama de bloques de proceso

Se entiende por diagrama de bloques del proceso a la representación, gráfica expresada en bloques, del modo de operación o funcionamiento de un sistema expresado mediante sus entradas, salidas y su relación entre las mismas.

En el *plano No. 1* correspondiente al **ANEXO C**, se detalla, mediante bloques, las señales que entrega la unidad hidráulica, los sensores inductivos, el transductor de posición, la interacción PLC – HMI y sus señales que enviarán a la UAC-SA (unidad de adquisición y control sistemas auxiliares) ubicada en la sala de control.

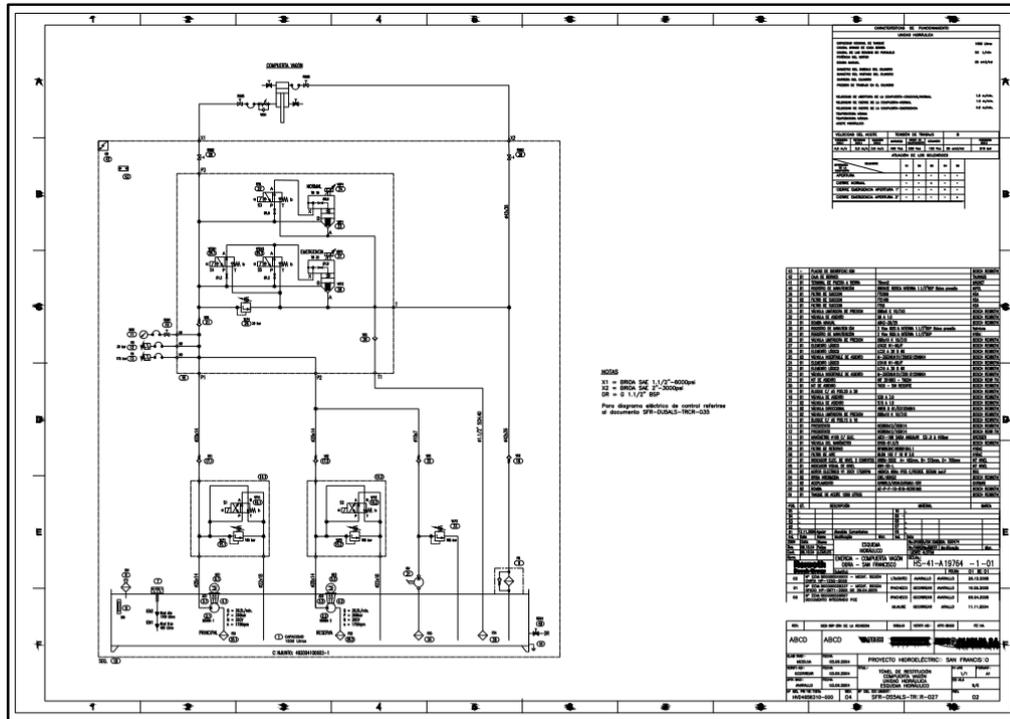


Figura 2-2: Esquema hidráulico compuerta vagón.
Fuente: Planos generales Central Hidroeléctrica San Francisco. 2007

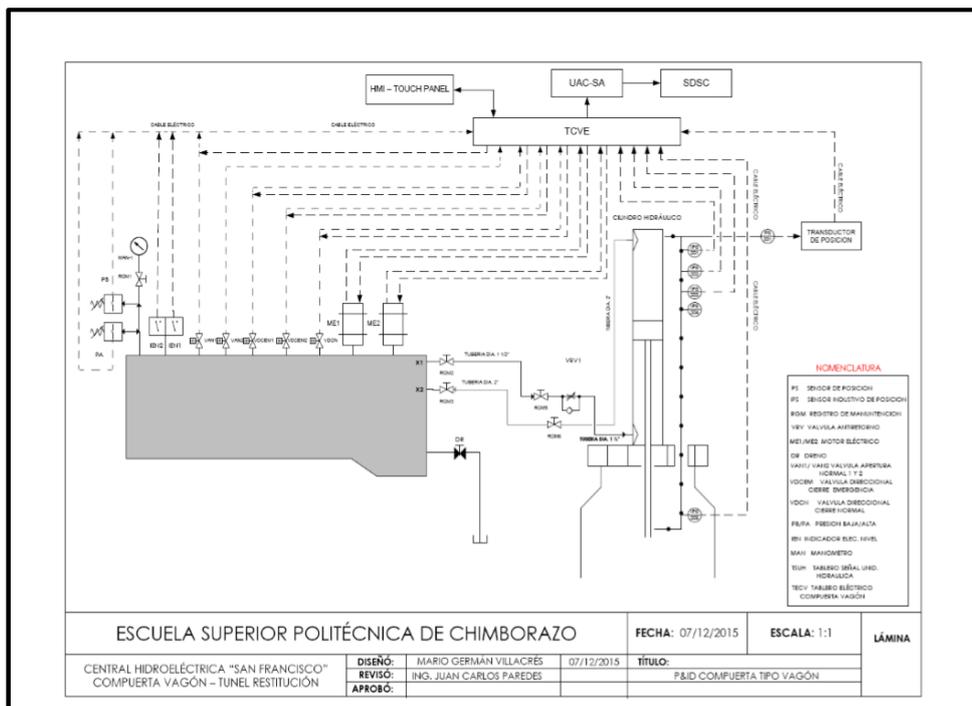


Figura 3-2: Diagrama P&ID compuerta vagón.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

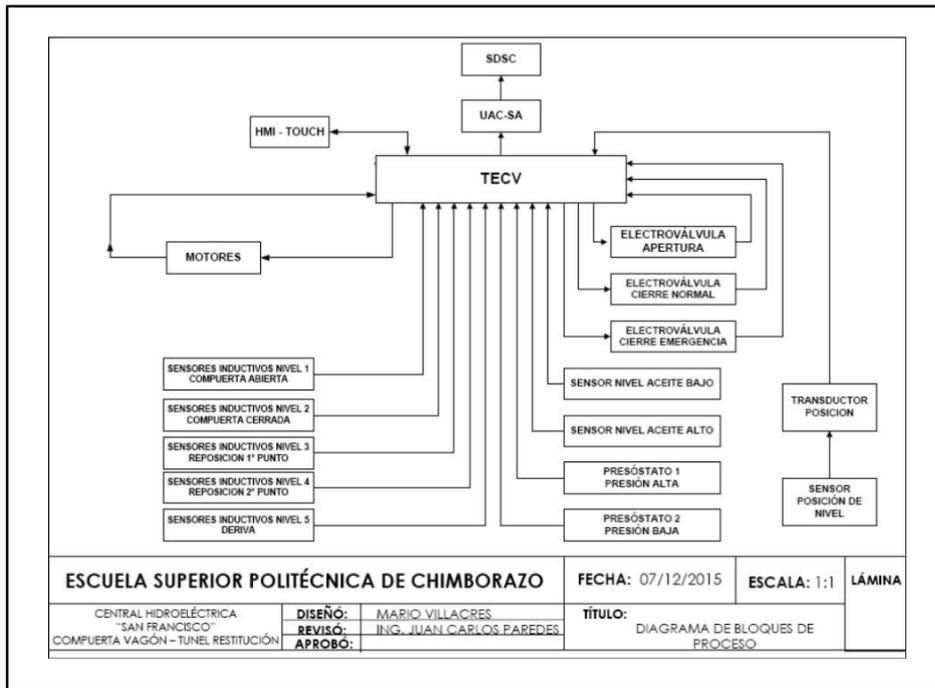


Figura 4-2: Diagrama de bloque de procesos. Compuerta vagón.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

2.2.7. Planos eléctricos - electrónicos del sistema de control

El diseño de los planos eléctricos y electrónicos es el punto de partida para el posterior desarrollo del nuevo sistema de control y su repotenciación. Se describen gráficamente las conexiones de manera ordenada y la ubicación de cada elemento que conforman los circuitos de mando - fuerza para una mayor comprensión del modo de operación de los actuadores, sensores y corregir las fallas que presenta el sistema en la actualidad. Los planos eléctricos como los criterios de lectura y comprensión de los planos se encuentran debidamente descritos en el **ANEXO D**.

Posterior a ello, realizando las respectivas correcciones a los planos previos y conociendo las especificaciones de los equipos PLC – HMI que van a sustituir a los anteriores, se realizaron los nuevos planos para el sistema de control de la compuerta de restitución que permitirán conocer gráficamente las diferentes conexiones eléctricas, los detalles y ubicación de cada equipo con el objetivo de obtener una mejor comprensión para el personal del departamento eléctrico y electrónico y operadores de sala de control.

2.3. Elementos de control

Posterior al levantamiento técnico de la información del sistema de compuerta hidráulica en la central “San Francisco” se planteó realizar el nuevo sistema de control actual utilizando la

mayoría de elementos eléctricos, electrónicos y electromecánicos presentes en el tablero de control instalado en el túnel de restitución.

El principal propósito es optimizar el factor tiempo y recurso económico propio de la central generando un menor gasto con la menor cantidad de componentes posibles, por ello se recomendaron los siguientes equipos:

- ❖ Sustituir el INDICADOR ELECTRÓNICO DIGITAL DE POSICIÓN por otro de la marca SIEMENS por su facilidad de comunicación con equipos de la misma gama.
- ❖ Cambiar el PLC instalado en el tablero de control, debido a que su programación es de entera propiedad del contratista del proyecto; por ello se utilizará un PLC de gama comercial como es el SIEMENS S7-1200 y su interfaz de programación el software TIA PORTAL V13 que se encontraban en stock de bodega en la misma Central hidroeléctrica “San Francisco”.
- ❖ Sustituir el actual Panel Touch por otro del fabricante SIEMENS modelo KTP-900 que nos permita mostrar múltiples funciones como: visor de avisos y fallas, estado actual de la compuerta, estados de presión, nivel de aceite en la unidad hidráulica, movimiento y posición de la compuerta, configuraciones del sistema (hora, administración de usuarios), etc.
- ❖ Transductor corriente – tensión ETI-50 del fabricante ABB.
- ❖ Sensores, actuadores eléctricos e hidráulicos.

A continuación se detalla las características técnicas de cada uno de los elementos de control que conforman el sistema de compuerta hidráulica.

2.3.1. Sensores inductivos finales de carrera – sensor analógico de posición

Para nuestro control referente a la posición y movimiento de la compuerta hidráulica, usaremos sensores inductivos de la marca BALLUFF de la Forma A con una rosca cilíndrica de diámetro de 30 mm a 2 hilos de configuración de contacto N.O (normalmente abierto) y un sensor analógico de posición del fabricante MINOR. En la **Tabla 2-2** y **3-2** se presenta las características nominales principales de ambos sensores respectivamente.

Tabla 2-2: Características Sensor Inductivo marca BALLUFF.

SENSOR BALLUF INDUCTIVO FINAL DE CARRERA	
SERIE	BES 516-215-E4-E
TAMAÑO	M30x1.5
DISTANCIA NOMINAL DETECCIÓN	10 mm
TENSIÓN DE TRABAJO	110 V AC
LED INDICADOR	Sí
PROTECCIÓN IP	IP67

Realizado por: Villacrés M. 2017.

Tabla 3-2: Características Sensor Analógico de Posición.

SENSOR ANALOGICO DE POSICION MARCA MINOR	
SERIE	KTC-75
SALIDA ANALOGICA	0 – 10 VDC
SALIDA ESPECIAL ANALOGICA	4 – 20 mA
RESISTENCIA	10Kohmios
PROTECCIÓN IP	IP68

Realizado por: Villacrés M. 2017.

2.3.2. Motor eléctrico

Las características nominales de los motores eléctricos y su potencia a utilizarse para la apertura de la compuerta hidráulica se encuentran ya dimensionadas por parte de la constructora ODEBRECHT y la marca proveedora BOSCH – REXROTH. En la **Tabla 4-2** se muestran los valores de los motores eléctricos que se ocupará en la unidad hidromecánica como es su potencia nominal, velocidad (RPM), frecuencia, torque etc.

Tabla 4-2: Características motor eléctrico trifásico. Marca WEG.

PROVEEDOR:	WEG
TIPO DE MOTOR:	Motor inducción Jaula de Ardilla
POTENCIA:	20 [CV] - 15 [kW]
TENSION NOMINAL:	460 [VAC]
CORRIENTE NOMINAL:	25.2 [A]
ROTACIÓN NOMINAL:	1760 [RPM]
FRECUENCIA:	60 [Hz]
GRADO DE POTECCION:	IP55
FACTOR DE POTENCIA:	0.83
RENDIMIENTO:	90.2
TEMPERATURA AMB:	40°C
PESO:	121 [Kg]

Realizado por: Villacrés M. 2017.

2.3.3. Cilindro hidráulico de simple efecto

En la **Tabla 5-2** se presentan las características principales del cilindro hidráulica utilizada para el accionamiento de la compuerta vagón en la Central “San Francisco”.

Tabla 5-2: Características cilindro hidráulico simple efecto.

TIPO:	SIMPLE EFECTO
DIÁMETRO DEL ÉMBOLO (CILINDRO):	280 [mm]
DIÁMETRO DEL VÁSTAGO (CILINDRO):	110 [mm]
CARRERA DEL CILINDRO:	6750 [mm]
CARRERA TOTAL CON AMORTIGUAMIENTO DEL CILINDRO:	6850 [mm]
VELOCIDAD DE APERTURA DEL CRACKING:	1.0 [m/min]
VELOCIDAD DE APERTURA DESPUÉS DEL CRACKING:	1.0 [m/min]
VELOCIDAD DE CIERRE EN EMERGENCIA:	4.0 [m/min]
TIEMPO DE APERTURA TOTAL DE LA COMPUERTA:	6.8 [min]
TIEMPO DE CIERRE NORMAL DE LA COMPUERTA:	6.8 [min]
TIEMPO DE CIERRE DE EMERGENCIA PARA LA COMPUERTA:	1.7 [min]
PRESIÓN MÁXIMA DE TRABAJO:	15.07 [MPa]
PRESIÓN DE PRUEBA:	22.60 [MPa]

Realizado por: Villacrés M. 2017.

2.3.4. Bomba Hidráulica

La bomba hidráulica “convierte la energía mecánica desarrollada por el motor eléctrico en energía de presión hidráulica”

La bomba hidráulica a tomar en consideración debido a que fue suministrado por el distribuidor de la empresa REXROTH perteneciente al GRUPO BOSCH, son dos bombas de desplazamiento volumétrico del tipo *engranaje* debido a que entrega un caudal constante. En la **Tabla 6-2** se muestra las principales características de la bomba hidráulica a utilizar.

Tabla 6-2: Características bomba hidráulica marca BOSCH REXROTH.

TIPO DE BOMBA	Engranaje
CAUDAL MINIMA PARA CRACKING	26,5 [l/min]
CAUDAL MINIMA DESPUES CRACKING	26,5 [l/min]

Realizado por: Villacrés M. 2017.

En caso de emergencia en el sistema, la unidad hidráulica dispone de una tercera bomba, esta última es una bomba manual tipo *engranaje* con un caudal normal de 25 [cm³ / rot] para accionar el circuito hidráulico en caso de fallas o paros de emergencia en la compuerta hidráulica.

2.3.5. *Acondicionamiento del sensor de posición*

“La señal de salida del sensor de un sistema de medición en general se debe procesar de una forma adecuada para la siguiente etapa de la operación. La señal puede ser, por ejemplo, demasiado pequeña, y sería necesario amplificarla; podría contener interferencias que eliminar; ser no lineal y requerir su linealización; ser analógica y requerir su digitalización; ser digital y convertirla en analógica; ser un cambio en el valor de la resistencia, y convertirla a un cambio en corriente; consistir en un cambio de voltaje y convertirla en un cambio de corriente de magnitud adecuada, etcétera. A todas estas modificaciones se les designa en general con el término acondicionamiento de señal”. (Ramón P. A., 2004)

Para poder acondicionar la señal lineal del sensor de posición se utilizó un transductor ETI-50 del fabricante ABB. Para ello, dicho transductor convertirá la señal analógica de corriente 4 -20 mA del sensor en un rango variable de tensión de 0 – 10 [VDC] debido a que los bornes de entradas analógicas del PLC admite únicamente dicho tipo de señales, tal como se puede observar las conexiones en el *plano 19*, del **ANEXO D**.

Finalmente una vez hecha la conexión sensor – transductor – PLC para poder obtener los valores reales del sensor analógico, se lo debe realizar en la programación del mismo PLC y se lo denomina el “escalonamiento y normalización” de señales analógicas. Posteriormente en la programación del PLC se podrá observar cómo se realizó el acondicionamiento del sensor.

- **Transductor de corriente – voltaje ETI-50 marca ABB.**

Datos técnicos:

- ❖ **Modelo:** ETI-50
- ❖ **Alimentación:** Tensión de alimentación 85/265 VAC o 90/300 VDC.
- ❖ **Campo de medición:** 4 – 20 [mA].
- ❖ **Señal de salida:** 0 – 10 VDC.
- ❖ Protección IP 40.
- ❖ Límite de error del 0,25%.

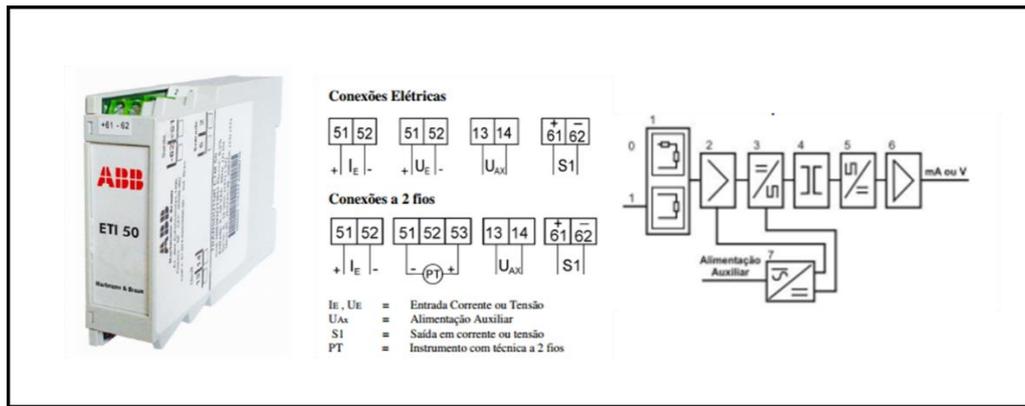


Figura 5-2: Transductor ABB. Conexiones eléctricas y funcionamiento.
Fuente: https://www.alfatronic.com.br/manuais/1469194989_ETI50.PDF

2.4. Tipo de sistema de control seleccionado.

El control que se desarrolló para el sistema de compuerta hidráulica en el túnel de restitución se basó en la sustitución de la interfaz PLC – HMI de la marca MOELLER instalado previamente; debido a que se encontraban en mal estado y no realizaba un control adecuado. Por ello, estaba operando únicamente el sistema electromecánico instalado en el tablero de mando de la compuerta de restitución.

Se procedió a sustituir dicha interfaz por la marca SIEMENS para su respectiva programación del nuevo sistema de control.

2.4.1. Control ON – OFF para la compuerta de restitución

Para la realización del control implementado para el proyecto de la compuerta tipo vagón en el túnel de restitución y se llevó a la elaboración de un control ON-OFF, ya que no se necesita trabajar con valores extremadamente precisos y el sistema hidráulico instalado maneja instrumentación con estados “1” y “0” y actuadores que cumplen las funciones de encendido y apagado como las uniones motor – bombas.

Tomando en consideración dichas variables de control que maneja la compuerta de restitución se hará el control ON – OFF a través la interfaz PLC – HMI marca SIEMENS para una interacción directa y confiable con el sistema en tiempo real.

2.5. Diseño del sistema de control.

2.5.1. Introducción.

Para una mejor optimización y corrección de las fallas presentes en el sistema de control de la compuerta hidráulica en la central actualmente instalada, se debe desarrollar un rediseño que pueda garantizar los siguientes beneficios:

- ❖ Estabilidad en el sistema ante la presencia de fallos en la unidad hidráulica y de agentes ambientales externos.
- ❖ Disponer el software propietario para el desarrollo y corrección de parámetros en su programación.
- ❖ Desarrollar un historial de eventos del funcionamiento, fallas y alarmas que se pueda presentar en el sistema.
- ❖ Obtener un monitoreo y supervisión completa del estado de operación de la compuerta ya sea desde el HMI instalado en el tablero de control como un proyecto a futuro desde la SALA DE CONTROL de la central.

La automatización industrial garantiza el control sobre las variables externas o de entrada que intervienen en cualquier sistema ya sea eléctrico, electrónico, mecánico o hidráulico en conjunto y la ejecución de un proceso de manera autónoma y eficiente con la menor intervención del personal que se encuentre a cargo.

2.5.2. Hardware del sistema de control

Para poder llevar a cabo el desarrollo del sistema de control en la compuerta de restitución, es necesario adquirir las señales de estado proveniente de los sensores digitales y analógicos a través de un Controlador Lógico Programable (PLC) y que mediante su programación permite realizar el mando hacia los actuadores por intermedio de sus salidas de control.

Muy aparte del control del proceso por parte del PLC, se necesita la supervisión y monitoreo del sistema a través de un entorno totalmente gráfico por parte de una pantalla táctil; los mismos que trabajarán en conjunto para obtener un control preciso y estable tomando en consideración todos los requerimientos que necesita la empresa.

2.5.3. Controlador Lógico Programable SIEMENS S7-1200

El Controlador Lógico Programable que vamos a utilizar para el sistema de control de la compuerta vagón es de la marca SIEMENS cuyo modelo específico es el SIMATIC S7-1200 CPU 1212C DC/DC/RLY con su versión de Firmware V3.0.0 cómo se puede observar en la **Figura 6-2**.

Hemos elegido dicho PLC modular compacto para soluciones de gama baja de automatización discreta y autónoma. Es el PLC que se distribuye con más frecuencia en el país por parte de sus proveedores; en la **Tabla 7-2** se detallará el número de entradas físicas digitales y analógicas como también las respectivas salidas físicas activadas por relé, y sobre todo se mostrará en la **Figura 7-2** el esquema de conexión correcta al PLC.

El PLC SIEMENS se alimenta de una fuente de 24 VDC modelo SIPLUS PM1207. Con los módulos de señales, puede fácilmente ampliar el número de entradas y salidas del controlador dependiendo de los requisitos de la aplicación. PLC consta de dos módulos de ampliación de 16 entradas y 16 salidas digitales como es el caso del modelo SM1223 para poder llevar a cabo el control de cada una de las variables que conforma el sistema.

Por ende se eligió este tipo de controlador porque nos permite un entorno de programación amigable con el usuario ya que el Software STEP 7 nos permite programar con los diferentes tipos de lenguajes que engloba la Norma IEC 61131.



Figura 6-2: PLC SIEMENS.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

2.5.3.1. Datos técnicos.

Tabla 7-2: Datos técnicos PLC SIEMENS S7-1200. CPU 1212C

PLC SIEMENS S7-1200 CPU 1212C DC/DC/RLY	
SERIE PLC	6ES7 212-1HD31-0XB0
ALIMENTACIÓN	24 VDC
ENTRADAS DIGITALES	8 DI 24 VDC
ENTRADAS ANÁLOGAS	2 AI 0 - 10 VDC
RESOLUCION	10 BITS.
SALIDAS DIGITALES	6 DO 24VDC RLY
COMUNICACIÓN	ETHERNET
MÓDULOS DE COMUNICACIÓN	3
MÓDULOS DE AMPLIACIÓN SEÑALES	2 MÓDULOS MÁXIMOS

Realizado por: Villacrés M. 2017

Tabla 8-2: Datos técnicos módulos ampliación SIEMENS SM 1223.

MODULO AMPLIACION 16DI / 16 DO SM 1223 SIEMENS	
SERIE MODULO S/M	6ES7 223-1BL32-0XB0.
ALIMENTACIÓN	24 VDC
ENTRADAS DIGITALES	16 DI 24 VDC / 4 [mA]
SALIDAS DIGITALES	16 DO 24VDC RLY
TIPO DE SALIDAS	MOSFET (20.4 – 28.88 VDC)
COMUNICACIÓN	INTEGRADO ETHERNET
RANGO TENSION ADMISIBLE	20-28.8 VDC

Realizado por: Villacrés M. 2017

Tabla 9-2: Fuente de alimentación SIPLUS PM1207. SIEMENS

FUENTE DE ALIMENTACION SIEMENS SIPLUS PM1207	
SERIE FUENTE ALIMENTACION	6AG1332-1SH71-4AA0
ALIMENTACIÓN (SUPPLY)	120 / 230 VAC
SALIDA DE TENSION VDC	24 VDC / 2.5 A

Realizado por: Villacrés M. 2017.

2.5.3.2. Cableado de entradas y salidas del PLC y su módulo de ampliación

En la **Figura 7-2** se detalla el diagrama de conexión correcta del PLC S7- 1200 CPU 1212C DC/DC/RLY como es la alimentación del PLC, sus entradas y salidas digitales.

- Consta de 8 entradas digitales identificadas por las letras **DI.a**, donde “a” va desde el **.0**
- Consta de 2 entradas analógicas identificadas por las letras **AI**.
- Consta de 6 salidas digitales identificadas por las letras **DQ.a**, donde “a” va desde **.0** hasta **.5**.
- Posee una fuente de voltaje incorporada de 24 VDC para alimentar a las entradas digitales del PLC.
- **L+** hace referencia a la parte positiva de 24 VDC donde se alimenta al PLC.
- **M** es el común del PLC para el cierre del circuito de alimentación.

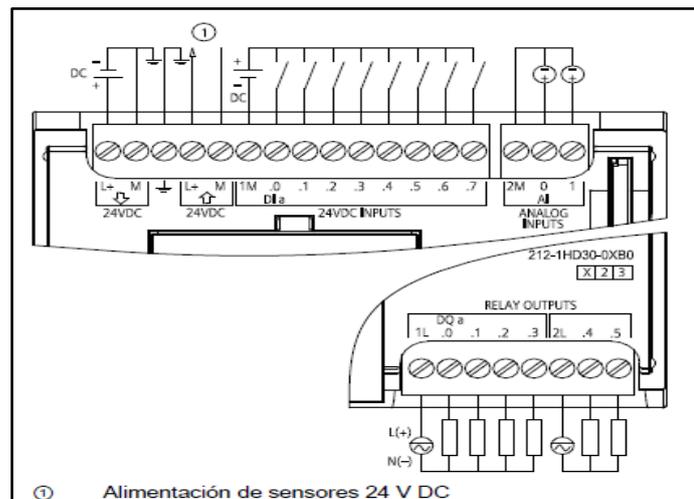


Figura 7-2: Diagrama conexión para el PLC S7-1200.
Fuente: S7-1200 Manual del sistema. SIEMENS. 2016.

En la **Figura 8-2** se detalla el diagrama de conexión correcta del módulo de ampliación SM1223 para el S7- 1200 CPU 1212C DC/DC/RLY como es su alimentación del PLC, sus entradas y salidas digitales.

- Consta de 2 regletas de bornes de 8 entradas digitales cada uno (total 16 DI) identificadas por las letras **DI.a** y **DI.b**, donde “a” y “b” va desde el **.0** hasta **.7**.
- Consta de 2 regletas de bornes de 8 salidas digitales cada uno (total 16 DQ) identificadas por las letras **DQ.a** y **DQ.b**, donde “a” y “b” va desde el **.0** hasta **.7**.
- **L+** hace referencia a la parte positiva de 24 VDC donde se alimenta al PLC.
- **M** es el común del PLC para el cierre del circuito de alimentación.

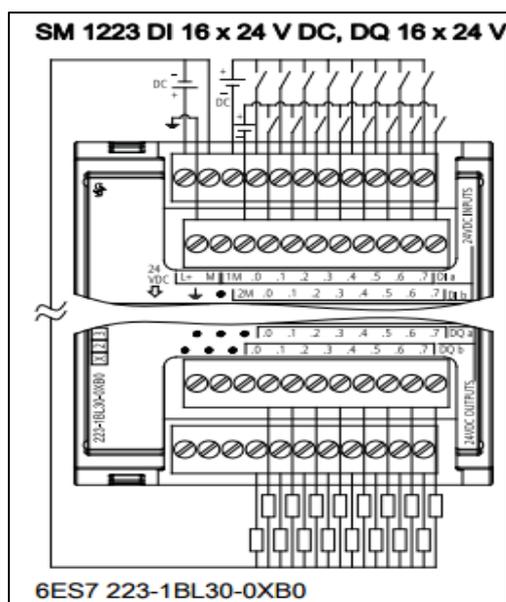


Figura 8-2: Cableado módulo ampliación.
Fuente: S7-1200 Manual del sistema. SIEMENS. 2016.

2.5.4. Pantalla táctil SIEMENS SIMATIC KTP-900 BASIC

La familia de pantallas SIMATIC HMI nos ofrecen la solución para la comunicación Hombre-Máquina más completa. Con los paneles SIMATIC se pueden dominar hasta los procesos más complejos, incrementando la disponibilidad y, por tanto, la productividad de la planta. Los paneles SIMATIC ofrecen el máximo grado de transparencia entre el Hombre y la Máquina.

El mercado actual nos ofrece un sin número de modelos, tamaños y marcas de HMI's dependiendo principalmente en su costo. Por cuestión de compatibilidad de comunicación entre PLC y HMI hemos elegido una pantalla de la misma marca SIEMENS (PROFINET).

Tabla 10-2: Características Touch Panel SIEMENS KTP-900.

TENSIÓN NOMINAL	24 VDC
INTENSIDAD NOMINAL	230 [mA]
DIAGONAL PANTALLA	9 In
NO. COLORES	65536
PANTALLA TÁCTIL	Sí
PUERTO DE RED	ETHERNET
PROTOCOLO	PROFINET

Realizado por: Villacrés M. 2017.



Figura 9-2: Panel Touch SIEMENS modelo KTP-900.

Fuente: <http://adjptngroup.com/product/ktp900-basic/>

2.5.5. Software del sistema de control

Para desarrollar el sistema de control en la nueva interfaz PLC – HMI SIEMENS para la compuerta hidráulica de restitución se lo realizó por medio del software **TIA PORTAL** en su versión 13 propia de la marca SIEMENS.

TIA PORTAL es una herramienta de ingeniería unificada que combina el **SIMATIC STEP 7** para la programación de los Controladores Lógicos Programables, **SIMATIC WinCC** programación de HMI's y el **SINAMICS StartDrive** programación y control de motores y variadores de frecuencia.

A través del mismo software podemos realizar la configuración y su protocolo de comunicación entre PLC y HMI dependiendo de la aplicación del sistema dentro de un proceso industrial determinado.

Dentro del paquete del software SIEMENS TIA PORTAL en su versión 13 incluye:

- SIMATIC STEP 7 V13 Professional.
- SIMATIC STEP 7 V13 Basic.
- SIMATIC STEP 7 PLCSIM.
- SIMATIC WinCC V13 Basic.
- SIMATIC WinCC V13 Runtime Professional.
- SIMATIC WinCC V13 Comfort Advanced

- SIMATIC WinCC V13 Professional.
- SINAMICS StartDrive V13.
- SIMATIC TIA Portal V13 Updates.

2.5.5.1. Creación y configuración de un nuevo proyecto en TIA PORTAL V13

TIA PORTAL ofrece una interfaz amigable para la realización de proyectos de automatización industrial, contando con un árbol del proyecto el cual está conformado por varias áreas de trabajo. Los programas realizados a través del software TIA PORTAL constan de los siguientes procesos:

- Creación de un nuevo proyecto.
- Configuración de la ruta de destino en el cual se guardará la programación del proyecto.
- Configuración de los componentes del Hardware del proyecto.
- Crear, compilar y cargar el programa a los dispositivos de control y monitoreo. (PLC - HMI)

❖ Creación de un nuevo proyecto

Se procede con la apertura del programa TIA PORTAL V13, una vez abierto el programa se despliega una interfaz de trabajo previo en la cual se detalla lo siguiente (ver, **Figura 10-2**)

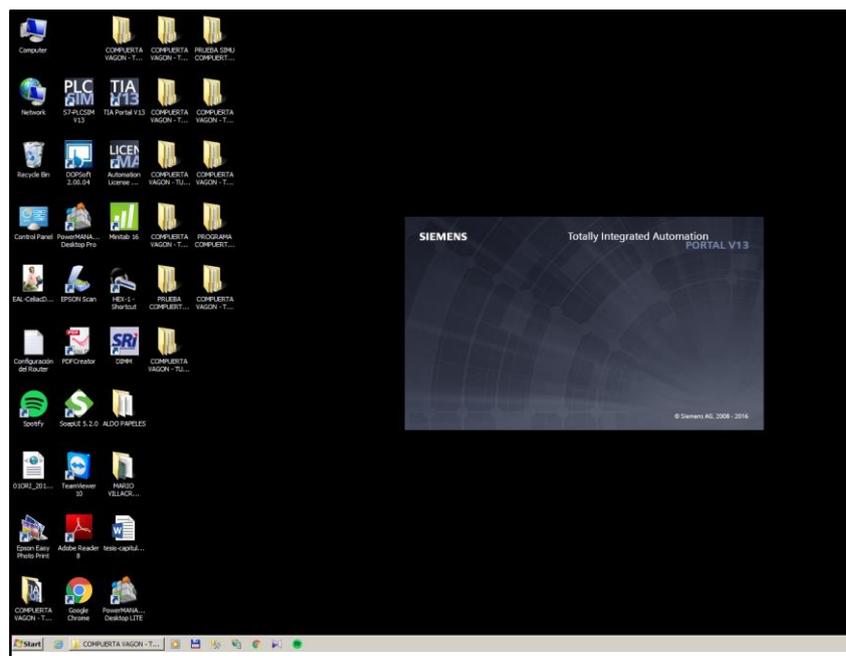


Figura 10-2: Apertura software TIA PORTAL V13.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

Crear proyecto: En esta ventana se procede a crear un nuevo proyecto a la cual se le asigna un nombre propio, una descripción general del proyecto y la ruta donde se guardará los archivos que forman parte del proyecto (**Figura 11-2**).

Abrir proyecto existente: Si ya dispone de un proyecto creado anteriormente a través del mismo programa.

Migrar proyecto: En caso de abrir un proyecto creado por un software compatible que forma parte del bloque de programas que integra TIA PORTAL como por ejemplo WinCC Flexible.

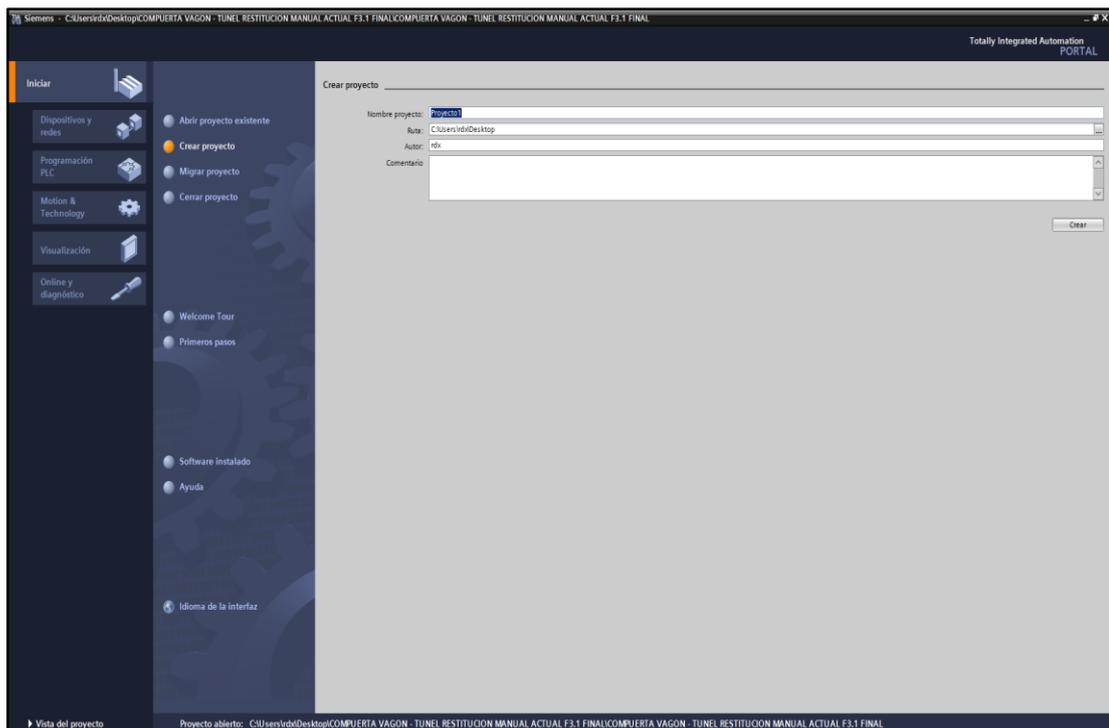


Figura 11-2: Vista previa del proyecto. TIA PORTAL V13.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

❖ Configuración de los dispositivos de Hardware.

Como se puede observar en la **Figura 12-2** aparece la ventana de la Vista del Portal, en la cual nos permite configurar los dispositivos a programar y que forman parte de la interfaz PLC – HMI; o también se puede acceder a la configuración de los dispositivos a través del menú “Abrir vista del proyecto” en la opción “Agregar dispositivos”.

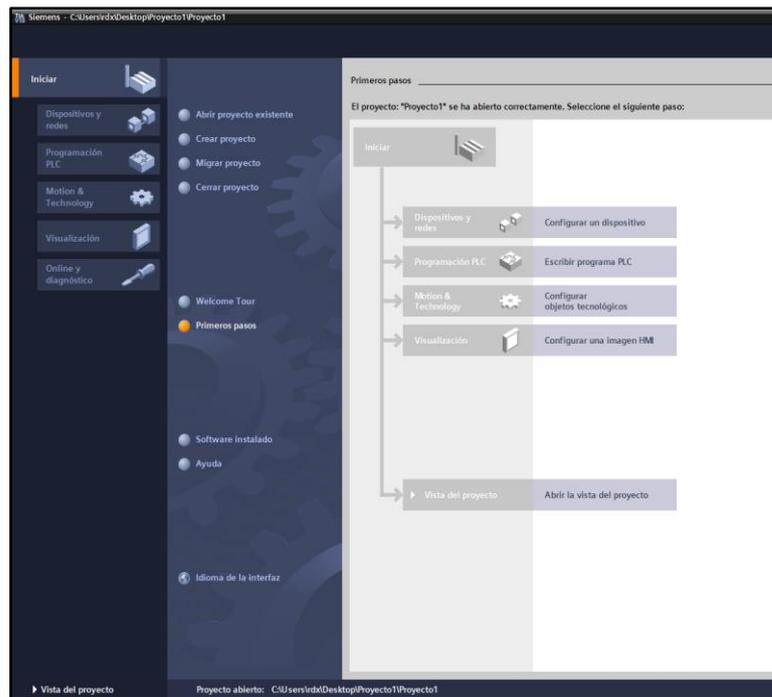


Figura 12-2: Configuración de dispositivos. TIA PORTAL V13.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

Se despliega la pantalla donde se observa el listado dispositivos a elegir ya sea PLC, módulos de ampliación y HMI con su respectivo modelo, tipo de CPU, y versión de firmware. Caso contrario de no elegir correctamente los datos propios de cada uno de los dispositivos no se podrá cargar sus respectivos programas.

Como se mencionó anteriormente el PLC que vamos a utilizar para desarrollar el control es un S7-1200 CPU 1212C (**Figura 13-2**) de gama media - baja y para el monitorio y supervisión del HMI se lo realiza por medio de la pantalla táctil KTP-900 Basic (**Figura 14-2**)

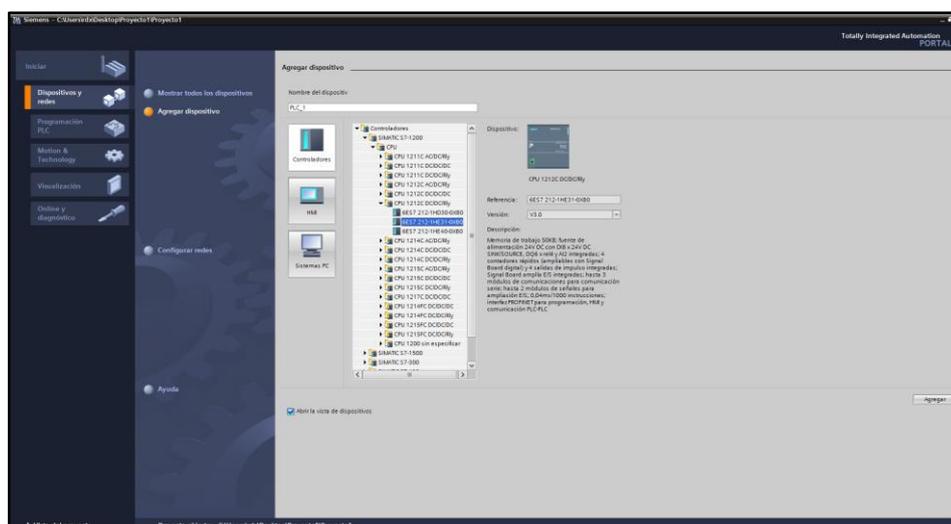


Figura 13-2: Selección y configuración del PLC. TIA PORTAL V13.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

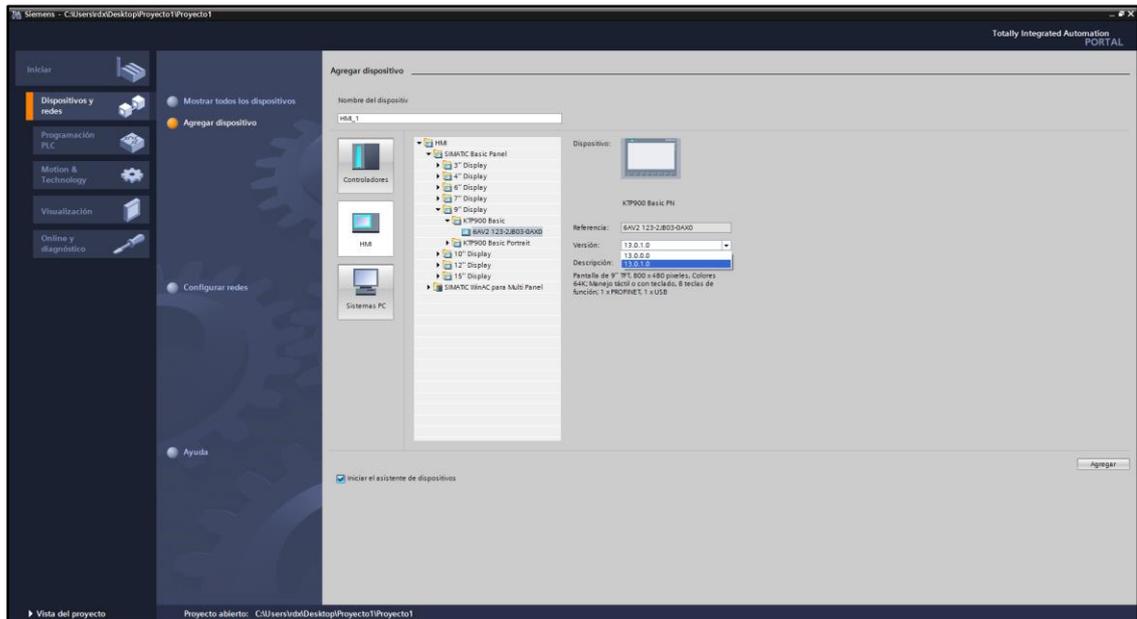


Figura 14-2: Selección y configuración del Panel de Control HMI. TIA PORTAL V13.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

❖ Asignación de la dirección IP a los dispositivos Hardware

Para cerciorarse de haber agregado correctamente los dispositivos PLC y HMI en el árbol del proyecto se observa la carpeta del PLC y HMI donde se encuentran ubicados cada uno de los equipos (**Figura 15-2**).

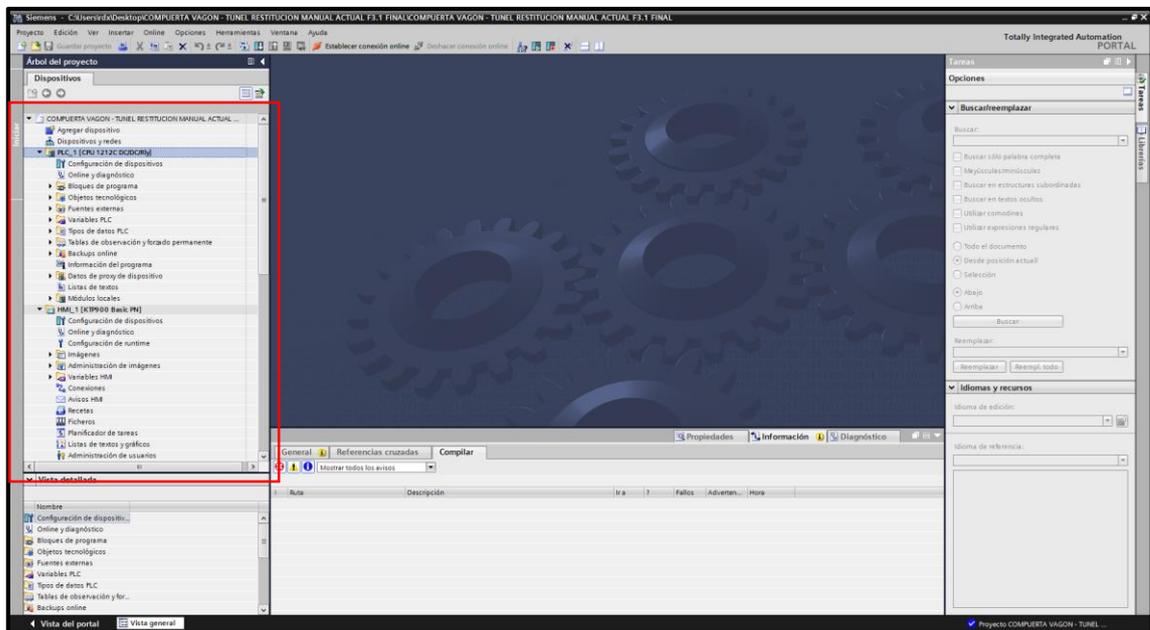


Figura 15-2: Árbol del proyecto, equipos configurados. TIA PORTAL V13.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

Posterior a ello, se les debe configurar una dirección IP y se lo hace dando un clic derecho sobre el dispositivo, ver **Figura 16-2**

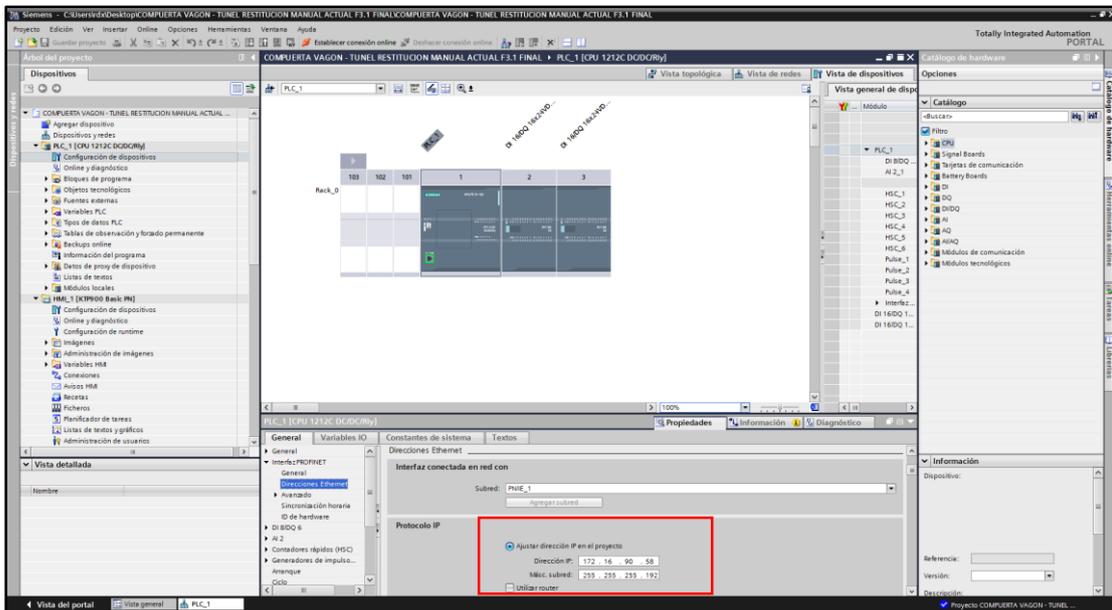


Figura 16-2: Configuración dirección IP PLC. TIA PORTAL V13.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

En la opción de “propiedades” se selecciona la configuración del “Direcciones Ethernet”, para configurar la dirección Ethernet o IP del dispositivo como se lo puede visualizar en la **Figura 17-2**.

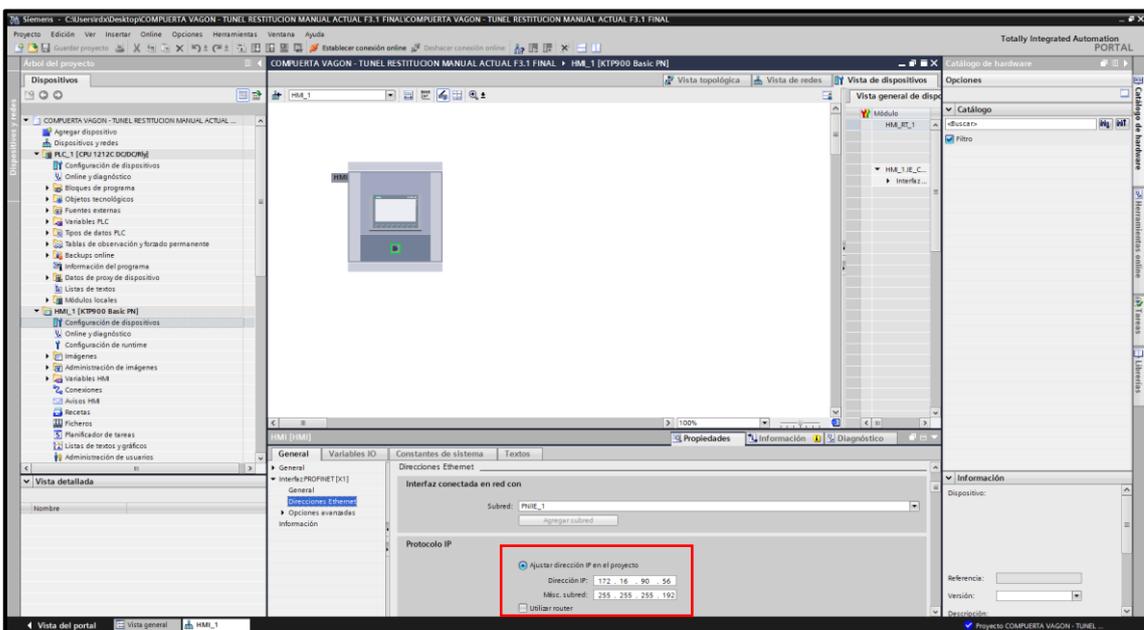


Figura 17-2: Configuración dirección IP PLC. TIA PORTAL V13.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

❖ Comunicación PLC S7-1200 – HMI KTP-900 SIEMENS

Para establecer una comunicación entre PLC y HMI se necesita que ambos dispositivos hablen el mismo protocolo de comunicación como es el caso de los equipos SIEMENS se trata del protocolo PROFINET.

Después de haber configurado las direcciones IP tanto en el PLC como en el HMI, se procede a enlazarlos por medio de una conexión integrada creando así una red de comunicación (ver **Figura 18-2**); todo esto se lo realiza dentro del mismo software del TIA PORTAL en el editor de “Dispositivos y redes” pestaña “Vista de redes”.

Para lo cual se ubica el cursor sobre el puerto ETHERNET del PLC S7-1200 y con un clic sostenido se “arrastra” la línea de color verde (PROFINET) que aparece hasta el puerto ETHERNET del HMI.

Accediendo a las propiedades de los dispositivos agregados, se puede constatar que ambos equipos están conectados a la misma red PN/IE_1.

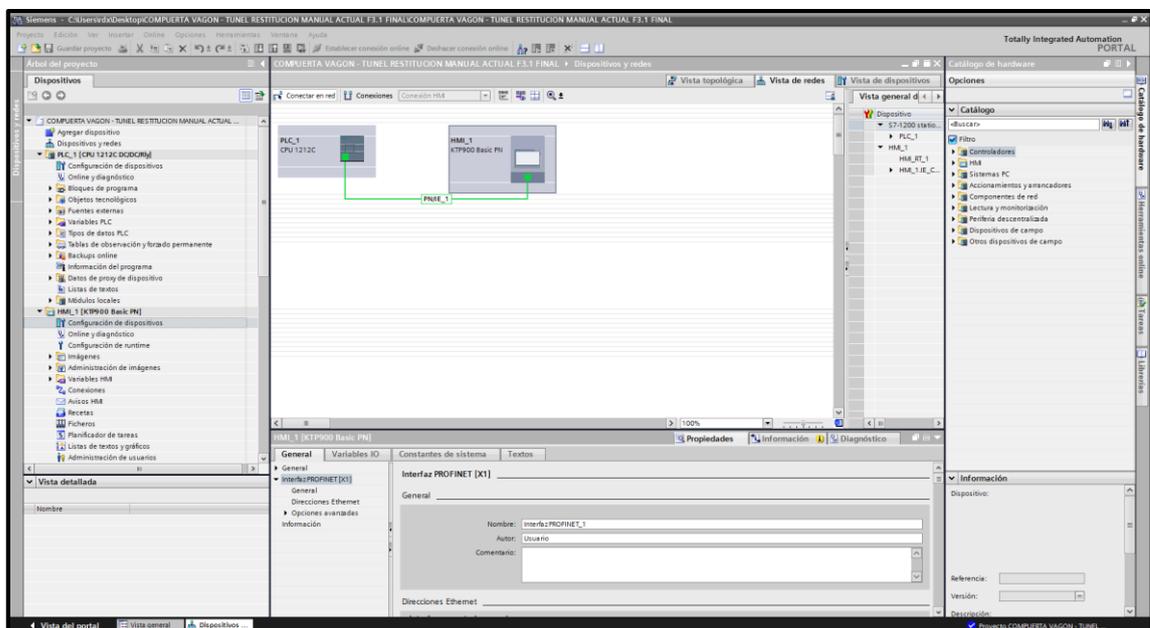


Figura 18-2: Comunicación PLC - HMI. TIA PORTAL V13.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

2.5.6. Programación del Controlador Lógico Programable.

2.5.6.1. Generalidades

Para el desarrollo de la programación al PLC, se he utilizado el software STEP 7 que forma parte del paquete TIA PORTAL V13 propio del fabricante SIEMENS. A través del SIMATIC STEP 7 permite al usuario una programación intuitiva y rápida, configurar y ejecutar cada una de las instrucciones programadas para todos los controladores de la gama SIMATIC de SIEMENS.

Dentro de las características más destacadas del STEP 7 tenemos:

- Rendimiento en comunicación PROFINET.
- “Know-how” integrado en contra de accesos no autorizados.
- Lenguajes de programación mediante las normas IEC.
- Programación por medio de diagrama de bloques de funciones.
- Perfecta integración entre controlador, HMI y sus accionamientos.
- Fácil configuración de dispositivos (hardware) asociados a una red.
- Funciones online para visualización en tiempo real del estado actual del programa.

❖ Entorno de programación – Main.

Una vez realizado la configuración del proyecto, los parámetros de hardware y la comunicación Ethernet entre ambos dispositivos, se procede a realizar la creación del programa para el controlador lógico programable.

Dentro de la carpeta del PLC aparece el bloque de programación donde se diseña la lógica de control empleando las áreas de trabajo y las instrucciones o herramientas necesarias para desarrollar la programación (Ver **Figura 19-2**).

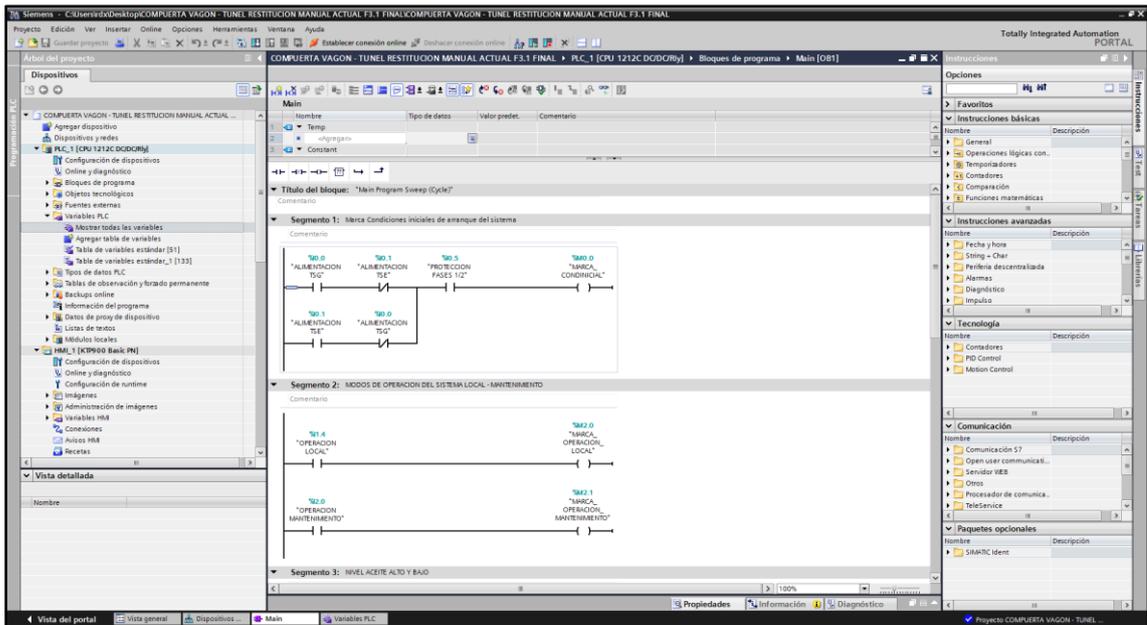


Figura 19-2: Entorno de programación PLC STEP 7. TIA PORTAL V13.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

Para ello el lenguaje utilizado para la programación en nuestro autómat programable es el lenguaje “LADDER” o también conocido como lenguaje de contactos o escalera. El lenguaje LADDER es el más popular para programación de PLC’s ya que está basado en la lógica de control convencional por contactores y se mantiene las reglas de conmutación en los circuitos; además de encontrarse presente en la mayoría de aplicaciones de circuitos eléctricos industriales.

Además de la programación en LADDER, también se desarrolló una programación estructurada por medio en bloques de funciones; ya que estas estructuras facilitan de cierta manera el manejo ordenado de las diferentes etapas de operación en la compuerta (**Figura 20-2**).

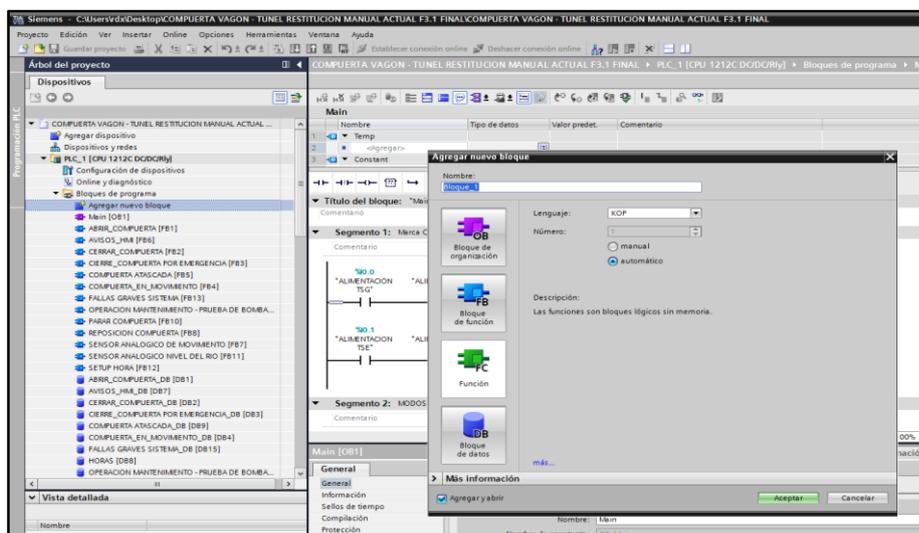


Figura 20-2: Bloque de programación. TIA PORTAL V13.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

En la **Figura 21-2** se describe la simbología LADDER utilizada para el desarrollo de la programación en el PLC.

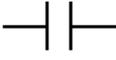
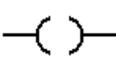
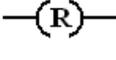
Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa, esto es, una entrada (para captar información del proceso a controlar), una variable interna o un bit de sistema.
	Contacto NC	Su función es similar al contacto NA anterior, pero en este caso se activa cuando hay un cero lógico, cosa que deberá de tenerse muy en cuenta a la hora de su utilización.
	Bobina NA	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un uno lógico. Su activación equivale a decir que tiene un uno lógico. Suele representar elementos de salida, aunque a veces puede hacer el papel de variable interna.
	Bobina NC	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un cero lógico. Su activación equivale a decir que tiene un cero lógico. Su comportamiento es complementario al de la bobina NA.
	Bobina SET	Una vez activa (puesta a 1) no se puede desactivar (puesta a 0) si no es por su correspondiente bobina en RESET. Sirve para memorizar bits y usada junto con la bina RESET dan una enorme potencia en la programación.
	Bobina SET	Permite desactivar una bobina SET previamente activada.

Figura 21-2: Simbología LADDER para PLC SIEMENS.

Fuente: <http://movimientomecatronica.blogspot.com/2013/11/lenguajes-de-programacion-de-plcs.html>

❖ Creación de variables del PLC

Para cada señal de entrada, salida, o marca interna se le debe asignar un tipo de variable propia. Existen variables de tipo booleano, real, byte, Word, doble Word, etc. que serán manejadas según sea la lógica de control a desarrollarse y con nombre identificador diferente para evitar ambigüedades dentro de la secuencia lógica del programa.

Como se puede apreciar en la **Figura 22-2**, en la misma carpeta del hardware PLC, aparece una subcarpeta denominada “Variables PLC” en la cual se detalla cada una de las variables que estarán inmersas en el proceso y el tipo de variable que le corresponde.

- **Nombre:** Identificador que se dará para la variable de control.
- **Tipo de dato:** Que puede ser booleano, entero, real, Word, etc. dependiendo de la variable de control.
- **Dirección:** Dirección del PLC para cada una de las variables de control que puede ser:

- ✓ Entradas (%I)
- ✓ Salidas (%Q)
- ✓ Memorias internas del PLC (%M)

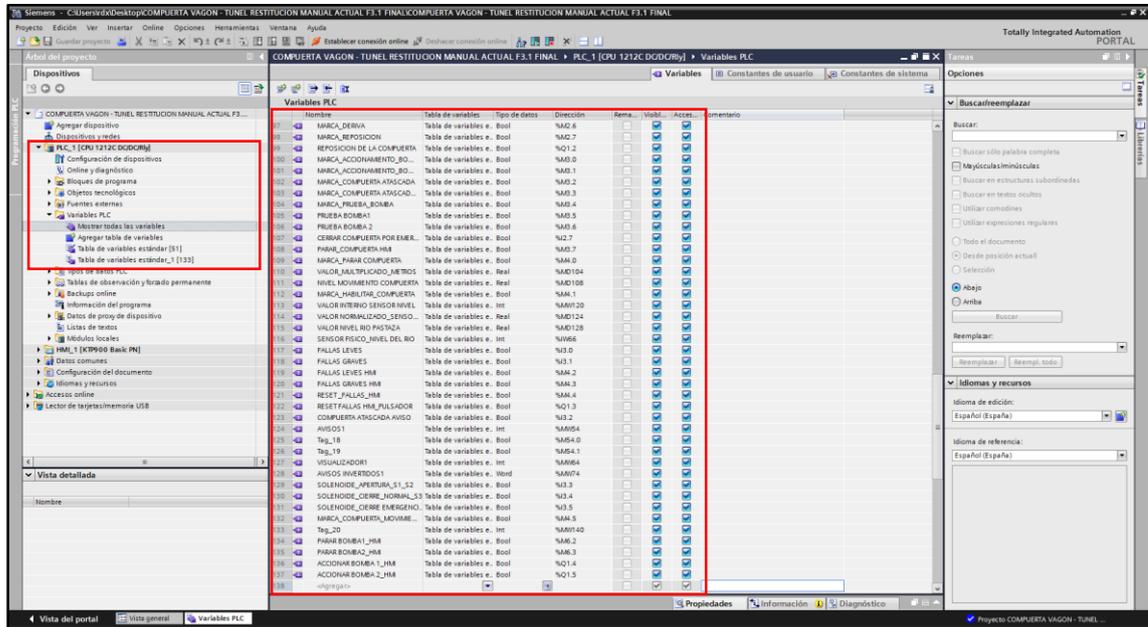


Figura 22-2: Tabla de variables del PLC. TIA PORTAL V13.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

Entradas digitales

A continuación en la **Tabla 11-2** se detalla las variables de entradas que se conectarán al PLC proveniente de los sensores inductivos, presostatos y niveles de aceite como también su respectiva dirección que se le asignará en la programación en el software STEP 7.

Tabla 11-2: Variables de entrada al PLC S7-1200.

No.	ASIGNACION	DIRECCION
1	ALIMENTACIÓN DESDE TSG	%I0.0
2	ALIMENTACIÓN DESDE TSE	%I0.1
3	RESET DE FALLAS	%I0.2
4	BOMBA 1 OPERANDO	%I0.3
5	BOMBA 2 OPERANDO	%I0.4
6	FALTA DE TENSIÓN 480VAC	%I0.5
7	BAJA PRESIÓN UNIDAD HIDRAULICA	%I0.6
8	ALTA PRESIÓN UNIDAD HIDRAULICA	%I0.7
9	NIVEL ALTO DE ACEITE EN LA UNIDAD HIDRAULICA	%I1.0
10	NIVEL BAJO DE ACEITE EN LA UNIDAD HIDRAULICA	%I1.1
11	SOBRECARGA EN EL MOTOR 1	%I1.2
12	SOBRECARGA EN EL MOTOR 2	%I1.3
13	MODO OPERACIÓN LOCAL	%I1.4
14	PULSADOR PARAR COMPUERTA	%I1.5

15	PULSADOR CERRAR COMPUERTA	%I1.6
16	PULSADOR ABRIR COMPUERTA	%I1.7
17	MODO OPERACIÓN MANTENIMIENTO	%I2.0
18	FINAL DE CARRERA COMPUERTA TOTALMENTE ABIERTA	%I2.1
19	FINAL DE CARRERA COMPUERTA TOTALMENTE CERRADA	%I2.2
20	ECUALIZACIÓN DE LA PRESIÓN	%I2.3
21	FINAL DE CARRERA REPOSICIÓN 1 PUNTO	%I2.4
22	FINAL DE CARRERA REPOSICIÓN 2 PUNTO	%I2.5
23	FINAL DE CARRERA COMPUERTA A LA DERIVA	%I2.6
24	PULSADOR CERRAR COMPUERTA POR EMERGENCIA	%I2.7

Realizado por: Villacrés M. 2017.

Entrada analógica

En la **Tabla 12-2** se observa la dirección que se le asignó a la entrada analógica del PLC proveniente de la conexión entre el sensor de posición y del transductor ABB debido a que el CPU 1212C dispone de 2 entradas analógicas de voltaje para un rango de 0 – 10 [V].

Tabla 12-2: Entrada analógica al PLC S7-1200.

No.	ASIGNACION	DIRECCION
1	SENSOR ANALOGICO POSICION	%IW64

Realizado por: Villacrés M. 2017.

Salidas digitales

En la **Tabla 13-2** se observa el envío de las salidas digitales provenientes del PLC para el control de los actuadores en la compuerta de restitución como el caso del arranque / paro de los motores en vacío, control de las válvula direcciones, solenoides en la unidad hidráulica y el movimiento del cilindro hidráulico.

Tabla 13-2: Salidas digitales desde el PLC S7-1200.

No.	NOMBRE VARIABLE	DIRECCION
1	ACCIONAR BOMBA 1	%Q0.0
2	ACCIONAR BOMBA 2	%Q0.1
3	ABRIR COMPUERTA	%Q0.2
4	CERRAR COMPUERTA POR EMERGENCIA	%Q0.3

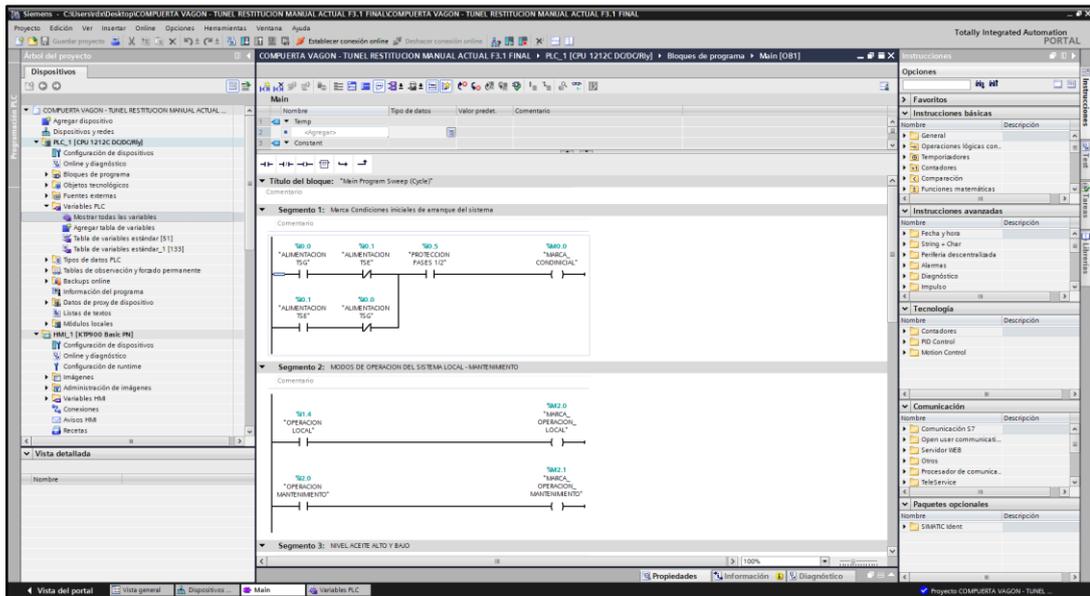


Figura 24-2: Programación LADDER PLC. TIA PORTAL V13.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

La programación LADDER completa se encuentra detallado en el **ANEXO E**.

2.5.6.3. Programación panel de control HMI

La programación de la pantalla táctil HMI KTP- 900 se puede realizar desde el programa WinCC Basic incluido dentro del software integrado del TIA PORTAL, se procede a abrir el bloque de programación del HMI ubicado en el árbol de proyecto como se puede observar en la **Figura 25-2**.

La interfaz del WinCC permite visualizar:

- ✓ El área de programación en el centro.
- ✓ El área de Herramientas a la derecha.
- ✓ El área dónde se visualizarán las propiedades de las botoneras e imágenes agregadas en la parte inferior.

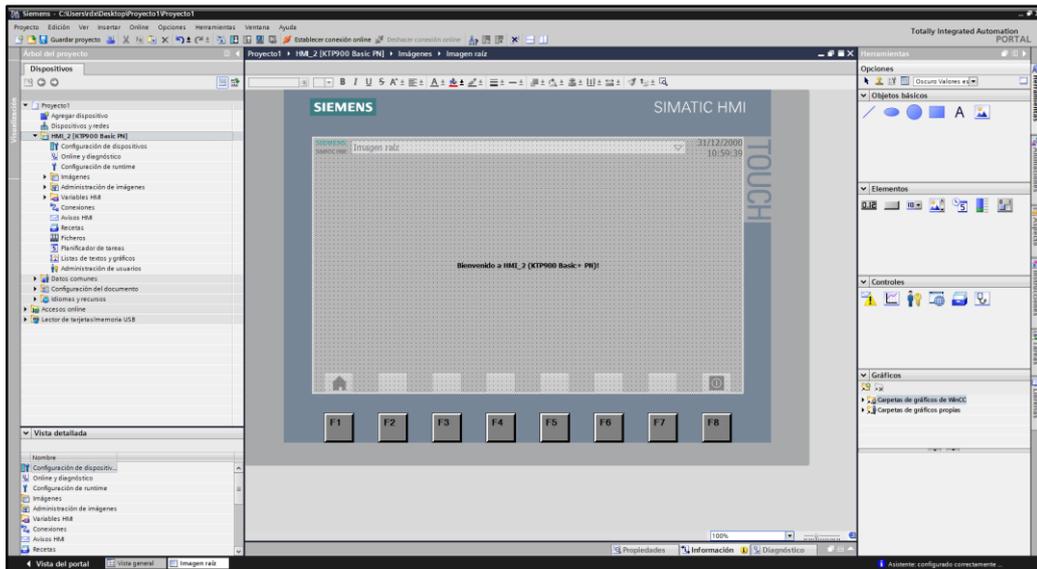


Figura 25-2: Entorno programación HMI WinCC. TIA PORTAL V13.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

Para realizar la programación del HMI, los elementos de programación se encuentran en la pestaña de “Herramientas” donde se encuentran “Objetos” que pueden cambiar su color de relleno según el estado (on-off) de una salida o una entrada digital o de una variable interna (marca), y pueden funcionar como leds indicadores.

Además se encuentra “Elementos” como botones, switch, barra de nivel, etc. para la activación o desactivación de variables internas que pueden funcionar como interruptores. Los gráficos se los puede seleccionar y arrastrar hacia el área de trabajo o programación y asignarles efectos de movimiento, o de visualización enlazados a una determinada variable (**Figura 26-2**).

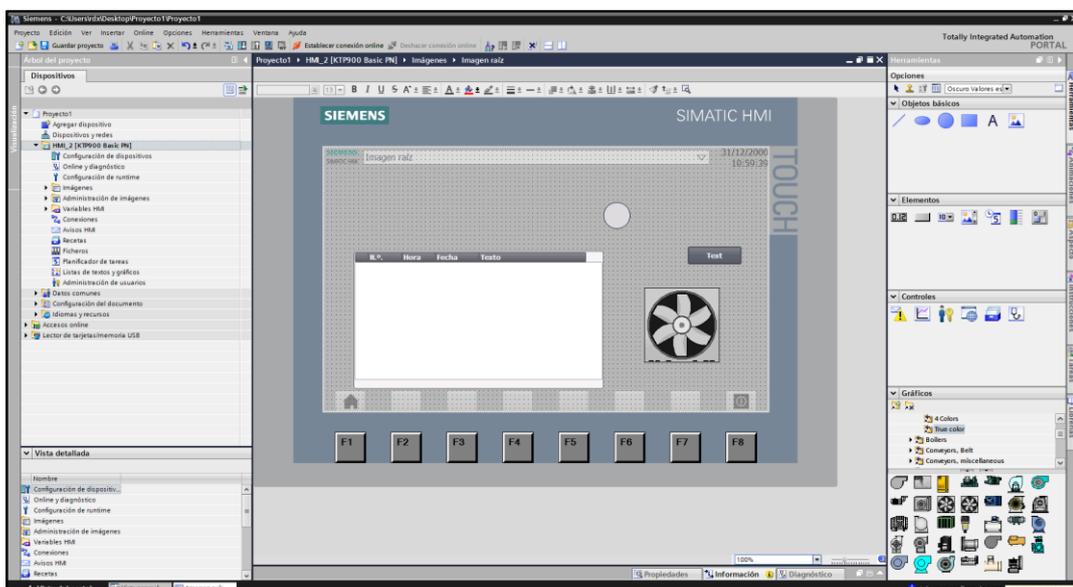


Figura 26-2: Elementos de programación WinCC. TIA PORTAL V13.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

Las pantallas realizadas con la nueva interfaz Humano – Máquina para el control, supervisión y monitoreo en tiempo real de la compuerta hidráulica de restitución se encuentran detalladas en el CAPÍTULO III.

2.6. Análisis económico para la empresa.

En este apartado se determina si el proyecto sobre el nuevo diseño del sistema de control para la compuerta de restitución va a ser rentable para la Central Hidroeléctrica “San Francisco” de modo que genere un costo/beneficio, retorno de la inversión realizada y un ahorro de recursos sobre el sistema implementado en cuestión de mantenimientos programados por la Central. Los beneficios que genera dicho proyecto son:

- Un sistema de control confiable, seguro y de fácil operación y monitoreo para los supervisores y usuarios finales de la Central Hidroeléctrica “San Francisco”.
- La realización del proyecto con una inversión no tan representativa a diferencia de empresas contratistas externas, mediante equipos, dispositivos eléctricos y electrónicos disponibles en bodega en la propia Central.
- Garantizar un sistema libre de fallas, de simple mantenimiento y software totalmente propio de la Central para proyectos a futuro.

2.6.1. Presupuesto del proyecto.

Para garantizar los beneficios del diseño e instalación del nuevo sistema de control para la compuerta de restitución antes mencionados, es necesario la realización de un presupuesto inicial, para ello se debe tener en consideración la inversión necesaria para llevar a cabo dicho proyecto y saber su rentabilidad que provocará en la Central.

En la **Tabla 14-2** se muestra la cotización por parte de una empresa contratista externa para el mantenimiento y sustitución de equipos en base a los requerimientos de la Central Hidroeléctrica “San Francisco” para la compuerta de restitución referente a la parte de hardware, software, dispositivos eléctricos-electrónicos, mano de obra, etc.

Tabla 14-2: Cotización por parte de una empresa contratista.

COTIZACION DEL PROYECTO EMPRESA CONTRATISTA			
CANT.	UNI.	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	U	PLC SIPLUS S7-1200 marca SIEMENS modelo CPU 1212C DC/DC/RLY.	833,45
1	U	Módulo de ampliación S/M SIEMENS SM1223 DC/DC	250,00
1	U	Pantalla Touch marca SIEMENS modelo KTP-900, 9 pulgadas para programación del HMI.	2306,43
1	U	Fuente de voltaje 12 VDC marca SIEMENS modelo PM1207.	145,83
1	U	Transductor de señales marca ABB modelo ETI-50	120,00
2	U	Relés ABB de 24 VDC	50,00
100	M	Cable conductor de cobre 18 AWG	50,00
1	U	Cable programación SIMATIC SIEMENS	5,00
1	U	SIMATIC WINCC COMFORT V13 TIA PORTAL	145,83
1	U	SIMATIC STEP 7 PROFESSIONAL V13 TIA PORTAL	4.206,42
1	U	Indicador digital de posición SIEMENS SITRANS RD200	150,00
1	U	Mano de obra implementación, programación, pruebas operativas	8.000,00
TOTAL			16.262,96

Realizado por: Villacrés M. 2017.

CAPÍTULO III

3. Análisis y Resultados.

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realizará los análisis pertinentes a las condiciones actuales del sistema en la compuerta de restitución previo al desarrollo e instalación del nuevo sistema de control; para lo cual se detalla el comportamiento actual de la compuerta referente a su parte electrónica, su monitoreo y el control del mismo.

Se ejecutará las respectivas pruebas al nuevo sistema de control a través del software simulador de SIEMENS y tablero de pruebas implementado en el laboratorio del taller electrónico para su posterior implementación final en el túnel de restitución. Para lo cual se obtendrán del mismo los resultados finales de puesta en marcha del sistema en cada etapa de carrera de la compuerta, su monitoreo - supervisión en el HMI y análisis económico de factibilidad del proyecto desarrollado para la Central hidroeléctrica “San Francisco”.

3.1. Interfaz Humano - Máquina.

La Interfaz Humano Máquina (HMI) se desarrolló mediante el programa WINCC BASIC incluido en el software TIA PORTAL V13. La interfaz está conformado por pantallas para una supervisión y monitoreo en tiempo real del estado de operación de la compuerta.

Para ello se programaron las siguientes pantallas en el Touch panel SIMATIC KTP-900 propio de la marca SIEMENS para una mejor supervisión y monitorización completa del sistema de compuerta hidráulica, basado en el Standard ISA 101:

- ❖ Pantalla principal Movimiento y operación compuerta de restitución.
- ❖ Pantalla Unidad hidráulica.
- ❖ Pantalla Estado de la compuerta.
- ❖ Pantalla Gráfica movimiento de la compuerta – Nivel rio Pastaza.
- ❖ Pantalla Diagrama unifilar.

- ❖ Pantalla Configuraciones (SETUP)
- ❖ Pantalla Configuración de horas y fechas.
- ❖ Pantalla Gestión de usuarios.
- ❖ Pantalla Historial, avisos y eventos.
- ❖ Pantalla Información.

3.1.1. Pantalla principal del movimiento y operación de compuerta de restitución.

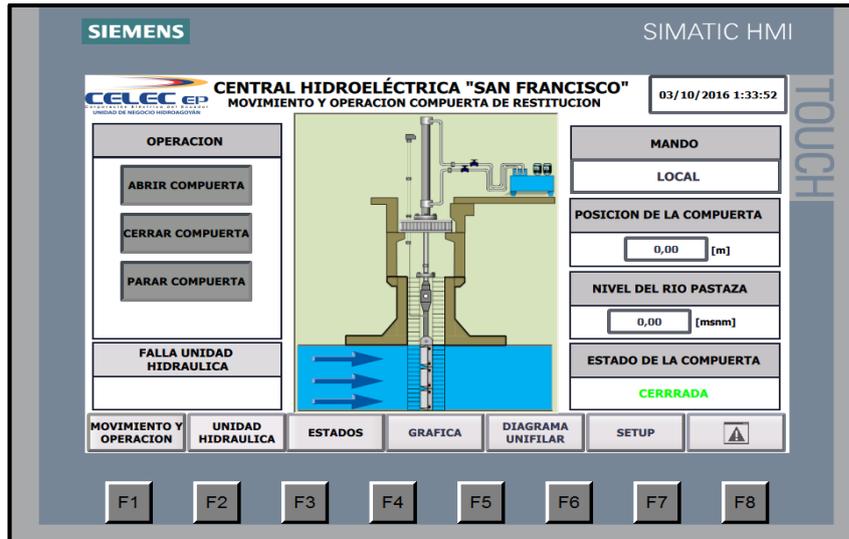


Figura 1-3: Pantalla principal.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

La pantalla de la **Figura 1-3** muestra el estado y posición actual de la compuerta, el modo de operación que se encuentra el sistema, fallas que se presentan en la unidad hidráulica y operar la compuerta en modo LOCAL.

- **Mando o modo de operación:** Muestra el modo de operación del sistema: Local o Mantenimiento.
- **Posición de la compuerta:** Muestra la posición en metros que se encuentra la compuerta.
- **Nivel del río Pastaza:** Como su nombre lo indica, muestra el nivel del río proveniente del sensor analógico.
- **Estado de la compuerta:** Muestra si la compuerta se encuentra en la posición de: Abierta, Cerrada, Parada, En movimiento y Atascada.

- **Operación en la compuerta:** Son los botones programados para operar la compuerta desde el Touch panel. Se visualizará un mensaje en caso de que la compuerta se cierre por emergencia.
- **Falla unidad hidráulica:** Se visualiza la falla que se presenta en el sistema: Falla leve o Falla grave.
- **Compuerta hidráulica:** Muestra gráficamente el estado actual y la animación del movimiento de la compuerta en su apertura o cierre en tiempo real.

3.1.2. Pantalla unidad hidráulica.

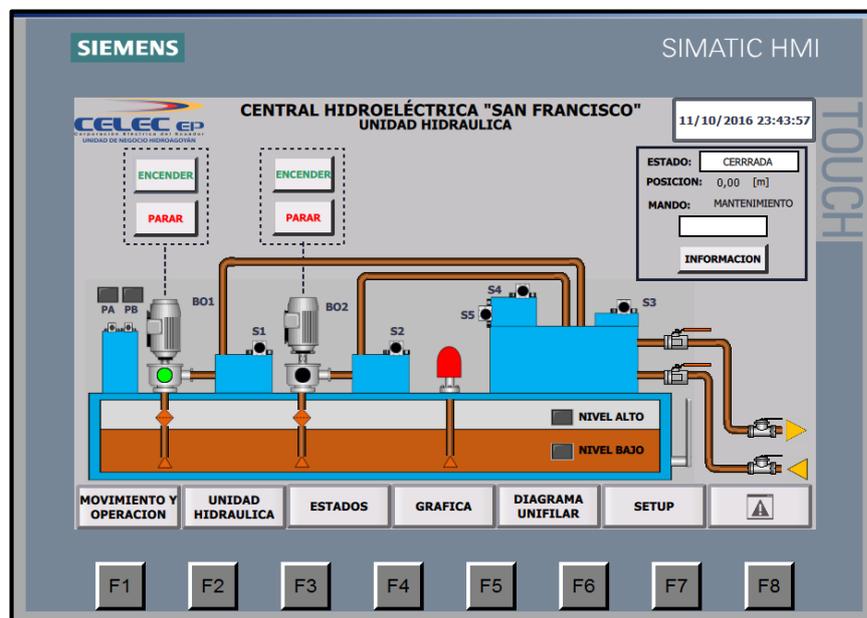


Figura 2-3: Pantalla unidad hidráulica.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

La pantalla de la **Figura 2-3** muestra el estado de encendido o apagado de las bombas, válvulas solenoides, alarmas de los sensores de nivel de aceite como también de los presostatos que forman parte de la unidad hidráulica.

Además permite energizar las bombas (en vacío) cuando se opera en el modo MANTENIMIENTO (prueba de bombas).

- **Indicadores de nivel:** Indican el nivel de aceite, alto o bajo según sea el caso.

- **Indicadores estado presostatos:** Se muestra el estado de los presostatos, alto o bajo según sea el caso.
- **Indicadores bomba 1 y 2:** Se visualiza el estado on / off de las bombas 1 y 2 ya sea en modo LOCAL o MANTENIMIENTO.
- **Indicadores estados válvulas solenoides:** Se visualiza el estado on / off de las válvulas solenoides en apertura (S1 y S2), cierre normal (S3) y cierre por emergencia (S4 y S5) en el modo de operación LOCAL.
- **Prueba de bombas:** A través de los botones programados en el HMI se puede energizar o desenergizar las bombas en vacío únicamente cuando está en modo MANTENIMIENTO.
- **Botón encender:** Botón que energiza las bombas en mando MANTENIMIENTO.
- **Botón apagar:** Botón que desenergizará las bombas en mando MANTENIMIENTO.

3.1.3. Pantalla estados de la compuerta.

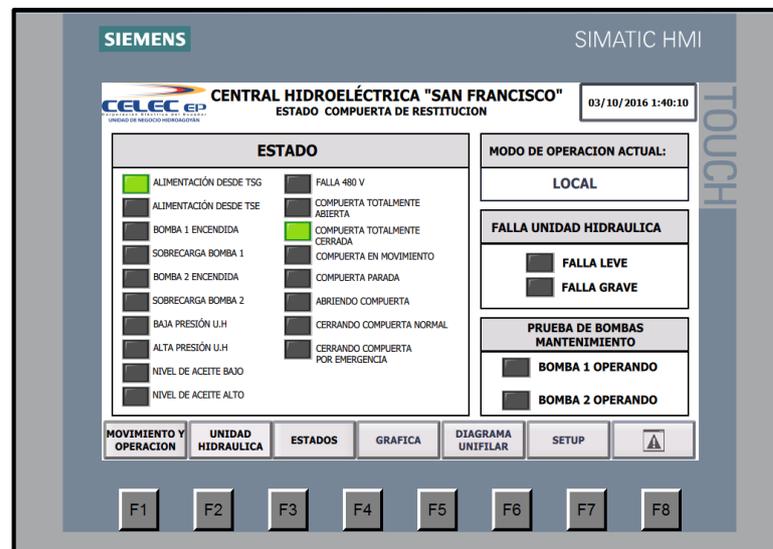


Figura 3-3: Pantalla estados de la compuerta de restitución.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

Como se observa en la **Figura 3-3** se visualiza en la pantalla un resumen de los cambios de estados de cada una de las variables que inciden en la operación de la compuerta; estado de los sensores,

presostatos, estados de las bombas, fallas de tensión, operación de la compuerta, etc. en tiempo real.

3.1.4. Pantalla gráfica sensores de movimiento y nivel del río Pastaza

La pantalla de la **Figura 4-3** nos muestra la fecha, hora, gráfica y los valores en tiempo real de los datos obtenidos por parte de los sensores analógicos de movimiento y nivel de río Pastaza.

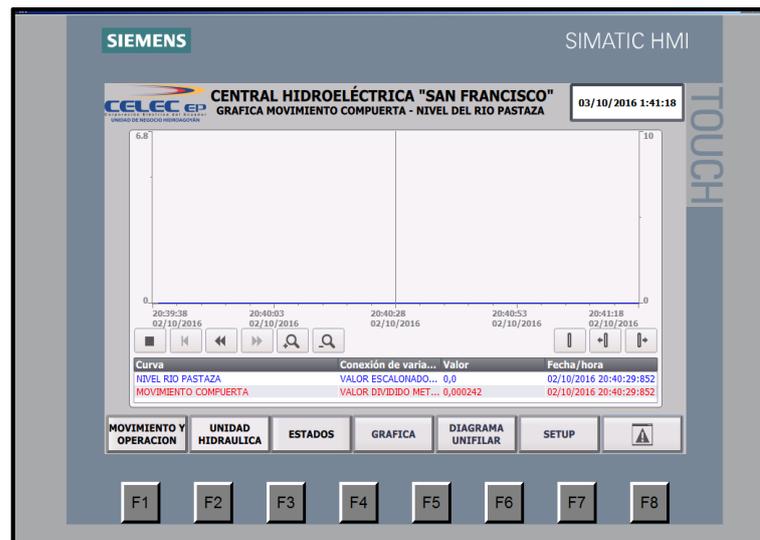


Figura 4-3: Pantalla gráficas sensores analógicos.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

- **Fecha/ Hora:** Indica fecha y hora del sistema.
- **Entorno de las gráficas:** Se muestra en la pantalla la gráfica de las señales proveniente de los sensores analógicos.
- **Cuadro informativo:** Nos indica el nombre de la curva, la variable PLC que se encuentra ligada, valor real medido y la fecha/hora del registro de los datos.

3.1.5. Pantalla diagrama unifilar.

En la pantalla de la **Figura 5-3** nos muestra la nomenclatura, funcionamiento y el cambio de estado de los contactores, relés, disyuntores y de los actuadores que forman parte de la etapa de potencia del sistema.

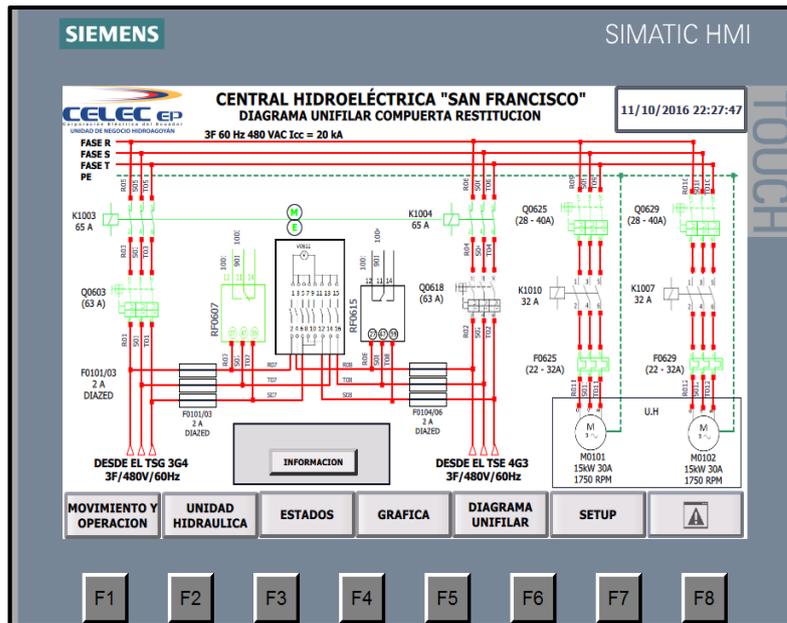


Figura 5-3: Pantalla diagrama unifilar compuerta de restitución.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

- **Botón de información:** Botón que permite acceder a la pantalla de información sobre la nomenclatura utilizada en el proyecto como se observa en la **Figura 6-3**.

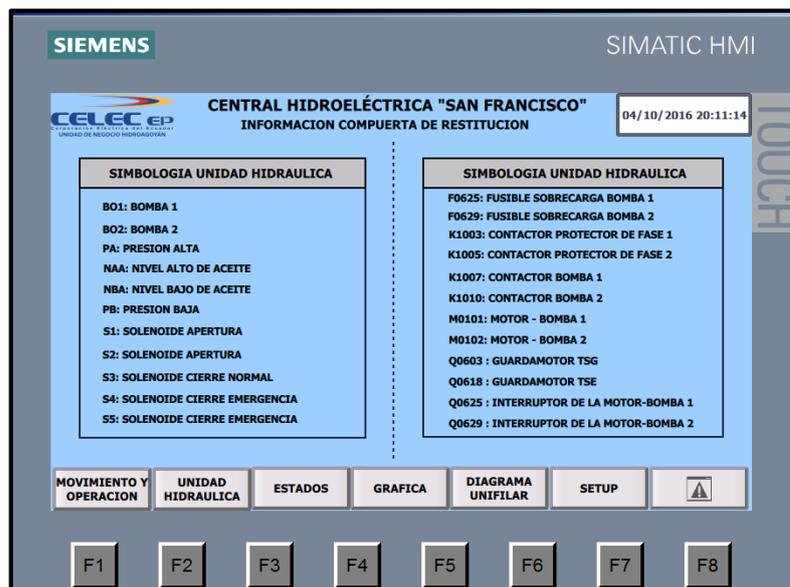


Figura 6-3: Pantalla información nomenclatura utilizada.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

3.1.6. Pantalla configuraciones (SETUP)

En la **Figura 7-3** se observa la pantalla de configuraciones donde se muestran los botones para el acceso a las siguientes pantallas:

- ❖ Pantalla de gestión de usuarios.
- ❖ Pantalla de configuración de fechas y horas.
- ❖ Pantalla de créditos del autor.



Figura 7-3: Pantalla menú de configuraciones.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

3.1.6.1. Pantalla de gestión de usuarios

Para acceder a la operación de la compuerta en modo LOCAL y realizar prueba de bombas en mando MANTENIMIENTO, fue necesario la creación de usuarios con sus respectivas contraseñas tal como se ve en la figura; con esto se evita el mal manejo del sistema por parte del personal no autorizado que desconoce el modo de funcionamiento de la compuerta de restitución.

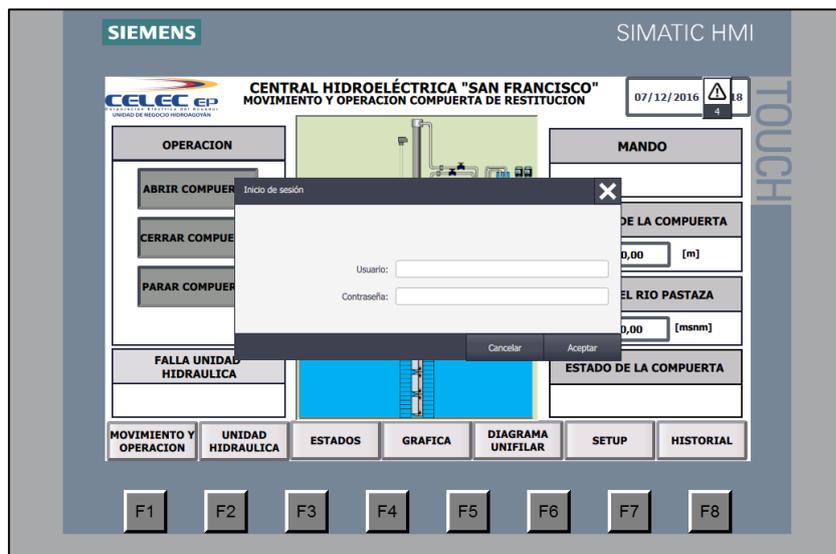


Figura 8-3: Pantalla inicio de sesión
Realizado por: Villacrés M. 2017.

También se puede acceder al inicio y cierre de sesión del sistema, dependiendo del orden jerárquico de la empresa, desde la pantalla GESTION DE USUARIOS como se puede observar en la **Figura 9-3**.

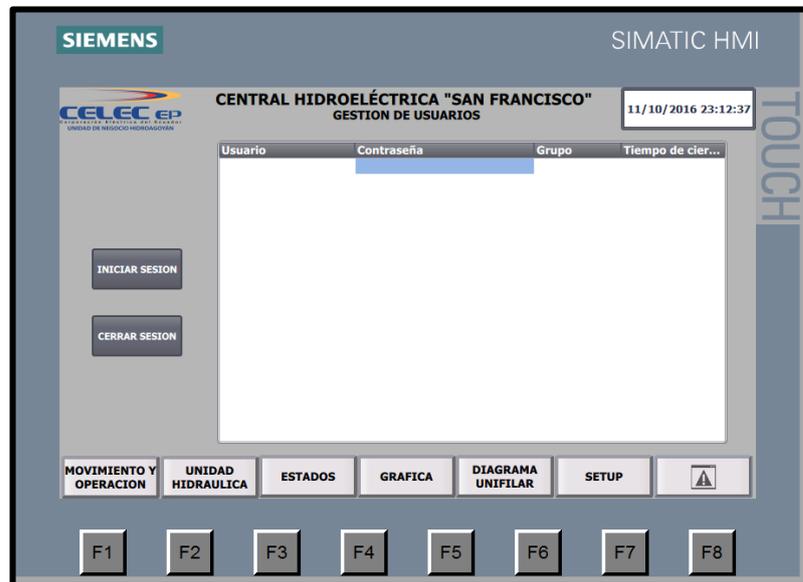


Figura 9-3: Pantalla gestión de usuarios.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

- **Cuadro de usuario y contraseña:** Se visualiza el usuario, la contraseña encriptada y tiempo de acceso, dependiendo del tipo de usuario, en el touch panel.
- **Botón de inicio de sesión:** Botón programado para el inicio de sesión, operación y monitorización del sistema.
- **Botón de cierre de sesión:** Botón programado para el cierre de sesión para el usuario.

3.1.6.2. Pantalla de configuración de fechas y horas.

Por medio de esta pantalla, nos permite configurar la fecha y hora del sistema para tener un control y monitorización más precisa en tiempo real como se puede observar en la **Figura 10-3**.

- **Visualización de la hora actual:** Campo de salida para la visualización de la hora actual del sistema predefinido por el usuario.

- **Campo de configuración:** Al hacer un “clic” sobre el recuadro aparece un cuadro de formato MM/DD/AA hh:mm:ss con teclado alfanumérico incorporado para poder modificar a una hora actual para el sistema.
- **Botón ESTABLECER HORA:** Botón programado para confirmar la hora predefinida por el usuario.

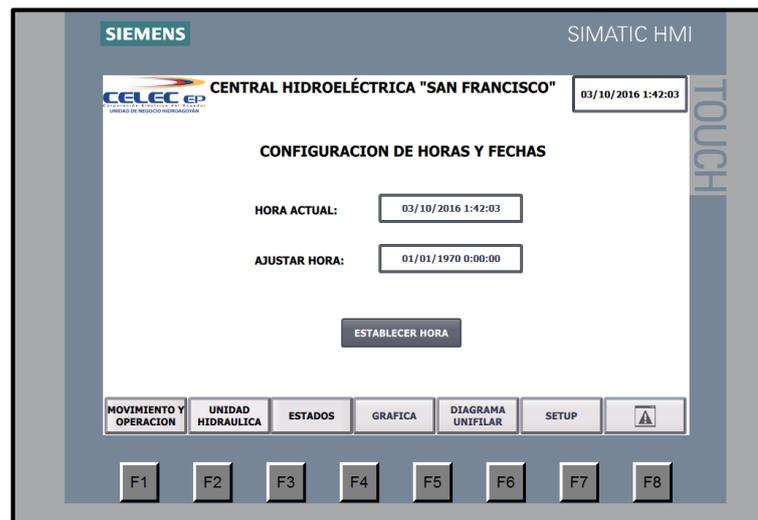


Figura 10-3: Pantalla configuración de fechas y horas.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

3.1.7. Pantalla de historial, alarmas y eventos.

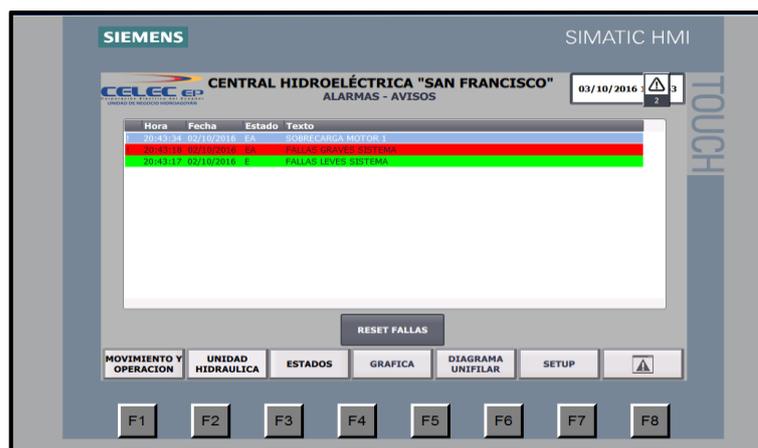


Figura 11-3: Pantalla de historial, avisos y eventos.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

En la **Figura 11-3** se muestra la pantalla de historial, avisos y eventos generado por las fallas graves y fallas leves que se puede presentar en el sistema de compuerta de restitución en tiempo real.

- **Historial:** Se muestra las alarmas con numeración presentes en el sistema. Junto con la hora en tiempo real, el tipo de alarma y el estado, lo cual nos permite identificar el problema y solucionarlo.
- **Contador y reset:** Muestra el contador de alarmas presente y el botón que permite eliminar las alarmas que se encuentran desactivadas del sistema.

3.2. Pruebas realizadas al nuevo sistema de control

3.2.1. Simulación del sistema.

A continuación se detallan los equipos y los programas utilizados para la simulación del sistema de compuerta hidráulica de restitución.

- ❖ PLC marca SIEMENS S7 – 1200 CPU 1212C DC/DC/RLY.
- ❖ Touch panel marca SIEMENS KTP-900 BASICPC portátil con sistema operativo WINDOWS 7 Professional. Se instaló el software para la programación del PLC el STEP 7 Basic, y el software para HMI el WINCC Basic incluidos en el paquete TIA PORTAL V13 Basic.
- ❖ Cable ETHERNET para la comunicaron PLC, HMI – computador.
- ❖ Tablero de prueba conformado por switches de dos estados para simular las entradas al PLC.
- ❖ Software PLCSIM V13 instalado en el computador.

3.2.2. Software PLCSIM V13

El simulador PLCSIM V13 de SIEMENS permite simular el comportamiento real de un PLC físico como de sus entradas. Salidas digitales y analógicas para el caso únicamente de los modelos S7-1200 y S7-1500 con Firmware superiores al 4.0.

Posterior a su programación y su simulación en software, se procedió a la realización de un tablero de pruebas para verificar su programación e interfaz PLC – HMI por medio de elementos físicos para acercarse más a la realidad del comportamiento de la compuerta hidráulica.

En la **Figura 12-3** se puede observar el entorno del software PLCSIM V13 y su monitorización de la programación y PLC en tiempo real.

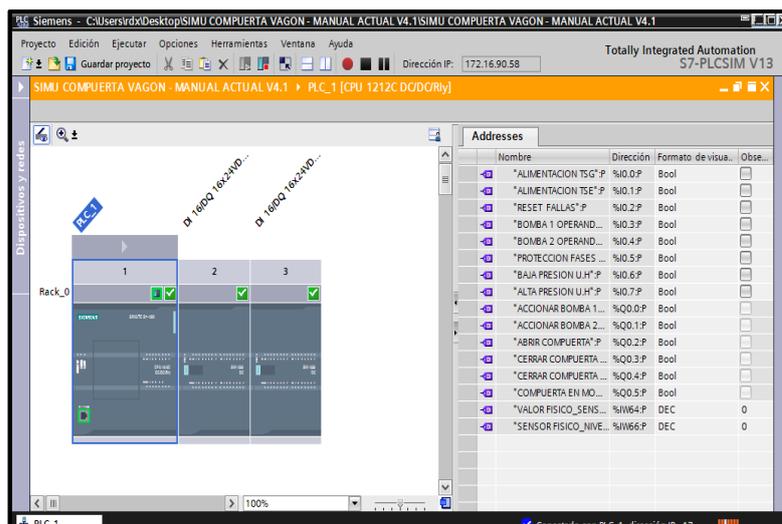


Figura 12-3: Entorno software PLCSIM V13 SP1.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

3.2.3. Tablero de pruebas

El objetivo de un tablero de pruebas es realizar la simulación, lo más cercano posible, a la realidad del comportamiento del PLC – HMI en el sistema de control de la compuerta de restitución. En él se instaló dispositivos eléctricos que simulen las entradas digitales, salidas digitales y la entrada analógica como se puede observar en la **Figura 13-3**.

- **Entradas digitales**

Interruptores: Simula las señales de entrada al PLC como son las alarmas del sistema, modo de operación y cambio de estado de los sensores finales carrera. Actúa sobre el PLC enviando 24 VCC como señal de estado ‘1’ presente y 0 VCC como señal ausente ‘0’.

- **Entrada analógica**

Calibrador de procesos: A través de un calibrador de procesos marca FLUKE modelo 743B permite simular la variación de voltaje entre 0 – 10 VCC de la misma forma que actúa los sensores analógicos de posición en conjunto con el transductor ABB.

- **Salidas digitales**

Luces piloto: Simula las señales de salida de 24 VDC provenientes del PLC para la visualización de los estados de las bombas tanto en modo local como en mantenimiento, estados de la compuerta

(abierto, cerrado, parada, atascada) y las acción de reposición y cierre de emergencia provocados por fallas graves en el sistema.

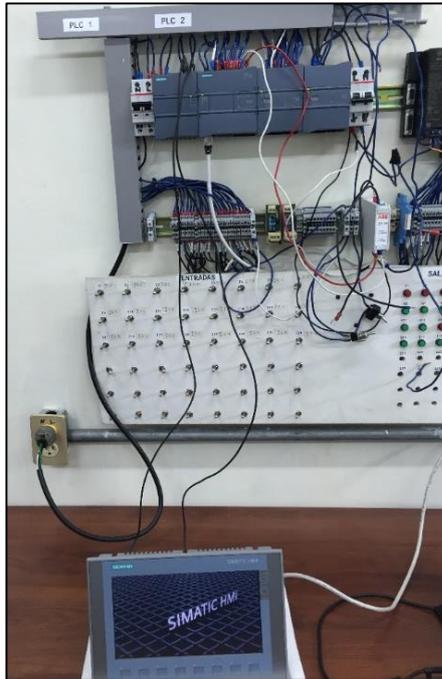


Figura 13-3: Tablero de pruebas.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

3.3. Análisis del nuevo sistema de control de la compuerta hidráulica

3.3.1. Sistema electrónico

Posterior de haberse llevado a cabo la instalación del nuevo sistema de control para la compuerta de restitución, este posee nuevos cambios referente a la instalación de nuevos dispositivos eléctricos de control para los actuadores (relés, contactores), un nuevo indicador digital de posición SITRANS RD200 de la marca SIEMENS, un transductor de señales ETI-50 de la marca ABB para el acondicionamiento de la señal analógica proveniente del sensor de posición hacia la entrada analógica del PLC SIEMENS, todos estos dispositivos se encuentran instalados en el tablero de control ubicado en el túnel de restitución como se puede observar en la **Figura 14-3**.

Todo este nuevo sistema estará controlado como se puede observar en la **Figura 15-3** por medio de un PLC de la marca SIEMENS modelo S7-1200 CPU 1212C DC/DC/RLY mediante su programación desarrollada y compilada como quedó demostrado en el capítulo anterior, con el objetivo de garantizar un correcto funcionamiento en lo referente al proceso de apertura y cierre de la compuerta hidráulica.

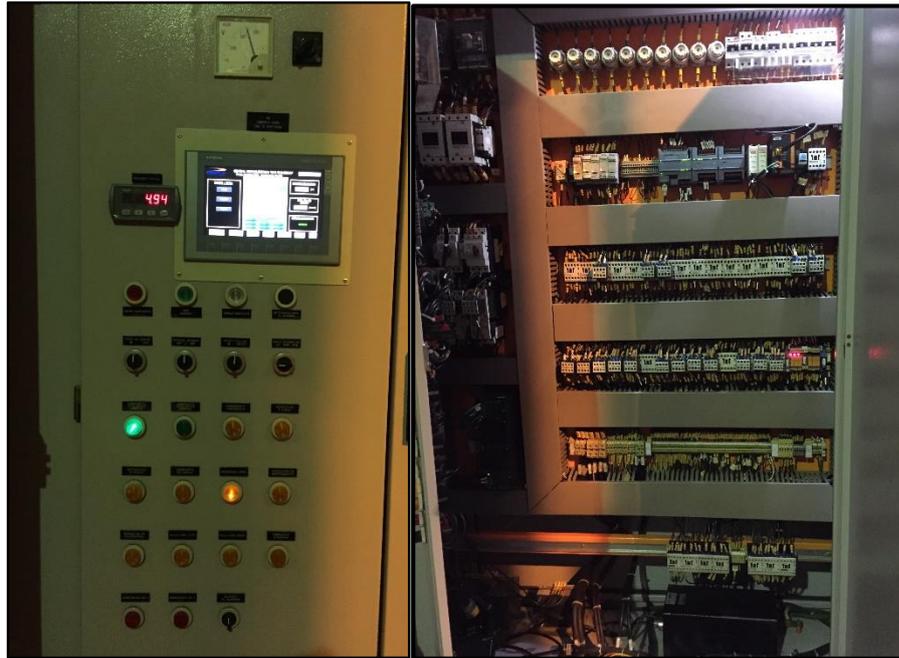


Figura 14-3: Tablero de control compuerta de restitución interior y exterior.
Realizado por: Villacrés M. 2017.



Figura 15-3: PLC instalado para el nuevo sistema de control.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

3.3.2. Sistema de monitoreo y supervisión.

Para que la monitorización y supervisión de la compuerta de restitución sea más dinámica, en tiempo real, visual y comprensible para el operador, se instaló una nueva pantalla touch de la marca SIEMENS modelo KTP900 y se programó el respectivo HMI en el cual cada una de las pantalla se visualiza el estado actual de la compuerta, estado de la unidad hidráulica, las fallas - avisos existentes en el sistema, como se describió en apartado Desarrollo software HMI en el capítulo anterior. En la **Figura 16-3** se muestra la instalación de la pantalla touch en el tablero de control en el túnel de restitución.



Figura 16-3: Pantalla touch SIEMENS instalado en el tablero de control.
Realizado por: Villacrés M. 2017.

3.4. Pruebas y resultados del sistema de control instalado en el tablero de mando

Para determinar si el sistema de control desarrollado para la compuerta hidráulica cumple con los requerimientos establecidos para este proyecto, se desarrolló varias pruebas en modo local y pruebas en modo mantenimiento para el simulador como también para el tablero de control instalado en el túnel de restitución y el estado de los elementos de control como son sensores y actuadores.

3.4.1. Pruebas en modo local.

3.4.1.1. Prueba No. 1: Arranque de bombas 1 y 2 – Abrir compuerta.

Como se puede observar en la **Tabla 1-3** activando las señales de entrada digital PULSADOR ABRIR COMPUERTA desde el TABLERO DE PRUEBAS y de CONTROL al PLC, o la señal ABRIR COMPUERTA en el HMI, el grupo moto-bomba se energizan, empieza la carrera de apertura de la compuerta y los indicadores de estado se activan.

Tabla 1-3: Prueba: Arranque de las bombas 1 y 2 – Abrir compuerta.

PRUEBA No.1 ARRANQUE DE LAS BOMBAS 1 Y 2 – ABRIR COMPUERTA		
PARÁMETROS DE INICIO:	MODO DE OPERACIÓN: Local	ESTADO DE LA COMPUERTA: Cerrada

		BOMBA 1: Apagado BOMBA 2: Apagado	FALLAS DEL SISTEMA: Ninguno
ACCIÓN	UBICACIÓN	RESULTADO EN TABLERO	RESULTADO EN HMI
Presionar el pulsador ABRIR COMPUERTA	Tablero de pruebas	Bombas B1 y B2 energizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			ESTADO DEL SISTEMA: Abriendo compuerta
	Indicador luz piloto ENCENDIDO bombas B1 y B2 energizados.	INDICADOR DE ESTADO B1: On	
	Indicador luz piloto ENCENDIDO compuerta.	INDICADOR DE ESTADO B2: On	
	Indicador luz piloto ENCENDIDO compuerta en movimiento.	INDICADOR DE ESTADO ABRIR COMPUERTA: On	
	Tablero de control		INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On
Presionar el pulsador programado ABRIR COMPUERTA	HMI	Bombas B1 y B2 energizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			ESTADO DEL SISTEMA: Abriendo compuerta
	Indicador luz piloto ENCENDIDO bombas B1 y B2 energizados.	INDICADOR DE ESTADO B1: On	
	Indicador luz piloto ENCENDIDO compuerta.	INDICADOR DE ESTADO B2: On	
	Indicador luz piloto ENCENDIDO compuerta en movimiento.	INDICADOR DE ESTADO ABRIR COMPUERTA: On	
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On
Se acciona el sensor de final de carrera COMPUERTA ABIERTA	Tablero de pruebas	Bombas B1 y B2 desenergizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			POSICIÓN COMPUERTA: 6.75 metros.
		ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta cerrada.	
	Tablero de control	Indicador luz piloto APAGADO en bombas B1 y B2 desenergizados.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off
			INDICADOR DE ESTADO B2: Off
			INDICADOR DE ESTADO ABRIR COMPUERTA: On
		Indicador luz piloto de ENCENDIDO en compuerta abierta.	INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: Off
		INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA CERRADA: Off.	

Realizado por: Villacrés M. 2017.

3.4.1.2. Prueba No. 2: Presencia de fallas graves en el sistema

Como se puede observar en la **Tabla 2-3**, cuando se activa las entradas digitales de las alarmas del sistema al PLC tales como:

- ❖ Nivel bajo de aceite.
- ❖ Presión alta en la unidad hidráulica.
- ❖ Presión baja en la unidad hidráulica.
- ❖ Falta de tensión 480 VAC.

Las bombas B1 y B2 que inicialmente se encuentran energizados se desenergizan en la etapa de apertura de la compuerta y en el HMI se presentan alarmas de FALLA GRAVE en el historial de eventos quedando la compuerta en estado de ATASCADA e imposibilitando su inicio/reinicio de la carrera hasta que no se solucione la falla que lo provocó.

Tabla 2-3: Prueba: Presencia de fallas graves en el sistema.

PRUEBA No.2: PRESENCIA DE FALLAS GRAVES EN EL SISTEMA.				
PARÁMETROS DE INICIO:		MODO DE OPERACIÓN: Local	ESTADO DE LA COMPUERTA: Cerrada/abierta/en movimiento	
		BOMBA 1: Apagado BOMBA 2: Apagado	FALLAS DEL SISTEMA: Presente	
ACCIÓN	UBICACIÓN	RESULTADO EN TABLERO	RESULTADO EN HMI	
Se activan las alarmas: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Nivel bajo de aceite. ✓ Presión alta en la unidad hidráulica. ✓ Presión baja en la unidad hidráulica. ✓ Falta de tensión 480 VAC. 	Tablero de pruebas	Bombas B1 y B2 desenergizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local	
				ESTADO DEL SISTEMA: Falla grave.
			Indicador luz piloto ENCENDIDO bombas B1 y B2 desenergizados.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off
			Indicador luz piloto ENCENDIDO nivel bajo de aceite	INDICADOR DE ESTADO B2: Off
		Tablero de control	Indicador luz piloto ENCENDIDO presión alta U.H.	INDICADOR DE ESTADO FALLA GRAVE: On
	Indicador luz piloto ENCENDIDO presión baja U.H.		INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA ATASCADA: On	
		Indicador luz piloto ENCENDIDO falta de tensión 480 VAC.		

Realizado por: Villacrés M. 2017.

3.4.1.3. Prueba No. 3: Cierre normal de la compuerta.

Como se puede observar en la **Tabla 3-3** activando la señal de entrada digital al PLC PULSADOR CERRAR COMPUERTA desde el TABLERO DE PRUEBAS y de CONTROL, o la señal CERRAR COMPUERTA en el HMI, empieza la carrera de cierre normal de la compuerta y los indicadores de estado se activan.

Tabla 3-3: Prueba: Cerrar compuerta normalmente.

PRUEBA No.3 CIERRE NORMAL DE LA COMPUERTA.			
PARÁMETROS DE INICIO:		MODO DE OPERACIÓN: Local	ESTADO DE LA COMPUERTA: Abierta
		BOMBA 1: Apagado BOMBA 2: Apagado	FALLAS DEL SISTEMA: Ninguno
ACCIÓN	UBICACIÓN	RESULTADO EN TABLERO	RESULTADO EN HMI
Presionar el pulsador CERRAR COMPUERTA	Tablero de pruebas	Bombas B1 y B2 desenergizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			ESTADO DEL SISTEMA: Cerrando la compuerta
	Tablero de control	Indicador luz piloto ENCENDIDO cerrar compuerta.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off
			INDICADOR DE ESTADO B2: Off
		Indicador luz piloto ENCENDIDO compuerta en movimiento.	INDICADOR DE ESTADO CERRAR COMPUERTA: On
		INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On	
Presionar el pulsador programado CERRAR COMPUERTA	HMI	Bombas B1 y B2 desenergizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			ESTADO DEL SISTEMA: Cerrando la compuerta
	HMI	Indicador luz piloto ENCENDIDO en cerrar compuerta.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off
			INDICADOR DE ESTADO B2: Off
		Indicador luz piloto ENCENDIDO compuerta en movimiento.	INDICADOR DE ESTADO CERRAR COMPUERTA: On
		INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On	
Se acciona el sensor de final de carrera	Tablero de pruebas	Bombas B1 y B2 desenergizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local POSICIÓN COMPUERTA: 0 metros.

COMPUERTA CERRADA	Tablero de control	Indicador luz piloto de ENCENDIDO en compuerta cerrada.	ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta cerrada.
			INDICADOR DE ESTADO B1: Off
			INDICADOR DE ESTADO B2: Off
			INDICADOR DE ESTADO ABRIR COMPUERTA: Off
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: Off
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA CERRADA: On.

Realizado por: Villacrés M. 2017.

3.4.1.4. Prueba No. 4: Parar compuerta en su carrera de apertura normal

Como se puede observar en la **Tabla 4-3** activando la señal de entrada digital al PLC PARAR COMPUERTA desde el TABLERO DE PRUEBAS y de CONTROL, o desde el HMI, se detiene la compuerta en la posición actual de su carrera de apertura y los indicadores de estado se activan.

Tabla 4-3: Prueba: Parar compuerta en su carrera de apertura normal.

PRUEBA No.4 PARAR COMPUERTA EN SU CARRERA DE APERTURA NORMAL.			
PARÁMETROS DE INICIO:		MODO DE OPERACIÓN: Local	ESTADO DE LA COMPUERTA: Apertura normal /en movimiento
		BOMBA 1: Encendido BOMBA 2: Encendido	FALLAS DEL SISTEMA: Ninguno
ACCIÓN	UBICACIÓN	RESULTADO EN TABLERO	RESULTADO EN HMI
Presionar el pulsador PARAR COMPUERTA	Tablero de pruebas	Bombas B1 y B2 desenergizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta parada.
			POSICIÓN COMPUERTA: Posición actual en el instando del paro de compuerta en metros.
	Tablero de control	Indicador luz piloto ENCENDIDO en compuerta parada. Indicador luz piloto ENCENDIDO compuerta en movimiento.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off
			INDICADOR DE ESTADO B2: Off
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA PARADA: On
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On

Presionar el pulsador programado PARAR COMPUERTA	HMI	Bombas B1 y B2 desenergizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			POSICIÓN COMPUERTA: Posición actual en el instando del paro de compuerta en metros.
		ESTADO DEL SISTEMA: Cerrando la compuerta	
	Indicador luz piloto ENCENDIDO en compuerta parada. Indicador luz piloto ENCENDIDO compuerta en movimiento.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off	
		INDICADOR DE ESTADO B2: Off	
		INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA PARADA: On	
INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On			
Presionar pulsador ABRIR COMPUERTA	Tablero de pruebas	Bombas B1 y B2 energizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			POSICIÓN COMPUERTA: Variable.
			ESTADO DEL SISTEMA: Abriendo compuerta. Compuerta en movimiento.
	Tablero de control	Indicador luz piloto de ENCENDIDO en abriendo compuerta.	INDICADOR DE ESTADO B1: On
		Indicador luz piloto de ENCENDIDO en compuerta en movimiento.	INDICADOR DE ESTADO B2: On
		Indicador luz piloto de ENCENDIDO en compuerta en movimiento.	INDICADOR DE ESTADO ABRIR COMPUERTA: On
		Indicador luz piloto APAGADO en compuerta parada.	INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On
		Indicador luz piloto APAGADO en compuerta parada.	INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA PARADA: Off.
Presionar el pulsador programado ABRIR COMPUERTA	HMI	Bombas B1 y B2 energizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			POSICIÓN COMPUERTA: Variable.
			ESTADO DEL SISTEMA: Abriendo compuerta. Compuerta en movimiento.
	Indicador luz piloto de ENCENDIDO en abriendo compuerta. Indicador luz piloto de ENCENDIDO en compuerta en movimiento.	INDICADOR DE ESTADO B1: On	
		INDICADOR DE ESTADO B2: On	
		INDICADOR DE ESTADO ABRIR COMPUERTA: On	
INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA PARADA: Off.			

		Indicador luz piloto APAGADO en compuerta parada.	INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On
--	--	---	--

Realizado por: Villacrés M. 2017.

3.4.1.5. Prueba No. 5: Parar compuerta en su carrera de apertura normal

Como se puede observar en la **Tabla 5-3** activando la señal de entrada digital al PLC PARAR COMPUERTA desde el TABLERO DE PRUEBAS y de CONTROL, o desde el HMI, se detiene la compuerta en la posición actual de su carrera de cierre normal y los indicadores de estado se activan.

Tabla 5-3: Prueba: Parar compuerta en su carrera de cierre normal.

PRUEBA No.5 PARAR COMPUERTA EN SU CARRERA DE CIERRE NORMAL.			
PARÁMETROS DE INICIO:		MODO DE OPERACIÓN: Local	ESTADO DE LA COMPUERTA: Cierre normal /En movimiento
		BOMBA 1: Apagado. BOMBA 2: Apagado.	FALLAS DEL SISTEMA: Ninguno
ACCIÓN	UBICACIÓN	RESULTADO EN TABLERO	RESULTADO EN HMI
Presionar el pulsador PARAR COMPUERTA	Tablero de pruebas	Bombas B1 y B2 desenergizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta parada.
	Tablero de control	Indicador luz piloto ENCENDIDO en compuerta parada.	POSICIÓN COMPUERTA: Posición actual en el instante del paro de compuerta en metros.
			INDICADOR DE ESTADO B1: Off
		Indicador luz piloto ENCENDIDO compuerta en movimiento.	INDICADOR DE ESTADO B2: Off
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA PARADA: On
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On
Presionar el pulsador programado PARAR COMPUERTA	HMI	Bombas B1 y B2 desenergizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			POSICIÓN COMPUERTA: Posición actual en el instante del paro de compuerta en metros.
			ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta parada.
			INDICADOR DE ESTADO B1: Off

		Indicador luz piloto ENCENDIDO en compuerta parada.	INDICADOR DE ESTADO B2: Off	
		Indicador luz piloto ENCENDIDO compuerta en movimiento.	INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA PARADA: On	
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On	
Presionar pulsador CERRAR COMPUERTA	Tablero de pruebas	Bombas B1 y B2 desenergizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local	
			POSICIÓN COMPUERTA: Variable.	
			ESTADO DEL SISTEMA: Cerrando compuerta. Compuerta en movimiento.	
	Tablero de control	Indicador luz piloto de ENCENDIDO en cerrando compuerta.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off	
			INDICADOR DE ESTADO B2: Off	
			INDICADOR DE ESTADO CERRAR COMPUERTA: On	
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On	
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA PARADA: Off.	
			Indicador luz piloto de ENCENDIDO en compuerta en movimiento.	
				Indicador luz piloto APAGADO en compuerta parada.
Presionar el pulsador programado CERRAR COMPUERTA	HMI	Bombas B1 y B2 energizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local	
			POSICIÓN COMPUERTA: Variable.	
			ESTADO DEL SISTEMA: Cerrando compuerta. Compuerta en movimiento.	
	Indicador luz piloto de ENCENDIDO en cerrando compuerta.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off		
		INDICADOR DE ESTADO B2: Off		
		INDICADOR DE ESTADO CERRAR COMPUERTA: On		
		INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA PARADA: Off.		
		INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On		
		Indicador luz piloto de ENCENDIDO en compuerta en movimiento.		
			Indicador luz piloto APAGADO en compuerta parada.	

Realizado por: Villacrés M. 2017.

3.4.1.6. Prueba No. 6: Reposición de la compuerta

La etapa de reposición de la compuerta se da cuando existen fugas internas de aceite en el cilindro hidráulico por ello, como se puede observar en la **Tabla 6-3**, activando la señal de entrada digital de los sensores inductivos al PLC F.C REPOSICION 1 PUNTO y REPOSICION 2 PUNTO desde el TABLERO DE PRUEBAS y de CONTROL, se energizan las bombas B1 y B2 hasta que la compuerta se encuentre en la posición final de compuerta abierta desenergizando las bombas y los indicadores de estado se activan.

Tabla 6-3: Prueba: Reposición de la compuerta.

PRUEBA No.6 REPOSICION DE LA COMPUERTA.			
PARÁMETROS DE INICIO:		MODO DE OPERACIÓN: Local	ESTADO DE LA COMPUERTA: Compuerta abierta
		BOMBA 1: Apagado. BOMBA 2: Apagado.	FALLAS DEL SISTEMA: Ninguno
ACCIÓN	UBICACIÓN	RESULTADO EN TABLERO	RESULTADO EN HMI
Se acciona el sensor de final de carrera REPOSICION COMPUERTA 1. PUNTO	Tablero de pruebas	Bombas B1 y B2 energizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta en movimiento Reposición compuerta 100 [m]
	Tablero de control	Indicador luz piloto ENCENDIDO en reposición de la compuerta. Indicador luz piloto ENCENDIDO compuerta en movimiento.	POSICIÓN COMPUERTA: Aproximadamente 6.60 metros.
			INDICADOR DE ESTADO B1: On
Se acciona el sensor de final de carrera REPOSICION COMPUERTA 2. PUNTO	Tablero de pruebas	Bombas B1 y B2 energizados.	INDICADOR DE ESTADO B2: On
			INDICADOR DE ESTADO REPOSICION COMPUERTA: On
Se acciona el sensor de final de carrera REPOSICION COMPUERTA 2. PUNTO	Tablero de control	Indicador luz piloto ENCENDIDO en reposición de la compuerta.	INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On
			MODO DE OPERACIÓN: Local
Se acciona el sensor de final de carrera REPOSICION COMPUERTA 2. PUNTO	Tablero de pruebas	Bombas B1 y B2 energizados.	POSICIÓN COMPUERTA: Aproximadamente 6500 [m].
			ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta en movimiento Reposición compuerta 200 [m]
Se acciona el sensor de final de carrera REPOSICION COMPUERTA 2. PUNTO	Tablero de control	Indicador luz piloto ENCENDIDO en reposición de la compuerta.	INDICADOR DE ESTADO B1: On
			INDICADOR DE ESTADO B2: On

		Indicador luz piloto ENCENDIDO compuerta en movimiento...	INDICADOR DE ESTADO REPOSICION COMPUERTA: On
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On
Se acciona el sensor de final de carrera COMPUERTA ABIERTA	Tablero de pruebas	Bombas B1 y B2 desenergizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			POSICIÓN COMPUERTA: 6750 metros.
			ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta abierta.
	Tablero de control	Indicador luz piloto de ENCENDIDO en compuerta abierta. Indicador luz piloto de APAGADO en compuerta en movimiento. Indicador luz piloto APAGADO en reposición de la compuerta.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off
			INDICADOR DE ESTADO B2: Off
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA ABIERTA: On
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: Off
			INDICADOR DE ESTADO REPOSICION COMPUERTA: Off.

Realizado por: Villacrés M. 2016.

3.4.1.7. Prueba No. 7: Cierre de emergencia de la compuerta

Como se puede observar en la **Tabla 7-3**, activando la señal de entrada digital al PLC PULSADOR CERRAR COMPUERTA POR EMERGENCIA desde el TABLERO DE PRUEBAS y de CONTROL, o desde el pulsador programado en el HMI, se cierre la compuerta inmediatamente y los indicadores de estado se activan.

Tabla 7-3: Prueba: Cerrar compuerta por emergencia.

PRUEBA No.7 CIERRE DE EMERGENCIA DE LA COMPUERTA.			
PARÁMETROS DE INICIO:		MODO DE OPERACIÓN: Local	ESTADO DE LA COMPUERTA: Abierta
		BOMBA 1: Apagado BOMBA 2: Apagado	FALLAS DEL SISTEMA: Ninguno
ACCIÓN	UBICACIÓN	RESULTADO EN TABLERO	RESULTADO EN HMI
Presionar el pulsador CERRAR COMPUERTA POR EMERGENCIA	Tablero de pruebas	Bombas B1 y B2 desenergizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta en movimiento. Cerrando compuerta por emergencia.

	Tablero de control	Indicador luz piloto APAGADO en bombas B1 y B2.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off
		Indicador luz piloto ENCENDIDO en compuerta en movimiento.	INDICADOR DE ESTADO B2: Off
		Indicador luz piloto ENCENDIDO en cerrando compuerta por emergencia	INDICADOR DE ESTADO CERRAR COMPUERTA POR EMERGENCIA: On
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On
Presionar el pulsador programado CERRAR COMPUERTA POR EMERGENCIA	HMI	Bombas B1 y B2 desenergizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta en movimiento. Cerrando compuerta por movimiento.
		Indicador luz piloto APAGADO en bombas B1 y B2.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off
		Indicador luz piloto ENCENDIDO en cerrar compuerta por emergencia.	INDICADOR DE ESTADO B2: Off
		Indicador luz piloto ENCENDIDO compuerta en movimiento.	INDICADOR DE ESTADO CERRAR COMPUERTA POR EMERGENCIA: On
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: On
Se acciona el sensor de final de carrera COMPUERTA CERRADA	Tablero de pruebas	Bombas B1 y B2 desenergizados.	MODO DE OPERACIÓN: Local
			POSICIÓN COMPUERTA: 0 metros.
			ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta cerrada.
	Tablero de control	Indicador luz piloto APAGADO en bombas B1 y B2.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off
		Indicador luz piloto de ENCENDIDO en compuerta cerrada.	INDICADOR DE ESTADO B2: Off
			INDICADOR DE ESTADO CERRAR COMPUERTA POR EMERGENCIA: Off
			INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA EN MOVIMIENTO: Off
		INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA CERRADA: On.	

Realizado por: Villacrés M. 2017.

3.4.2. Pruebas modo mantenimiento.

3.4.2.1. Prueba No. 8: Prueba de bombas.

Como se puede observar en la **Tabla 8-3** activando la señal de entrada digital MODO MANTENIMIENTO desde el interruptor del TABLERO DE PRUEBAS o del selector en el TABLERO DE CONTROL al PLC, se ingresa al modo de operación mantenimiento se realiza las pruebas de bombas en B1 y B2 en vacío al seleccionar la bomba desde el selector o al presionar los botones programados en el HMI de encendido y apagado en cada una de las bombas de modo independiente y los indicadores de estado se activan.

Tabla 8-3: Prueba: Prueba de bombas – modo mantenimiento.

PRUEBA No.8 PRUEBA DE BOMBAS – MODO MANTENIMIENTO			
PARÁMETROS DE INICIO:		MODO DE OPERACIÓN: Mantenimiento	ESTADO DE LA COMPUERTA: Cerrada
		BOMBA 1: Apagado BOMBA 2: Apagado	FALLAS DEL SISTEMA: Ninguno
ACCIÓN	UBICACIÓN	RESULTADO EN TABLERO	RESULTADO EN HMI
Girar el selector a MODO MANTENIMIENTO	Tablero de pruebas	Bomba B1 energizado.	MODO DE OPERACIÓN: Mantenimiento.
			ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta cerrada.
Girar selector en la BOMBA 1	Tablero de control	Indicador luz piloto APAGADO en bombas B2.	INDICADOR DE ESTADO B1: On
		Indicador luz piloto ENCENDIDO en bomba B1.	INDICADOR DE ESTADO B2: Off
		Indicador luz piloto ENCENDIDO en modo mantenimiento	INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA CERRADA: On
Girar el selector a MODO MANTENIMIENTO	Tablero de pruebas	Bombas B2 energizado.	MODO DE OPERACIÓN: Mantenimiento
			ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta cerrada.
Girar selector en la BOMBA 2.	Tablero de control	Indicador luz piloto APAGADO en bombas B1.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off
		Indicador luz piloto ENCENDIDO en bomba B2.	INDICADOR DE ESTADO B2: On
		Indicador luz piloto ENCENDIDO en modo mantenimiento	INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA CERRADA: On

<p>Girar el selector a MODO MANTENIMIENTO</p> <p>Presionar el pulsador programado ENCEDER en la bomba 1.</p>	HMI	Bomba B1 energizada.	MODO DE OPERACIÓN: Mantenimiento ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta cerrada.
		Indicador luz piloto APAGADO en bomba B2.	INDICADOR DE ESTADO B1: On
		Indicador luz piloto de ENCENDIDO en bomba B1.	INDICADOR DE ESTADO B2: Off
		Indicador luz piloto ENCENDIDO en modo mantenimiento	INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA CERRADA: On.
<p>Girar el selector a MODO MANTENIMIENTO</p> <p>Presionar el pulsador programado APAGAR en la bomba 1.</p>	HMI	Bomba B1 desenergizada.	MODO DE OPERACIÓN: Mantenimiento ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta cerrada.
		Indicador luz piloto APAGADO en bomba B2.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off
		Indicador luz piloto de APAGADO en bomba B1.	INDICADOR DE ESTADO B2: Off
		Indicador luz piloto ENCENDIDO en modo mantenimiento	INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA CERRADA: On.
<p>Girar el selector a MODO MANTENIMIENTO</p> <p>Presionar el pulsador programado ENCEDER en la bomba 2.</p>	HMI	Bomba B2 energizada.	MODO DE OPERACIÓN: Mantenimiento ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta cerrada.
		Indicador luz piloto APAGADO en bomba B1.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off
		Indicador luz piloto de ENCENDIDO en bomba B2.	INDICADOR DE ESTADO B2: On
		Indicador luz piloto ENCENDIDO en modo mantenimiento	INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA CERRADA: On.
<p>Girar el selector a MODO MANTENIMIENTO</p>	HMI	Bomba B2 desenergizada.	MODO DE OPERACIÓN: Mantenimiento ESTADO DEL SISTEMA: Compuerta cerrada.
		Indicador luz piloto APAGADO en bomba B2.	INDICADOR DE ESTADO B1: Off

Presionar el pulsador programado APAGAR en la bomba 2.		Indicador luz piloto de APAGADO en bomba B1.	INDICADOR DE ESTADO B2: Off
		Indicador luz piloto ENCENDIDO en modo mantenimiento	INDICADOR DE ESTADO COMPUERTA CERRADA: On.

Realizado por: Villacrés M. 2017.

3.5. Análisis económico para la empresa

En este apartado se determina si el proyecto sobre el nuevo diseño del sistema de control para la compuerta de restitución va a ser rentable para la Central Hidroeléctrica “San Francisco” de modo que genere un costo/beneficio, retorno de la inversión realizada y un ahorro de recursos sobre el sistema implementado en cuestión de mantenimientos programados por la Central. Los beneficios que genera dicho proyecto son:

- Un sistema de control confiable, seguro y de fácil operación y monitoreo para los supervisores y usuarios finales de la Central Hidroeléctrica “San Francisco”.
- La realización del proyecto con una inversión no tan representativa a diferencia de empresas contratistas externas, mediante equipos, dispositivos eléctricos y electrónicos disponibles en bodega en la propia Central.
- Garantizar un sistema libre de fallas, de simple mantenimiento y software totalmente propio de la Central para proyectos a futuro.

3.5.1. Análisis de la relación COSTO / BENEFICIO.

Tomando como base la cotización presentada por la empresa contratista, la Central Hidroeléctrica “San Francisco” aprobó el presente presupuesto en base a la nueva interfaz de control para la compuerta de restitución, con dispositivos que se encuentran presentes en el mercado ya adquiridos por la central y que se encuentran en stock de bodega como se presenta en la **Tabla 9-3**.

Tabla 9-3: Presupuesto aprobado para el desarrollo del proyecto.

PRESUPUESTO APROBADO POR PARTE DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA "SAN FRANCISCO"			
CANT.	UNIDAD	DESCRIPCION	COSTO
1	u	PLC SIPLUS S7-1200 marca SIEMENS CPU 1212C	833,45
1	u	Módulo de ampliación S/M SIEMENS SM1223 DC/DC	250,00
1	u	Pantalla Touch marca SIEMENS modelo KTP-900, 9 pulgadas para programación del HMI.	2306,43
1	u	Fuente de voltaje 12 VDC marca SIEMENS modelo PM1207.	145,83
1	u	Transductor de señales marca ABB modelo ETI-50	120,00
1	u	Indicador digital de posición SIEMENS SITRANS RD200	150,00
TOTAL			3805,71

Realizado por: Villacrés M. 2017.

En el apartado sobre la evaluación del proyecto, nos permitirá demostrar que el nuevo sistema de control que se desarrollará en la compuerta de restitución es factible y generará un ahorro económico para la empresa.

3.5.2. *Evaluación económica del proyecto*

3.5.2.1. *Valor Actual Neto (VAN)*

Es el método más utilizado a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. Según el autor (Baca, 2001) en su libro "*Evaluación de proyectos*", define al Valor Actual Neto como "el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos conocidos descontados a la inversión inicial", es decir maximizar la inversión.

Si el Valor Actual Neto es positivo se acepta el proyecto, si es igual a 0 se posterga y si es negativo se rechaza dicho proyecto.

- **Costo Actual:** Los costos para el desarrollo del proyecto por parte de la empresa contratista externa es alrededor de los \$16.262,96 como se mostró en la **Tabla 14-2**, destinados para mantenimiento y correctivo de errores en el sistema de compuerta.

- **Costo proyectado:** Presupuesto aprobado por la empresa para el desarrollo del proyecto con los recursos adquiridos y almacenados en stock por un valor de \$3.805,71 como se presentó en la **Tabla 9-3**.
- **Gastos de capacitación e instalación:** Relacionado a las horas de capacitación adquirido por el personal y las horas de instalación para el desarrollo del proyecto como se refleja en la **Tabla 10-3**.

Tabla 10-3: Gastos de capacitación para el desarrollo del proyecto.

GASTOS DE CAPACITACIÓN PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO				
DESCRIPCION	Costo Hora/trabajo de un ingeniero	Horas de trabajo diario	Días de trabajo	Total
Programación PLC	\$ 8	8 Horas	30 días	\$ 1.920,00
Programación HMI	\$ 8	8 Horas	30 días	\$ 1.920,00
Capacitación Técnica	\$ 9	4 Horas	6 días	\$ 225,00
Mano de obra instalación	\$ 8	8 Horas	15 días	\$ 960,00
TOTAL				\$ 5.025,00

Realizado por: Villacrés M. 2017.

Tabla 11-3: Valor Actual Neto del proyecto.

DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN	GASTOS DE CAPACITACION	COSTO DEL PROYECTO	V.A.N
Sistema actual	\$ -	\$ -	\$ 16,262.96	\$ 16,262.96
Sistema proyectado	\$ 3,805.71	\$ 5,025.00	\$ 8,830.71	\$ 8,830.71

Realizado por: Villacrés M. 2017.

- **Beneficio:** Se define como la diferencia entre costo del proyecto del sistema actual y el proyectado.

Tabla 12-3: Beneficio del proyecto.

DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN	GASTOS DE CAPACITACION	COSTO DEL PROYECTO	V.A.N
Sistema actual	\$ 16,262.96	\$ -	\$ 16,262.96	\$ 16,262.96
Sistema proyectado	\$ 3,805.71	\$ 5,025.00	\$ 8,830.71	\$ 8,830.71
BENEFICIO				\$ 7,432.25

Realizado por: Villacrés M. 2017.

Conclusión:

Podemos sacar de conclusión en este apartado que la instalación del nuevo sistema de control para la Central Hidroeléctrica “San Francisco” es factible por tener un Valor Actual Neto que es mayor a 0 de modo que genera un beneficio de \$ 7432,00 generando un ahorro de recursos de aproximadamente un 45 % para la empresa.

CONCLUSIONES:

- Mediante el diseño del nuevo sistema de control para la compuerta vagón en el túnel de restitución permitió mejorar la interacción humano – máquina del sistema. Debido a que brinda una interfaz amigable para el operador y personal en la Central Hidroeléctrica “San Francisco” al ser un entorno totalmente gráfico solucionando los problemas existentes en el anterior sistema.
- Se realizó el levantamiento técnico del sistema de control con su respectiva documentación para determinar el estado actual de la compuerta de restitución, sus modos de operación, funcionamiento y fallas.
- Se desarrolló la información técnica referente al diseño de planos eléctricos y electrónicos, diagrama de instrumentación de procesos (P&ID) y diagrama de bloques de proceso para el nuevo sistema de control en la compuerta de tipo vagón; de modo que tengamos una mejor idea de las interconexiones entre los dispositivos eléctricos - electrónicos, sensores y actuadores.
- Se realizó la programación del PLC para el modo de operación LOCAL y MANTENIMIENTO de la compuerta de restitución a través del software STEP 7 PROFESSIONAL V.13 de SIEMENS de manera que la Central disponga del programa para mejoras al sistema en un futuro.
- Se desarrolló la programación del HMI para el monitoreo y supervisión completa del estado de la compuerta hidráulica, unidad hidráulica y fallas presentes en el sistema todo en tiempo real con la ayuda del paquete de software WINCC BASIC V.13 de SIEMENS.
- Mediante el análisis costo/beneficio realizado para nuestro trabajo de titulación, se determinó la rentabilidad del proyecto y con beneficio para la empresa de \$ 7432,00 generando un ahorro de recurso para la Central hidroeléctrica “San Francisco” frente al proyecto ofertado por el contratista externo.

RECOMENDACIONES:

- Se recomienda realizar mantenimientos más rutinarios en el sistema de control de la compuerta de restitución para evaluar el funcionamiento correcto de los dispositivos eléctricos, sensores y actuadores que lo conforman.
- Se recomienda la respectiva capacitación al personal de mantenimiento, operarios y supervisores sobre el modo de operación del nuevo sistema de control para precautelar la vida útil de los actuadores y evitar posibles fallas en el sistema.
- Se recomienda hacer uso de la nueva documentación técnica entregada al jefe de mantenimiento electrónico en la Central hidroeléctrica “San Francisco” en caso de que presente fallas en el sistema.
- Se recomienda la adquisición de repuestos de los elementos más importantes que conforman el nuevo sistema de control para la compuerta de restitución, con la finalidad de solucionar fallas que se puedan presentar por el mal funcionamiento de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

1. **BACA, Gabriel.;** “Evaluación de proyectos”; [En línea]; (2001); [Citado en: diciembre de 2016]; Disponible en: <https://ianemartinez.files.wordpress.com/2012/09/evaluacion-de-proyectos-gabriel-baca-urbina-corregido.pdf>
2. **CELEC EP HIDROELECTRICA SAN FRANCISCO.;** “Planos AS BUILT Central Hidroeléctrica San Francisco”; San Francisco. Baños de Agua Santa. Ecuador. 2000.
3. **CREUS, Antonio.;** “Instrumentación Industrial”; [En línea]; México: Alfaomega; (1997); [Citado en: marzo de 2016]; Disponible en: <http://www.profesaulosuna.com/data/files/ELECTRONICA/INSTRUMENTACION/LIBRO%20DE%20INSTRUM/inscreus8th.pdf>
4. **CREUS, Antonio.;** “Neumática e Hidráulica”; [En línea]; México: Marcombo; (2007); [Citado en: marzo de 2016]; Disponible en: <http://es.slideshare.net/artemarbuques/neumatica-e-hidraulica-creus>
5. **DANERI, Pablo.;** “PLC Automatización y Control Industrial”; [En línea]; Buenos Aires: Hispano América; (2008); [Citado en: marzo de 2016]; Obtenido de <https://www.scribd.com/document/168466445/Plc-Automatizacion-y-Control-Industrial>
6. **GUERRERO, Vicente.;** **YUSTE, Ramón.;** **MARTÍNEZ, Luis.;** “Comunicaciones Industriales”; [En línea]; México: Marcombo; (2012); [Citado en: marzo de 2016]; Disponible en: <https://www.scribd.com/document/322719146/Comunicaciones-Industriales-Vicente-Guerrero>
7. **LEIVA, Luís.;** “Controles y Automatismos Eléctricos”; [En línea]; México: Alfaomega (1998); [Citado en: febrero de 2016]; Disponible en: <https://controlelectricos.files.wordpress.com/2015/03/controles-y-automatismos-electricos.pdf>

8. **MEIER, F.; MEIER, C.;** “Instrumentation and Control Systems Documentation”; [En línea]; EUA: ISA; (2011); [Citado en: enero de 2016]; Disponible en: <https://www.isa.org/templates/one-column.aspx?pageid=111294&productId=116294>

9. **RAMÓN, Pallas.;** “Sensores y acondicionadores de señal”; [En línea]; México: Marcombo; (2004); [Citado en: febrero de 2016]; Disponible en: <https://www.scribd.com/doc/175837678/Sensores-y-Acondicionadores-de-Senal-4-ED-Ramon-Pallas-Areny>

10. **SIEMENS, A.;** ”Manual de sistema controlador programable S7-1200”; [En línea]; (2009); [Citado: febrero de 2016]; Disponible en: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. PLANO UNIDAD HIDRÁULICA.

ANEXO B. DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN DE PROCESOS (P&ID)

ANEXO C. DIAGRAMA DE BLOQUES DE PROCESOS.

ANEXO D. PLANOS ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.

ANEXO E. PROGRAMACIÓN LADDER PLC.

ANEXO F. DATASHEET S7-1200 CPU1212C DC/DC/RLY.

ANEXO G. DATASHEET MÓDULO AMPLIACIÓN SM1223.

ANEXO H. DATASHEET PANTALLA DE CONTROL HMI KTP-900 BASIC.