



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TABLERO CON HMI
PARA EL CONTROL DE LAS COMPUERTAS 1 Y 2 DE LA
BOCATOMA DEL SISTEMA DE RIEGO CHAMBO – GUANO”**

Trabajo de titulación

Tipo: Dispositivo tecnológico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES: JOSELYN ESTEFANIA GALLEGOS LOPEZ

FERNANDA ABIGAIL GULLSQUI CARRILLO

DIRECTOR: Ing. FAUSTO RAMIRO CABRERA AGUAYO

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, **Joselyn Estefanía Gallegos López, Fernanda Abigail Gullsqui Carrillo.**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotras, Joselyn Estefanía Gallegos López y Fernanda Abigail Gullsqui Carrillo, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 09 de septiembre de 2021



Joselyn Estefanía Gallegos López

060437385-2



Fernanda Abigail Gullsqui Carrillo

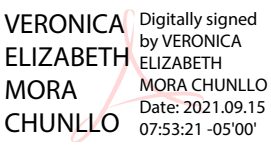
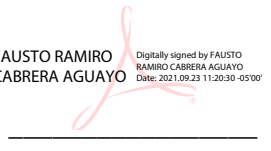
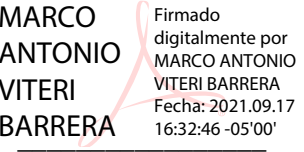
060443143-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Dispositivo Tecnológico, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TABLERO CON HMI PARA EL CONTROL DE LAS COMPUERTAS 1 Y 2 DE LA BOCATOMA DEL SISTEMA DE RIEGO CHAMBO – GUANO**”, realizado por las señoritas: **JOSELYN ESTEFANÍA GALLEGOS LÓPEZ Y FERNANDA ABIGAIL GULLSQUI CARRILLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Verónica Elizabeth Mora Chunllo DELEGADO DEL DECANO CIEYA	 VERONICA ELIZABETH MORA CHUNLLO Digitally signed by VERONICA ELIZABETH MORA CHUNLLO Date: 2021.09.15 07:53:21 -05'00'	2021-09-09
Ing. Fausto Ramiro Cabrera Aguayo DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 FAUSTO RAMIRO CABRERA AGUAYO Digitally signed by FAUSTO RAMIRO CABRERA AGUAYO Date: 2021.09.23 11:20:30 -05'00'	2021-09-09
Ing. Marco Antonio Viteri Barrera MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 MARCO ANTONIO VITERI BARRERA Firmado digitalmente por MARCO ANTONIO VITERI BARRERA Fecha: 2021.09.17 16:32:46 -05'00'	2021-09-09

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a toda mi familia, en especial a mi madre Mónica, la cual siempre estuvo para apoyarme con sus sabios consejos y alentarme ante las derrotas en todo momento.

Fernanda

Este trabajo es dedicado a mis padres y hermanos, quiénes son mi apoyo incondicional, con sus palabras me han orientado a tomar buenas decisiones a lo largo de mi vida.

Joselyn

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento primordial a Dios por ser guía en mi camino, a mis padres por su apoyo y sustento en todo momento, a mis profesores por ser un ente fundamental en mi formación académica y sobre todo a mi amiga y compañera de tesis por el apoyo brindado a lo largo de toda nuestra carrera universitaria.

Fernanda.

Agradezco a Dios, a mis padres y hermanos Fabián, Cristian, David y Yesenia por sus consejos y apoyo, a mis profesores y a la ESPOCH por guiarme para dar mi mejor esfuerzo dentro del campo laboral. A mi amiga y compañera de tesis, quien me ha apoyado para salir adelante durante todo momento de nuestra vida universitaria. Por último, un especial agradecimiento a Dennys que me ayudó a creer en mí, apoyándome incondicionalmente durante este proceso.

Joselyn.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	5
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1 <i>Sistema de riego en canal abierto.....</i>	<i>5</i>
1.1.1 <i>Bocatoma.....</i>	<i>5</i>
1.1.2 <i>Análisis de la operación de la bocatoma del sistema de riego.....</i>	<i>5</i>
1.2 <i>Comunicaciones.....</i>	<i>7</i>
1.2.1 <i>Red industrial.....</i>	<i>7</i>
1.3 <i>Protecciones IP en equipos y gabinetes.....</i>	<i>8</i>
1.4 <i>Conductores y elementos de protección eléctrica.....</i>	<i>9</i>
1.4.1 <i>Dimensionamiento de elementos de protección.....</i>	<i>10</i>
1.4.2 <i>Dimensionamiento de conductores eléctricos.....</i>	<i>10</i>
1.5 <i>Controladores.....</i>	<i>11</i>
1.5.1 <i>Arquitectura.....</i>	<i>12</i>
1.5.2 <i>Grafo funcional de control etapa-transición (GRAF CET).....</i>	<i>13</i>
1.5.3 <i>Tipos de PLC.....</i>	<i>14</i>
1.6 <i>Dispositivos para el arranque de motores.....</i>	<i>15</i>
1.6.1 <i>Contactores.....</i>	<i>15</i>
1.6.2 <i>Arrancador suave.....</i>	<i>15</i>
1.6.3 <i>Variadores de frecuencia.....</i>	<i>15</i>
1.7 <i>Sensores.....</i>	<i>17</i>
1.7.1 <i>Finales de carrera.....</i>	<i>17</i>
1.7.2 <i>Sensor inductivo.....</i>	<i>17</i>
1.8 <i>Motores.....</i>	<i>17</i>
1.8.1 <i>Motor eléctrico.....</i>	<i>17</i>
1.8.2 <i>Motor de combustión.....</i>	<i>18</i>
1.9 <i>Interfaz Hombre Máquina.....</i>	<i>19</i>
1.9.1 <i>Principios generales del diseño.....</i>	<i>19</i>

1.9.2	<i>Normativa</i>	19
1.9.3	<i>Tipos de HMI</i>	21
CAPÍTULO II		23
2	MARCO METODOLÓGICO	23
2.1	<i>Requerimientos del sistema</i>	23
2.2	<i>Consolidación general del prototipo</i>	23
2.3	<i>Arquitectura de hardware del sistema</i>	24
2.3.1	<i>Etapa de alimentación</i>	25
2.3.2	<i>Etapa de adquisición de señales</i>	26
2.3.3	<i>Etapa de procesamiento</i>	26
2.3.4	<i>Etapa de potencia</i>	27
2.3.5	<i>Etapa de mando y visualización</i>	27
2.3.6	<i>Etapa de comunicación</i>	28
2.4	<i>Descripción de los elementos hardware del sistema</i>	28
2.4.1	<i>Controlador Logo</i>	28
2.4.2	<i>Variador de frecuencia</i>	29
2.4.3	<i>Sensores</i>	29
2.4.4	<i>Pantalla HMI</i>	30
2.4.5	<i>Motores</i>	30
2.4.6	<i>Elementos auxiliares</i>	31
2.5	<i>Diagrama de conexión para el sistema</i>	34
2.6	<i>Herramientas de software del sistema</i>	36
2.6.1	<i>LogoSoft Confort</i>	36
2.6.2	<i>TIA Portal V15</i>	36
2.6.3	<i>KEPServerEX 6</i>	37
2.6.4	<i>NI Lookout 6.7.1</i>	38
2.6.5	<i>SolidWorks 2018</i>	38
2.6.6	<i>Wireshark</i>	38
2.7	<i>Distribución de elementos en el tablero de control</i>	38
2.7.1	<i>Diseño en SolidWorks</i>	39
2.7.2	<i>Montaje e instalación del tablero</i>	41
2.8	<i>Configuración de parámetros en el variador de frecuencia</i>	42
2.9	<i>Comunicación HMI-LOGO</i>	43
2.9.1	<i>Diseño de interfaz en KTP 700 y Lookout</i>	51
CAPÍTULO III		55
3	ANÁLISIS DE RESULTADOS	55

<i>3.1 Pruebas de comunicación entre dispositivos</i>	55
<i>3.1.1 Análisis de las tramas</i>	55
<i>3.2 Tiempos de apertura y cierre de las compuertas</i>	63
CAPÍTULO IV	65
4 EVALUACIÓN ECONÓMICA	65
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Norma IEC 60529: protección IP.....	9
Tabla 2-1:	Norma de estandarización de colores en conductores eléctricos.....	10
Tabla 3-1:	Comparación entre Micro PLC comerciales.....	14
Tabla 4-1:	Comparación entre dispositivos de arranque de motores.....	16
Tabla 5-1:	Comparación entre tipos de motores.....	18
Tabla 6-1:	Colores según estado en HMI.....	20
Tabla 7-1:	Comparación entre diferentes HMI.....	21
Tabla 1-2:	Características: Logo 12/24RC y Logo DM8 12/24R.....	28
Tabla 2-2:	Características: variador de frecuencia FV20.....	29
Tabla 3-2:	Características: sensor final de carrera Z-15GW.....	30
Tabla 4-2:	Características: pantalla HMI Simatic KTP700.....	30
Tabla 5-2:	Características: motor Siemens.....	31
Tabla 6-2:	Características: torre luminosa LTA-205.....	32
Tabla 7-2:	Consumo de corriente de los dispositivos.....	32
Tabla 8-2:	Características: fuente de alimentación DR-60-24.....	33
Tabla 9-2:	Características: interruptor termomagnético.....	33
Tabla 10-2:	Calibre de conductores.....	34
Tabla 11-2:	Ubicación de elementos en el tablero de control.....	39
Tabla 12-2:	Parámetros básicos del variador de frecuencia.....	42
Tabla 13-2:	Datos de placa de los motores.....	43
Tabla 14-2:	Direcciones IP y máscaras de subred en los dispositivos.....	44
Tabla 15-2:	Nomenclatura de variables y memorias en LogoSoft y TIA Portal.....	46
Tabla 16-2:	Descripción: función de botones e indicadores en HMI.....	53
Tabla 1-3:	Principales interacciones con los HMI del sistema.....	56
Tabla 2-3:	Principales campos para evaluar el estado de la conexión.....	60
Tabla 3-3:	Tiempo de apertura y cierre en compuertas.....	63
Tabla 1-4:	Análisis de costos.....	65
Tabla 2-4:	Beneficio / Costo.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Bocatoma del sistema de riego Chambo-Guano.....	6
Figura 2-1:	Compuertas 1 y 2 del sistema de Riego Chambo-Guano.....	6
Figura 3-1:	Tablero de control del sistema decadente.....	7
Figura 1-2:	Consolidación general del prototipo.....	24
Figura 2-2:	Arquitectura de <i>hardware</i> del sistema.....	25
Figura 3-2:	Diagrama de bloques de la etapa de alimentación.....	25
Figura 4-2:	Diagrama de bloques de la etapa de adquisición de señales.....	26
Figura 5-2:	Diagrama de bloques de la etapa de procesamiento.....	26
Figura 6-2:	Diagrama de bloques de la etapa de potencia.....	27
Figura 7-2:	Diagrama de bloques de la etapa de mando y visualización.....	27
Figura 8-2:	Micro PLC LOGO 8 12/24RC.....	28
Figura 9-2:	Variador de frecuencia Kinco FV20-0055G/0075L.....	29
Figura 10-2:	Sensor final de carrera Camsco.....	29
Figura 11-2:	Pantalla HMI Simatic KTP 700 Basic.....	30
Figura 12-2:	Motor trifásicos Siemens.....	31
Figura 13-2:	Torre Luminosa Camsco.....	31
Figura 14-2:	Fuente de alimentación MW DR-60-24.....	32
Figura 15-2:	Interruptor termomagnético ABB.....	33
Figura 16-2:	Diagrama de conexión de la red de logos y el HMI.....	34
Figura 17-2:	Diagrama de conexión del circuito de control.....	35
Figura 18-2:	Diagrama de conexión del variador de frecuencia.....	36
Figura 19-2:	Entorno de programación en TIA Portal.....	37
Figura 20-2:	Gabinete servicio pesado, tapa ciega.....	39
Figura 21-2:	Diseño y distribución de elementos en SolidWorks.....	40
Figura 22-2:	Vista externa del tablero de control en SolidWorks.....	40
Figura 23-2:	Vista interna del tablero en SolidWorks.....	41
Figura 24-2:	Montaje y cableado de elementos.....	41
Figura 25-2:	Vista frontal e interior del tablero.....	42
Figura 26-2:	Selección de dispositivos en LogoSoft.....	44
Figura 27-2:	Selección de dispositivos TIA portal.....	45
Figura 28-2:	Driver de comunicación con Logo.....	45
Figura 29-2:	Asignación de tabla de variables estándar.....	46
Figura 30-2:	GRAFSET de la programación en LogoSoft.....	47
Figura 31-2:	Creación de un nuevo canal en KepServerEx 6.....	49
Figura 32-2:	Creación de Tags en KepserverEx 6.....	49
Figura 33-2:	Creación del Cliente OPC para Lookout.....	50

Figura 34-2.	Asignación Tags a cada elemento del interfaz.	50
Figura 35-2:	Pantalla principal del HMI en KTP700 y Lookout	52
Figura 36-2:	Pantalla de visualización del estado de las compuertas	52
Figura 37-2:	Pantalla secundaria del HMI KTP700	54
Figura 1-3a:	Paquetes capturados con el <i>software</i> Wireshark, Logo-PC.....	57
Figura 1-3b:	Paquetes capturados con el <i>software</i> Wireshark, Logo-KTP700.....	58
Figura 1-3c:	Paquetes capturados con el <i>software</i> Wireshark, Logo-Logo	59
Figura 2-3:	Análisis de trama de una solicitud de trabajo	60
Figura 3-3:	Análisis de trama de la respuesta a una solicitud de trabajo	61
Figura 4-3:	Propiedades del archivo de captura con Wireshark	62
Figura 5-3:	Respuesta del sistema ante interacciones sobre HMI	62
Figura 6-3:	Estado de conexión de tags en KEPServerEX 6	63
Figura 7-3:	Tiempo de apertura y cierre de compuertas a frecuencia de 30 Hz.....	64

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Diagrama de flujo de la programación del variador de frecuencia	43
Gráfico 2-2:	Diagrama de flujo de la programación en LogoSoft	48
Gráfico 3-2:	Diagrama de flujo de la conexión LogoSoft con KepServer	51
Gráfico 1-3:	Resultados de la comunicación entre dispositivos.	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A:	PASTA	11
Anexo B:	PORTADA	12
Anexo C:	Tabla de conductores eléctricos	13
Anexo F:	Planimetría de conexiones: controlador y variadores.	14
Anexo G:	Programación Controlador Logo	15
Anexo H:	Manual variador FV20 Kinco.....	16
Anexo I:	Hoja de datos Logo 8 12/24RC y DM8 12/24R.....	17
Anexo J:	Hoja de datos: Simatic HMI KTP700 Basic	18
Anexo L:	Manual de usuario	20

RESUMEN

El objetivo del trabajo de titulación fue el diseño e implementación de un tablero con una Interfaz Humano-Maquina (HMI) para el control de las compuertas 1 y 2 de la bocatoma del sistema de riego Chambo-Guano. El sistema permite el control independiente de las compuertas en tres modos: automático, manual y de mantenimiento, para ello consta de seis etapas: la primera entrega el voltaje necesario para alimentar a los dispositivos de protección y control. La etapa de adquisición de señales, conformada por sensores finales de carrera, permite determinar los límites de apertura y cierre de las compuertas. Dichas señales son enviadas a la etapa de procesamiento que tiene como elemento principal un Logo 8, encargado del envío y activación de señales de salida, en base al grafo funcional de control etapa-transición del proceso, para posteriormente activar los variadores de frecuencia Kinco junto con los motores trifásicos que conforman la etapa de potencia, de tal manera que se genere el movimiento de las compuertas. El control y visualización de los estados del sistema se realiza mediante un Panel HMI KTP700 o un HMI desarrollada en NI Lookout, la etapa final permite la comunicación Ethernet entre la etapa de procesamiento y las HMI. Como resultado, se determinó que la comunicación mantuvo un tiempo de respuesta de 1ms sin pérdida de datos y con respuestas consistentes de acuerdo con las acciones ejecutadas desde las interfaces. Lo que determina que la HMI contiene un diseño interactivo, de fácil uso para que los operadores tengan un mejor control del nivel de agua que ingresa al canal. Finalmente, una recomendación importante es añadir sistemas de visión artificial en la limpieza de rejillas para lograr una automatización total de la bocatoma.

<AUTOMATIZACIÓN DE COMPUERTAS>, <BOCATOMA>, HMI, <LOGO 8>, <COMUNICACIÓN ETHERNET>, <GRAFCET>, <VARIADOR DE FRECUENCIA>.



0904-DBRA-UPT-2021



Firmado electrónicamente por:
HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA

ABSTRACT

The objective of the current graduation work was the design and implementation of a board with an Human-Machine Interface (HMI) to control gates 1 and 2 of the intake of the Chambo-Guano irrigation system. The system allows independent control of the gates in three modes: automatic, manual and maintenance, it consists of six stages: the first delivers the necessary voltage to power the protection and control devices. The stage of signal acquisition, made up of limit switches, allows to determine the opening and closing limits of the gates. These signals are sent to the processing stage whose main element is a Logo! 8, in charge of sending and activating output signals, based on the functional graph of control stage-transition of the process, for later activate the Kinco frequency inverters together with the three-phase motors that make up the power stage, in such a way that the movement of the gates is generated. Control and visualization of the system statuses is carried out by means of a KTP700 HMI Panel or an HMI developed in NI Lookout, the final stage enables Ethernet communication between the processing stage and HMIs. As a result, it was determined that the communication maintained a 1ms response time without data loss and with consistent responses according to actions executed from the interfaces. This determines that the HMI contains an interactive design, easy to use for operators to have better control of the water level entering the channel. Finally, an important recommendation is to add artificial vision systems in the cleaning of grids to achieve a total automation of the intake.

<GATE AUTOMATION>, <INTAKE>, <HMI>, <LOGO! 8>, <ETHERNET COMMUNICATION>, <GRAFNET>, <FREQUENCY DRIVE>



Firmado electrónicamente por:
**NELLY MARGARITA
PADILLA PADILLA**

INTRODUCCIÓN

La gestión de los recursos hídricos en Ecuador afronta una variedad de problemas, entre los que destacan, el manejo de la oferta hídrica que permita incrementar la disponibilidad de agua en el tiempo y espacio, la óptima operación de los sistemas hídricos para lograr mayor eficiencia en la utilización de los recursos, la interacción sectorial con las actividades económicas y la preservación de la integridad de ecosistemas que dependen del agua (Vintimilla, 2014, p.12).

Ecuador caracterizado por tener las mayores reservas de agua en América Latina y como una de sus principales actividades económicas la agricultura, requiere incorporar tecnología en los sistemas de distribución y manejo de los recursos hídricos provenientes de fuentes naturales de agua, integrando sistemas de riego capaces de distribuir este recurso a todas las provincias y cantones del país (Jara, 2015, p.12).

En la provincia de Chimborazo el sistema de riego Chambo - Guano está ubicado en la sierra centro del país, en los cantones Chambo, Riobamba y Guano; el mantenimiento y operación del sistema es compartido, el canal principal, túneles, las 180 válvulas y los 7 reservorios lo asume el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo; mientras que los canales secundarios y terciarios son responsabilidad de la Junta General de usuarios. El agua del canal principal se distribuye de forma continua a todas las derivaciones según las condiciones climáticas y la demanda. (Silva, 2016, p.18).

En la actualidad existe la necesidad de monitorear y controlar la apertura y cierre de las compuertas de la bocatoma del sistema de riego Chambo – Guano, en donde se pretende emplear un sistema electrónico para control y visualización de las compuertas y el nivel de agua existente en el canal.

ANTECEDENTES

El control en los sistemas por canal abierto requiere una mejora constante en la distribución de los recursos hídricos, por tal motivo la automatización de estos sistemas ha ido incrementando paulatinamente, permitiendo que el operador a través de botoneras o pantallas, tenga acceso a tareas como: limpieza automática de rejillas, mediciones de niveles de agua y control de compuertas en ríos, desarenadores, canales y reservorios, con el objetivo de reducir el riesgo de los operadores en este tipo de actividades (Cardinale, 2011, p.43).

Al hablar de sistemas automatizados para el monitoreo y control de compuertas en sistemas de riego, existen varios prototipos en diferentes países que tienen la finalidad de mejorar la distribución de recursos hídricos, como es el caso del informe sobre el diseño del control automático en apertura de compuertas de excedencia del embalse Sandillal, ubicado en Guanacaste - Costa Rica, para este proyecto se automatizaron dos compuertas de tipo radial manipuladas por un sistema hidráulico para su apertura o cierre mediante el desarrollo de un sistema de control en lazo abierto (Alvarado, 2009, p.33). Dicho trabajo utiliza cilindros hidráulicos que permiten la apertura y cierre de las compuertas sin la posibilidad de variar la velocidad provocando largos tiempos de espera al ejecutar dichas acciones, tampoco cuentan con un sensor de nivel para mantener un mejor control de estas.

En el artículo publicado en la revista de ingeniería Ciencia, Tecnología e Innovación se desarrolló un sistema de control automático de riego por compuertas para la junta de regantes de Guarango Pampa - Utcubamba - Amazonas, Perú. Para lograrlo, este trabajo incorporó un sensor ultrasónico, un servomotor y tarjetas Arduino en el control de la apertura y cierre de las compuertas de manera remota (Ignacio, 2014, p.55). Este sistema funciona correctamente, pero debido al grado de protección IP de la tarjeta Arduino, no es apto para las características que presenta el entorno.

En la tesis desarrollada para el proyecto Chavimochic ubicado en Lambayeque - Perú, se automatizó el control de compuertas para mejorar el sistema de distribución en el desarenador, mediante el correcto análisis y dimensionamiento de los elementos, controladores, sensores y actuadores, además funciona en base a un sistema SCADA conectado a la red Ethernet, otorgando una buena respuesta (Rufino, 2016, p.30). El proyecto se podría mejorar en la etapa de potencia al utilizar un variador de frecuencia en lugar de un arrancador suave, para tener la posibilidad de controlar la velocidad de los actuadores.

En el Ecuador este tipo de sistemas automatizados se han ido incorporando con más frecuencia dentro de proyectos desarrollados en diferentes universidades, como es el caso de la tesis que propone un sistema de Control y Supervisión de apertura y cierre de las Compuertas del Vertedero 1 de la Represa Agoyán, haciendo uso de un panel HMI local, el cual presenta resultados favorables en la regulación fina y media del nivel de agua en la represa (Gavilánez, 2011, p.97). Este sistema podría mejorar al utilizar otro método que le permita el arranque de los motores como por ejemplo un variador de frecuencia.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar, implementar e instalar un tablero de control con HMI para la apertura y cierre de las compuertas 1 y 2 de la bocatoma del sistema de riego Chambo-Guano?

SISTEMATIZACIÓN

¿Cómo la investigación y análisis de los sistemas de control automático de compuertas ayudará a la implementación de tablero de control para el sistema de canal abierto Chambo - Guano?

¿Qué elementos de *hardware* y *software* se requieren para implementar el sistema de control y supervisión del sistema de riego Chambo - Guano?

¿El diseño cumple con los requerimientos establecidos para mejorar la operación durante el control de las compuertas?

JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial, los sistemas de riego desempeñan un papel importante, fortaleciendo el sector agrícola, eje clave para el progreso de cualquier país. Aunque Ecuador es caracterizado por tener grandes reservas de agua, sufre la inequidad en la distribución de este servicio, imposibilitando el incremento de la productividad y el desarrollo de pequeños agricultores (Jara, 2015, p.16).

En el Ecuador, los sistemas de riego aportan con el 75% de la producción agrícola nacional, esto quiere decir que, del porcentaje total por consumo de agua, el 80% se destina al riego, sin embargo, las pérdidas de caudal al ingresar el agua a los canales principal, secundarios, terciarios y dentro de las parcelas, varían la eficiencia en la distribución del recurso hídrico entre en 15% y 25% (Chicaiza, J, 2018, p.1).

En la provincia de Chimborazo es urgente contar con un sistema que permita distribuir el agua para propósitos de riego, fortaleciendo la agricultura familiar campesina, poniendo al alcance de los usuarios la tecnología adecuada para facilitar las tareas diarias y diversificando la producción agrícola articulada en la economía popular y solidaria (Senplades, 2013, p.15).

Con miras a reducir volúmenes excesivos de fluido desperdiciado, mejorar los tiempos de respuesta y disponibilidad del sistema, se propone el diseño, implementación y puesta en marcha del tablero de control con HMI utilizado para la apertura y cierre de las compuertas 1 y 2 de la bocatoma del sistema de riego Chambo-Guano, beneficiando de manera directa a los usuarios de la junta general de riego.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar un tablero con HMI para el control de las compuertas 1 y 2 de la bocatoma del sistema de riego Chambo-Guano.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Estudiar los sistemas de riego por canal abierto y los elementos para la implementación del tablero.
- Seleccionar *hardware* y *software* que permita cumplir con los requerimientos de diseño.
- Implementar el tablero de control y supervisión de las compuertas del sistema de riego.
- Realizar pruebas de funcionamiento y evaluación del tablero.

Para lo cual la estructura general del trabajo cuenta con 4 capítulos:

En el capítulo 1, dentro del marco teórico, se muestra algunos conceptos importantes como las definiciones, características relacionadas a la automatización de sistemas y monitoreo, así también se mencionan algunos elementos y técnicas necesarias para la implementación de este sistema electrónico.

En el capítulo 2 se observa la metodología aplicada, dentro de la cual se describen los requerimientos, etapas que componen su arquitectura, selección de *hardware* y *software* y diseño de interfaz para el control y visualización.

En el capítulo 3 se muestran las pruebas y resultados obtenidos después de ser debidamente verificados.

Finalmente, en el capítulo 4 se detalla el análisis de costos de toda la tecnología utilizada.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En el siguiente apartado se analizan los conceptos, parámetros y componentes para la automatización de compuertas en la bocatoma del sistema de riego; este capítulo cuenta con tablas comparativas entre los diferentes tipos de controladores, arranque de motores, actuadores e interfaces hombre máquina que puedan aplicarse dentro del estudio.

1.1 Sistema de riego en canal abierto

Se define como sistema de riego a un conjunto de estructuras hidráulicas por las cuales se lleva el agua de una fuente natural hacia una determinada área, facilitando la producción de cultivos. El riego en canal abierto consiste en aplicar agua al suelo por gravedad sin la necesidad de suministrarle presión ya que se vierte libremente (Fernández, 2010, p.33).

1.1.1 Bocatoma

Desvía la cantidad de agua suficiente para el riego desde el cauce de un río hacia un canal, las bocatomas con presa derivadora realizan esta acción a través de una presa o barraje que asegura un paso tranquilo y uniforme del agua por la rejilla, evitando que piedras y desechos sólidos entren al canal. Para Ternicien (2017, p.16), las compuertas de control más utilizadas son planas de tipo deslizante, las cuales permiten dividir el flujo de un canal entre dos o más para manejar, controlar y distribuir el agua.

1.1.2 Análisis de la operación de la bocatoma del sistema de riego

El sistema de riego Chambo-Guano, ubicado dentro de la provincia de Chimborazo, lleva operando por más de 50 años (Vintimilla, 2014, p.13). Su área de riego va desde los 2600 a los 2800 msnm., su longitud y capacidad de conducción son de 55 km y 6 metros cúbicos de agua para regar una superficie de 5.670 hectáreas, organizadas en 8 zonas dentro de las cuales se distribuyen 112 juntas de riego de agua con un promedio de 30.000 lotes de terreno (Ponce, 2019, p.9).

En base a las observaciones realizadas en la bocatoma del sistema de riego Chambo-Guano, véase figura 1-1, se determina la forma de operación y condiciones actuales del sistema: consta de 5 compuertas que permiten el paso del agua hacia el canal de riego, debido a trabajos anteriores destinados al control de las compuertas 4 y 5, se cuenta con la infraestructura y condiciones

eléctricas necesarias para el montaje de tableros. En el área existen tomas principales de 220 V para abastecimiento eléctrico en la caseta de control, iluminación de áreas específicas y alimentación de tableros de control.



Figura 1-1: Bocatoma del sistema de riego Chambo-Guano.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqui F., 2021.

Como se observa en la figura 2-1, tanto la compuerta 1 como la 2 están conformadas por dos compuertas planas de tipo deslizante, de material acero placa A36, con dimensiones de 0.8 metros de ancho por 0.6 metros de alto cada una, el movimiento de las compuertas está dado por un motor de 5Hp el cual permite girar el vástago de maniobras provocando el movimiento del tornillo sin fin, para que la placa de cierre de la compuerta suba o baje, modificando la sección de paso del canal (Amaya, 2016, p.14).



Figura 2-1: Compuertas 1 y 2 del sistema de Riego Chambo-Guano.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqui F., 2021.

En la figura 3-1 se visualiza el tablero obsoleto, los mandos y controles se efectúan desde el tablero de control ubicado a 5 metros de las compuertas, en la parte frontal existen elementos de mando entre pulsadores, un paro de emergencia e indicadores led. En el interior del tablero, la parte de control está conformada por elementos de protección, contactores, relés encapsulados y

temporizadores, los motores tienen arranque directo por condensador y se estiman los tiempos de apertura y cierre de las compuertas en 10 minutos.



Figura 3-1: Tablero de control del sistema decadente

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

1.2 Comunicaciones

La comunicación resulta del intercambio de información entre varios dispositivos, para Toaquiza y Chasipanta (2019, p.9) existen 3 elementos claves para la comunicación:

- Emisor/receptor: equipos necesarios para la comunicación.
- Canal: medios físicos, cable, fibra óptica, aire, para la transmisión.
- Mensaje: son los datos que se transfieren entre emisor y receptor.

1.2.1 Red industrial

Es el producto de la interconexión de nodos, identificados con una única dirección para transmitir información dentro de la red, para lo cual se requiere de un protocolo de comunicación, que estipule las reglas para dicha transmisión. La red industrial está conformada por controladores, dispositivos de entrada y salida, sensores y transductores, computadoras industriales, módulos de control e interfaces con el operador (Universidad de Valencia, 2018). No existe universalización en el uso del tipo de protocolo de comunicación industrial, pero dentro de los más comunes se puede mencionar:

Ethernet

Basado en el estándar IEEE 802.3, es una red de comunicación que hace uso de la arquitectura TCP/IP, usada en redes LAN con distancias de 100 metros o hasta 1 km con el uso de repetidores, sus velocidades de transmisión varían desde 10 Mb/s y 100 Mb/s hasta 1 Gb/s (Tivanta y Zambrano, 2016, p.18) con intercambio a nivel de la capa dos del modelo OSI (Toaquiza y Chasipanta, 2019, p.23).

Profinet

Es un protocolo industrial estandarizado por Ethernet, posee un número ilimitado de nodos, mayor estabilidad y permite una comunicación directa mediante sistemas industriales de campo con equipos Siemens (Chiluisa, 2021, p.22). Permite el acceso a sus dispositivos mediante el estándar abierto en la capa de aplicación y la red. (Toaquiza y Chasipanta, 2019, p.15).

Modbus

Protocolo creado por Modicon para comunicar redes de PLC, tiene múltiples versiones, dentro de las más conocidas: Modbus TCP/IP, Modbus RTU, Modbus ASCII. Permite transmitir a una distancia máxima de 15 metros o 1200 metros mediante puertos serie RS232 y RS485 (Bollaín, 2018, p.77).

OPC

Es un estándar para el intercambio de datos dentro de la automatización industrial, es decir utilizado para controlar y supervisar procesos. Maneja una arquitectura cliente/servidor, cuya plataforma independiente certifica el flujo de información entre múltiples fabricantes, sin tomar en cuenta las diferencias respecto a tecnologías, drivers y protocolos. Una de sus principales funciones es la traducción de datos/*mapping*, es decir, cambiar datos nativos en un formato OPC compatible con uno o más equipos.

1.3 Protecciones IP en equipos y gabinetes

La norma ANSI/IEC 60529 describe un sistema para clasificar los grados de protección que ofrecen las carcasas de los equipos eléctricos y refleja 2 condiciones:

1. Protección contra el acceso de objetos sólidos extraños y peligrosos al interior de la caja.
2. Protección contra la entrada de agua.

El nivel de protección se indica mediante un código compuesto por dos letras constantes “IP” y dos dígitos que indican el grado de protección como se muestra en la tabla 1-1:

Tabla 1-1: Norma IEC 60529: protección IP

Grado de protección contra la introducción de objetos extraños			Grado de protección al agua	
Primer índice	Descripción	Contra el acceso a partes peligrosas.	Segundo índice	Descripción
0	Sin protección	∅	0	Sin protección
1	≥ 50 mm ∅	Muñeca	1	Protección contra goteo vertical.
2	≥ 12.5 mm ∅	Dedo	2	Protección contra goteo a 15°.
3	≥ 2.5 mm ∅	Herramientas	3	Protección contra la caída de agua a 60° (lluvia).
4	≥ 1 mm ∅	Cable	4	Protección contra las salpicaduras de agua en todas las direcciones.
5	Contra el polvo	-	5	Protección contra chorros de agua de cualquier dirección.
6	Hermético al polvo	-	6	Protección contra inundaciones esporádicas.
			7	Protección contra la inmersión temporal.
			8	Protección durante inmersión continua.

Fuente: Greiner, 2010.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqvi, F. 2021

1.4 Conductores y elementos de protección eléctrica

En una instalación eléctrica es necesario contar con protección que permita salvaguardar personas, bienes y componentes eléctricos. Para lo cual existe aparamenta eléctrica como fusibles, interruptores termomagnéticos, relés térmicos y paros de emergencia. Estos deben contar con una protección mínima IP20, evitando el contacto directo con los terminales y partes activas de los mismos. En base a Calvo (2016, p.93-195), las protecciones comúnmente utilizadas son:

Fusibles

Protegen a la instalación al interrumpir la alimentación cuando se produce un cortocircuito o sobrecarga según el tipo de fusible. Están formados por un conductor que se funde cuando una corriente de mayor valor a su nominal circula a través de ellos.

Interruptores termomagnéticos

A diferencia de los fusibles, estos interrumpen el paso de las corrientes de cortocircuito y sobrecarga de forma automática por acción comparativa con su propia corriente y altas temperaturas, además permite cortar la corriente a través de una acción exterior voluntaria. Sus principales funciones son: cerrar o abrir el circuito, cortar la corriente y asegurar el accionamiento.

Interruptor de seguridad - paro de emergencia

Utilizados para detener completamente un sistema y evitar todo tipo de peligro tanto en operadores como en la maquinaria. Se trata de un botón con contacto normalmente cerrado, el cual al presionarse se enclava abriendo el contacto, su desactivación se consigue girando el botón hasta su posición inicial.

1.4.1 Dimensionamiento de elementos de protección

En la NEC (MIDUVI, 2018, p.11) se menciona que para el dimensionamiento del calibre de los conductores y equipos de protección se debe considerar como mínimo la capacidad de corriente. En la ecuación 1-1 se detalla el dimensionamiento de las protecciones.

Ecuación 1-1 Dimensionamiento de dispositivos de protección

$$P = V * I$$

Donde:

P: potencia de la carga. Expresado en *Kilowatts* [Kw]

V: voltaje de alimentación. Expresado en *voltios* [v]

I: corriente del dispositivo de protección. Expresado en *amperios* [A]

1.4.2 Dimensionamiento de conductores eléctricos

El dimensionamiento en conductores tiene como objetivo la eficiente transmisión de energía, al considerar las secciones mínimas que el conductor soporta en función de las caídas de voltaje, potencias y corrientes (Chiluisa, 2021, p.34). Además, es importante identificar los colores de los conductores en base a las normas existentes, en la tabla 2-1 se detalla los colores de conductores según la norma americana y europea.

Tabla 2-1: Norma de estandarización de colores en conductores eléctricos

Conductor \ Norma	ANSI	IEC
Fase o Positivo	Negro, rojo, amarillo, azul	Marrón, negro, café
Neutro o negativo	Blanco, gris	Azul, blanco
Tierra	Verde	Amarillo, verde

Fuente: Chiluisa,2021

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Al dimensionar los conductores del circuito de fuerza se debe considerar la corriente de los motores en función de los parámetros que se muestran en la ecuación 2-1. En base a la norma NEC-SB-IE estos conductores deben sobredimensionarse al 125% de su capacidad.

Ecuación 2-1 Dimensionamiento de conductores: circuito de fuerza.

$$P = \sqrt{3} * V * I * \text{Cos } \varphi$$

Donde:

P: potencia del motor, medida en *kilowatts* [Kw]

V: voltaje de alimentación, medido en *voltios* [v]

I: corriente del motor, medida en amperios [A]

Cos φ : factor de potencia.

El circuito de control opera con voltajes muy pequeños, y su selección depende de la corriente total del sistema, teniendo en cuenta todos los elementos conectados, como se detalla en la ecuación 3-1.

Ecuación 3-1 Dimensionamiento de conductores: circuito de control.

$$I_{control} = \sum I_{elementos}$$

Donde:

$I_{control}$: corriente a considerar para la elección del conductor, expresados en [A]

$I_{elementos}$: corriente de todos los elementos del circuito de control, [A]

Finalmente, la determinación del calibre de conductores para la acometida principal debe considerar el consumo máximo de corriente del circuito de fuerza y de control, como se detalla en la ecuación 4-1.

Ecuación 4-1 Dimensionamiento de conductor: acometida

$$I_{total} = I_{fuerza} + I_{control}$$

Donde:

I_{total} : corriente a considerar para la elección del conductor, [A]

1.5 Controladores

Son dispositivos electrónicos de control y maniobra, diseñados para operar de manera centralizada y compacta todas las acciones realizadas en un proceso (Obregón, 2017, p.16), permiten

el control de dispositivos externos, reciben señales de sensores y toman decisiones de acuerdo con el programa que el usuario elabore según el esquema del proceso (Mancheno y Cuvi, 2016, p.20). Creados para mejorar y reemplazar el sistema de lógica cableada, dando solución a problemas asociados al cableado complejo y la utilización de múltiples elementos mecánicos como los contactores, los cuales están sujetos a fallos, incurriendo en poca flexibilidad, difícil supervisión, corrección de errores, baja confiabilidad y alto consumo de energía. Por tanto, su aplicación abarca procesos de fabricación industrial, controladores de brazo de robot, sistemas de riego, automatización de líneas de producción, control de instalaciones, entre otros (Obregón, 2017, p.18).

1.5.1 Arquitectura

Según Mancheno y Cuvi (2016, p.24) el PLC está compuesto de los siguientes componentes:

1.5.1.1 Unidad central de almacenamiento

Es el cerebro del PLC, encargado de aplicar el algoritmo de control a las señales de entrada para generar y enviar instrucciones a las salidas (Correa, 2007, p.25), cumple con funciones de verificación del sistema, medición del tiempo de ejecución y actualización de imágenes de entrada y salida, para lo cual consta de dos tipos de memorias que se detallan a continuación:

EEPROM: memoria no volátil, solo de lectura, utilizada para guardar datos esenciales como el sistema operativo y el programa.

RAM: memoria volátil, de acceso aleatorio que se utiliza para guardar los datos generados mientras se ejecuta el programa.

1.5.1.2 Módulo de entrada

Internamente son circuitos electrónicos que acoplan las señales provenientes de los transductores conectados a un bloque de terminales externo. De acuerdo con la naturaleza de la señal proveniente de los transductores existen dos tipos de módulos:

Entradas digitales: reciben señales de los sensores que varían entre dos estados codificados según la amplitud, el de mayor valor se considera 1 y el menor, 0 lógico. Generalmente estas señales provienen de botoneras, sensores de fin de carrera, etc.

Entradas analógicas: Reciben señales provenientes de sensores que miden el valor instantáneo de una variable física, para que este valor analógico sea procesado debe transformarse en una señal digital (Correa, 2007, p.27).

1.5.1.3 Módulo de salida

Permiten realizar conexiones entre el PLC y actuadores, para transformar y amplificar la información enviada para activar los actuadores conectados a sus terminales. Al igual que las entradas se clasifican en dos grupos:

Salidas digitales: activan actuadores como electroválvulas, bobinas de contactores, etc. Pueden ser salidas de voltaje que asignan una magnitud de voltaje al estado 1 lógico y de 0 V al estado 0 lógico o salidas de relé, estas cierran o abren un contacto seco durante los estados 1 y 0 respectivamente.

Salidas analógicas: los valores de salida están generalmente entre 0-10 V DC en las salidas de voltaje y de 4-20 mA en las de corriente. Estas señales comandan actuadores como válvulas solenoides, servomotores, entre otros (Correa, 2007, p.32).

1.5.1.4 Módulos de comunicaciones y periféricos

Facilitan la comunicación del PLC con un ordenador y la creación de redes entre autómatas y equipos que intervienen en el proceso. Entre estos módulos tenemos: RS-232, RS-485, Ethernet, GSM, HMI, tarjetas SD e impresoras.

1.5.1.5 Módulos especiales

Sirven para ampliar las funciones del CPU del PLC o el rápido y fácil acoplamiento de otros elementos al sistema como termocuplas, termorresistencias, módulos PID, entre otros.

1.5.1.6 Fuente de alimentación

Suministra la tensión para el encendido del PLC activando el funcionamiento interno de los circuitos electrónicos. Existen PLCs que requieren fuentes de alimentación de Corriente Continua o de Corriente Alterna.

1.5.2 Grafo funcional de control etapa-transición (GRAFCET)

Método gráfico del comportamiento de un proceso automatizado, formado por estados y transiciones conectados por líneas de enlace (Guerrero, 2019, p.20). Es una herramienta de descripción presente en automatizaciones industriales. Según Pérez, et al. (2009, p.245), los principales elementos de un GRAFCET son:

- **Etapas:** representan el estado del sistema en determinado momento.
- **Transición:** función booleana que permite el cambio de estados.
- **Líneas de enlace:** simbolizan actividades consecutivas y la unión de etapas.
- **Reenvíos:** indican el destino o procedencia de las líneas de enlace, lo que permite evitar conglomeraciones.

1.5.3 Tipos de PLC

En base a Chiluisa (2021, p.42) los PLC se clasifican de acuerdo con su función, número de entradas y salidas, memoria, aspecto, entre otros, dentro de los más populares están:

Compactos: Caracterizados por mantener en un mismo gabinete todos los componentes que integran su arquitectura, este tipo de PLC tiene un número fijo de entradas y salidas de relé o transistor ampliables mediante módulos, además cuenta con protocolos de comunicación y conexión con HMI.

Modulares: Se caracterizan por tener un gabinete individual montado sobre un riel para cada componente de su arquitectura, conectados mediante buses de datos, por lo que tiene una mayor capacidad para almacenar programas que requieren alta versatilidad y robustez.

Montaje en rack: Se caracterizan por tener una interfaz HMI y los módulos montados sobre un rack, distribuidos en un mismo panel, con tiempos de respuesta menores para el intercambio de datos entre módulos.

En la Tabla 3-1 se muestra una comparación entre las características que se toman en consideración al momento de elegir el controlador para el tablero:

Tabla 3-1: Comparación entre Micro PLC comerciales

Características	Logo 12/24RC	Zelio Logic 2	EASY512-DC-RC	Alpha 2 AL2-10MR-D
Marca	Siemens	Schneider	EATHON	Mitsubishi
Voltaje de entrada	24 V DC	24 V DC	24 V DC	24 V DC
Entradas D/A	8 2, [0 – 10 V]	6 4, [0 – 10 V]	8 2, [0 – 10 V]	6 6, [0 – 10 V]
Salidas	4, Relé	4, Relé	4, Relé	4, Relé
Grado de protección	IP20	IP20 e IP40	IP20	IP20
Puertos	RJ45	Serial	Serial	Serial
Tipo de comunicación	S7, Ethernet, GPRS, KNX, Modbus TCP/IP	RS 232	RS 232 Easy-Link	RS 232
Interfaz de ampliación	Módulos E/S Digitales y Entradas analógicas.	1 E/S o 1 interfaz de módem o 1 de comunicación.	No	E. digitales, salidas de relé, transistor y analógicas.
Bloques funcionales	130	124	128	128
Montaje	Riel DIN	Tornillos	Riel DIN Tornillos	Riel DIN Tornillos

Fuente: Catálogos Siemens, Schneider, Eaton, Mitsubishi 2021

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi, F. 2021

Como se muestra en la tabla 3-1, Logo 12/24RC ofrece varias alternativas de comunicación como Ethernet y S7 que permite la conexión entre componentes de la familia Siemens, además su capacidad de memoria le permite utilizar 130 bloques funcionales en un solo programa.

1.6 Dispositivos para el arranque de motores

Existen una variedad de dispositivos que facilitan el arranque de un motor, entre estas alternativas se encuentran los contactores, arrancadores suaves y variadores de frecuencia.

1.6.1 Contactores

El contactor es un dispositivo utilizado en la lógica cableada como interruptor, generalmente en arranque de motores, consta de un electroimán el cual acciona los contactos de potencia y maniobra cuando su bobina está alimentada. Los contactores pueden operar a altas frecuencias sin proteger a la carga (Vaello, 2018).

1.6.2 Arrancador suave

Según el catálogo Weg (2021), los arrancadores suaves son dispositivos que permiten limitar y regular la corriente y el voltaje que va al motor, evitando picos y desgaste en las maquinarias. El arranque y paro se basan en un algoritmo que controla tres pares de SCR ubicados en antiparalelo, que cambian el ángulo de disparo cada medio ciclo, lo que aumenta o limita el voltaje o corriente (Rockwell Automation, 2014). Comúnmente utilizados en correas transportadoras, ventiladores, compresores, bombas y máquinas centrífugas dentro de actividades como la industria química, agroalimentaria, construcción y minería (SchneiderElectric, 2021).

1.6.3 Variadores de frecuencia

Son dispositivos electrónicos que permiten el control completo de motores de corriente alterna a partir de la variación en la frecuencia y en motores de corriente continua con la variación de tensión. Este tipo de arranque brinda alta confianza, protección al motor y la posibilidad de disminuir costos por consumos de energía eléctrica en operación de procesos (Manual técnico: motores eléctricos, 2011, p.11). El VDF convierte voltaje y frecuencia constantes en variables para ello la corriente alterna es rectificadas y convertida a continua, posteriormente se invierte nuevamente a corriente alterna, pero con valores de frecuencia y voltaje variables. Por tanto, existe una relación directa entre velocidad del motor y frecuencia, de modo que dicha proporción sigue siendo la misma en todo el rango de velocidades mientras no supere los 60 Hz (EATON, 2011, p.3).

1.6.3.1 Arquitectura

Según Sanabria y Sánchez (2016, p22) el variador de frecuencia está compuesto por:

- Red de suministro: acometida de corriente alterna de tipo monofásica para motores con potencias hasta 1,5 kW y trifásica para motores de mayor potencia.
- Entradas: analógicas o digitales tipo todo o nada. Incluyen terminales de avería, alarma, etc.
- Comunicaciones: se pueden integrar dentro de redes industriales, por ello cuentan con puertos de comunicaciones RS-232 y RS-485, redes: LAN, profibus, profinet y conexiones USB o RJ-45 tanto para terminales externos como para ordenadores
- Salidas: generalmente cuenta con tres terminales de salida (U-V-W), lo que facilita la conexión directa en triángulo o estrella en base a la tensión del motor.

En la Tabla 4-1 se muestra una comparación entre los diferentes métodos para el arranque de motores usados en procesos industriales:

Tabla 4-1: Comparación entre dispositivos de arranque de motores

Características	Contactor	Arrancador suave	Variador de frecuencia
Entrada	Monofásica, Trifásica	Trifásica	Monofásica, Trifásica
Construcción	Electroimán	SCRs	IGBTs
Eficiencia [%]	--	99.5 – 99.9	95 – 98
Tipo de trabajo	Arranque directo y paro de motores	Controla la cantidad de corriente, suaviza el arranque y parada de motores.	Controlar el arranque, aceleración, frenado, desaceleración, parada, velocidad y monitoreo.
Comunicación	--	Modbus, Ethernet, ControlNet, DeviceNet, Profibus.	Modbus, Ethernet, ControlNet, DeviceNet, Profibus
Par de arranque	Alto	Bajo o medio	Alto
Protecciones	IP20	IP20	IP20 – IP68
Voltaje, corriente y par reducidos durante el arranque.	No	Si	Si
Tiempos de arranque y paros precisos	No	Con Limitaciones	Si
Par pleno a velocidad 0	No	No	Si

Fuente: Rockwell Automation, 2014.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqui, F. 2021

Dado el contenido de la tabla 4-1, se descarta el uso del arrancador suave y el contactor, debido a que no cumplen con las características requeridas para el tipo de trabajo. Por lo tanto, características como: alta eficiencia, buen funcionamiento en velocidades bajas y la capacidad de

controlar el arranque, velocidad, frenado y monitoreo, hacen que un variador de frecuencia se el óptimo para esta aplicación.

1.7 Sensores

Para que el controlador ejecute órdenes de salida se necesita conocer la posición de partes móviles, objetos fabricados o de las variables del proceso, por lo tanto, se requiere de dispositivos electrónicos de detección o medición denominados sensores, los cuales se eligen según su principio de funcionamiento y tipo de salida (Gavilanez, 2011, p.95).

1.7.1 Finales de carrera

Son sensores que detectan la posición de un mecanismo mediante un accionamiento mecánico que conmuta los contactos eléctricos y envía una señal para que se pueda cambiar el estado del circuito. Para que esta señal llegue hasta el controlador es necesario conectar un terminal del contacto a la fuente de alimentación y el otro a una entrada digital (Zamora, 2021, p.43).

1.7.2 Sensor inductivo

Utilizan un transistor-oscilador para la detección mediante conmutación electrónica, que cambia su estado lógico cuando un objeto metálico se acerca a su campo electromagnético, el diámetro del sensor determina la distancia de conmutación y su salida es de tipo todo o nada. Tienen un margen de operación corto y pueden verse afectados por campos magnéticos fuertes (Fernandez, 2005, p.33).

1.8 Motores

Los procesos industriales requieren el movimiento de equipos y maquinaria tales como bandas transportadoras, compuertas mecánicas, bombas de agua, mezcladoras, molinos y muchas otras aplicaciones mecánicas. La solución está dada por el dispositivo denominado motor, el cual a través de la conversión de energía eléctrica a mecánica permite accionar todo tipo de máquina.

1.8.1 Motor eléctrico

Dispositivo capaz de proporcionar un par constante a diferentes velocidades y cargas mediante la transformación de energía eléctrica en mecánica. Ideales por su larga vida útil, alto rendimiento en motores menores a 1 Hp, con eficiencias del 80%, mientras que para grandes capacidades llegan hasta el 96%. Dependiendo del tipo de corriente de alimentación se encuentran (Manual técnico: motores eléctricos, 2011, p.5):

Motor de corriente continua

Se identifican por tener gran capacidad de regulación en la velocidad de rotación, por lo que son utilizados en aplicaciones que precisan de fino ajuste de la velocidad y torque.

Motor asíncrono

Son los más utilizados en industria debido a su facilidad de uso, menor mantenimiento y bajo costo. Existe una diversidad de motores eléctricos en el mercado dependiendo del tamaño, torque, velocidades por minuto y la potencia dimensionada para una aplicación específica en un proceso industrial (Villacrés, 2017, p.28).

Motor síncrono

Se trata de motores en los que la velocidad del campo magnético del rotor es igual a la del estator. Este tipo de motor, por su complicado arranque y mantenimiento, se utiliza en aplicaciones que involucran grandes máquinas cuya carga es variable y su velocidad es constante, especialmente en producción de energía eléctrica como alternadores. Una de sus ventajas es que presentan la unidad en su factor de potencia, mejorando así el rendimiento del sistema y reduciendo los costos de energía eléctrica (Cembranos, 2014, p.19).

1.8.2 Motor de combustión

Transforma la energía térmica en el interior de una cámara cerrada con el aporte del calor generado por la quema del combustible, la presión de los gases de combustión y el calor generado, provocan el movimiento de un mecanismo. Obregón (2017, p.28) afirma que un motor diesel tiene un rendimiento de alrededor del 40%.

En la tabla 5-1 se muestra una comparación entre los tipos de motores usados en procesos industriales:

Tabla 5-1: Comparación entre tipos de motores

Características	Motores Eléctricos		Motores de combustión
	DC	Inducción	
Eficiencia [%]	60 – 75	80 – 96	≈ 40
Peso [kg]	< 12	< 325	> 78
Alimentación	DC	AC (1Ø - 3Ø)	Gasolina – Diesel
Variables de control	Velocidad/Posición	Velocidad	Velocidad
Emisiones contaminantes	-	-	CO ₂ , entre otros.

Fuente: Catálogo Tercesa, 2016. Catálogo Siemens, 2019. Escobar y Martínez, 2010

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi, F. 2021

Con base en el contenido de la tabla 5-1, se excluye el uso de motores DC y motores de combustión porque no cumplen con las características de alimentación y emisiones

contaminantes, por lo que se opta por un motor trifásico de inducción debido a su alta eficiencia y la posibilidad de controlar su velocidad.

1.9 Interfaz Hombre Máquina

Son dispositivos o aplicaciones que permiten la interacción entre humano y máquina con el objetivo de gestionar, controlar, monitorizar y diagnosticar (Albán Vallejo, 2013, p.5) aplicaciones en el entorno industrial. Para Martínez y Buendía (2010, p.120), son paneles compuestos por indicadores y componentes interconectados mediante enlaces de comunicación con los procesos o maquinaria, creados con entornos amigables para la interacción y el manejo de datos. Un HMI cuenta con 2 componentes:

Entrada: El usuario indica a la máquina qué y cómo hacer lo requerido.

Salida: La máquina informa al usuario el progreso de las operaciones ejecutadas por medio de una interfaz.

Según Barrios y Galeano (2014, p.34) una interfaz debe ser lógica, funcional, accesible y fácil de usar, para lograrlo es necesario conocer el entorno de trabajo y el diseño de la interfaz.

1.9.1 Principios generales del diseño

Se pueden definir varios principios, aplicables a cualquier tipo de HMI (Ames, 2016, p.21):

- Consistencia y coherencia: las secuencias de trabajo deben mantenerse en situaciones similares.
- Correspondencia: predecible y acorde al sistema real.
- Adecuación a la tarea: el programa proporciona herramientas interactivas esenciales para mejorar el diálogo con el operador.
- Controlabilidad: el usuario debe poder controlar en todo momento el desarrollo de la aplicación.
- Predictibilidad y flexibilidad: el usuario ve una respuesta del sistema acorde con sus conocimientos, formación y experiencia.

1.9.2 Normativa

En la norma ISO 9241, en su décima parte, principios de diálogo, en los capítulos 14, 15, 16 y 17 explica el diseño ergonómico de programas para equipos con pantallas de visualización (Ángos et al., 2001, p.127-142). Los cuales detallan que la interfaz debe cumplir con requerimientos como:

- Ser clara y sencilla de utilizar.
- Adaptarse a la tarea para la que fue diseñada.
- Contener un diálogo claro y con la información estrictamente necesaria.

- Informar el progreso del proceso de forma comprensible.
- Ser controlable por el usuario.
- Apariencia consistente que cumpla con las expectativas del usuario y facilite las respuestas.
- Aportar detectabilidad, presentando una interfaz atrayente.

Para conseguir aplicaciones prácticas se debe combinar una serie de ideas básicas mostradas a continuación:

a) Estados de color y forma

El Real Decreto 485/97 establece que los colores de las señales se deben utilizar en función del procedimiento al que sean aplicados, véase la tabla 6-1.

Tabla 6-1: Colores según estado en HMI

Marcha - Abierto	Verde
Paro - Cerrado	Rojo
Atención - Preparado	Amarillo
Alarma, atención	Rojo - Amarillo
Alarma	Rojo
Sin alarma	Gris – Invisible
Metal	Gris
Fondos	Gris – Verde – Azul

Fuente: Rodríguez, 2011

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi, F. 2021

Rodríguez (2011, p.125), recomienda combinar elementos para que la información mostrada sea clara, debido a que amontonar indicadores con colores primarios provoca la aparición de colores complementarios o fantasmas.

b) Elementos de mando, gráficos y textos

Las características que se deben cumplir según Rodríguez (2011, p.137) y Ames (2016, p.30) son:

- Orden lógico, diseño simple y etiquetado.
- Evitar la aparición automática de datos irrelevantes.
- Indicaciones cuantitativas y estados binarios de forma gráfica.
- Números con unidades estandarizadas y alineación a la derecha.
- Los caracteres de pantalla configurados de forma clara, disponiendo de espacio adecuado entre caracteres y renglones.
- El uso de mayúsculas es permitido solo en las cabeceras.

- Alineación de objetos dentro del interfaz.
- Uso contrastado de colores, combinados con etiquetas o posiciones.
- Colocar un botón “volver” en todas las pantallas y en el mismo sitio, de tal manera que el salto de pantalla no genere confusiones.
- Los elementos se distribuyen según el comportamiento de los usuarios al observar la pantalla, ubicando los botones en un lugar de preferencia.

1.9.3 Tipos de HMI

Según Barrios y Galeano (2014, p.42), se pueden distinguir dos tipos de HMI especificados a continuación:

- Interfaz táctil de usuario: Dispositivo o pantalla generalmente sensible al tacto diseñado para su instalación en entornos agresivos, cuenta con *software* adecuado para cargar la aplicación. Permite la interacción del usuario directamente con el contenido al eliminar periféricos intermedios como el teclado y el ratón.
- Computadores: pueden ser normales o de tipo industrial, generalmente instalados en gabinetes dando una apariencia de terminal de operador y se configuran o programan en *softwares* con lenguajes de programación de alto nivel que cuentan con los estándares necesarios para el diseño del contenido de la pantalla.

En la tabla 7-1 se muestra una comparación entre diferentes marcas de HMI que cumplen con las características requeridas en el proyecto.

Tabla 7-1: Comparación entre diferentes HMI

Características	Simatic HMI Basic	Harmony Easy	NB Series	PanelView
Marca	Siemens	Schneider	Onrom	Allen - Bradley
Voltaje de entrada	24 V DC	24 VDC	24 VDC	24 VDC
Tipo de pantalla	TFT LCD	TFT LCD	TFT LCD	TFT LCD
Grado de protección	IP65	IP65	IP65	IP65
Puertos	USB, RJ45	USB, RJ45, Serial	USB, RJ45, Serial	USB, RJ45, Serial
Tipo de comunicación	S7, Ethernet, PROFINET, Modbus TCP/IP	Ethernet, RS232C, RS485.	Ethernet, RS232C, RS485.	Ethernet, RS232C, RS485.
Conexión con LOGO	Si	No	No	No

Fuente: Catálogo Siemens, Schneider, Onrom 2021 y Rockwell Automation 2021.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi, F. 2021

En base al contenido de la tabla 7-1 se selecciona una pantalla Simatic HMI Basic, ya que permite la conexión directa al controlador Logo a través del enlace de comunicación S7 perteneciente a

la familia Siemens, además de brindar la protección suficiente para trabajar sin riesgo de daños por polvo y salpicaduras de agua como se muestra en la tabla 1-1.

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se describen los requerimientos del sistema, el diseño de *hardware* y *software*, las etapas, componentes utilizados, características técnicas y el esquema electrónico del circuito implementado.

2.1 Requerimientos del sistema

El tablero con HMI para controlar las compuertas de la bocatoma debe satisfacer varios requerimientos de diseño en función a ciertas necesidades, por tal motivo el sistema debe contar con:

- Adaptación al sistema ya existente, haciendo uso de la estructura mecánica y los motores.
- Equipos que cumplan con los grados IP de protección en base a la norma ANSI/IEC 60529.
- Capacidad de funcionamiento a 220 V de alimentación.
- Uso de dispositivos que permitan controlar la velocidad de motores.
- Permitir independencia en el manejo de cada compuerta.
- Control local que permita al usuario verificar visualmente el estado de las rejillas.
- Interfaz visual desarrollada en base a la normativa ISO 9241.
- Comunicación Ethernet entre la interfaz y el controlador.
- Emitir señales luminosas para identificar el estado del sistema.
- Capacidad de bloqueo a distancia del HMI, desde la caseta principal.
- Dispositivos con tecnología de costo accesible, facilidad de instalación y escalable.

2.2 Consolidación general del prototipo

El sistema de control consta de sensores, actuadores y un controlador colocado al interior de un gabinete. En la parte frontal está montado un panel HMI con una interfaz que permita al operador controlar las compuertas en modo manual, automático o de mantenimiento. El controlador procesa las señales de entrada, tanto del HMI como de los sensores, para activar o desactivar los variadores de frecuencia que permitirán el arranque de los motores y el movimiento del tornillo sin fin, provocando la apertura y cierre de las compuertas, además existe una torre luminosa que muestra el estado del sistema. Mediante una red Ethernet se comunica el HMI, el Logo de las compuertas y un Logo ubicado de la caseta principal, con la finalidad de que el HMI puede bloquearse desde este último. En la figura 1-2 se observan los elementos constitutivos del sistema.

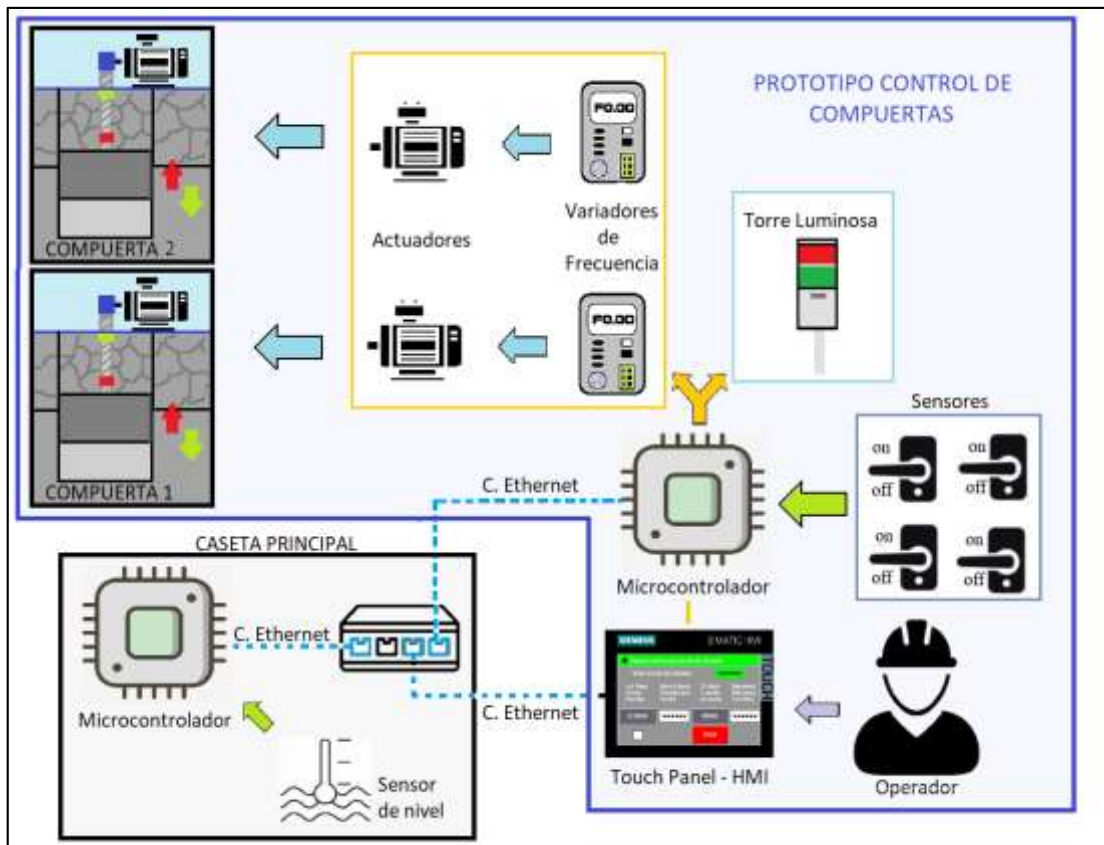


Figura 1-2: Consolidación general del prototipo

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.3 Arquitectura de *hardware* del sistema

En la figura 2-2, se aprecia que el sistema está conformado por seis etapas. La etapa de adquisición de señales está compuesta por los sensores encargados de enviar información hacia la etapa de procesamiento, controlador Logo, el cual procesa estas señales y a su vez, proporciona las órdenes a la etapa de potencia, encargada de la activación de los motores. Además, se tiene una etapa de comunicación basada en la red Ethernet que permite comunicar la etapa de procesamiento con la etapa de mando y visualización, la cual integra el HMI y una torre luminosa de dos colores. Finalmente, la etapa de alimentación suministra la energía necesaria para el funcionamiento de todos los componentes del sistema.

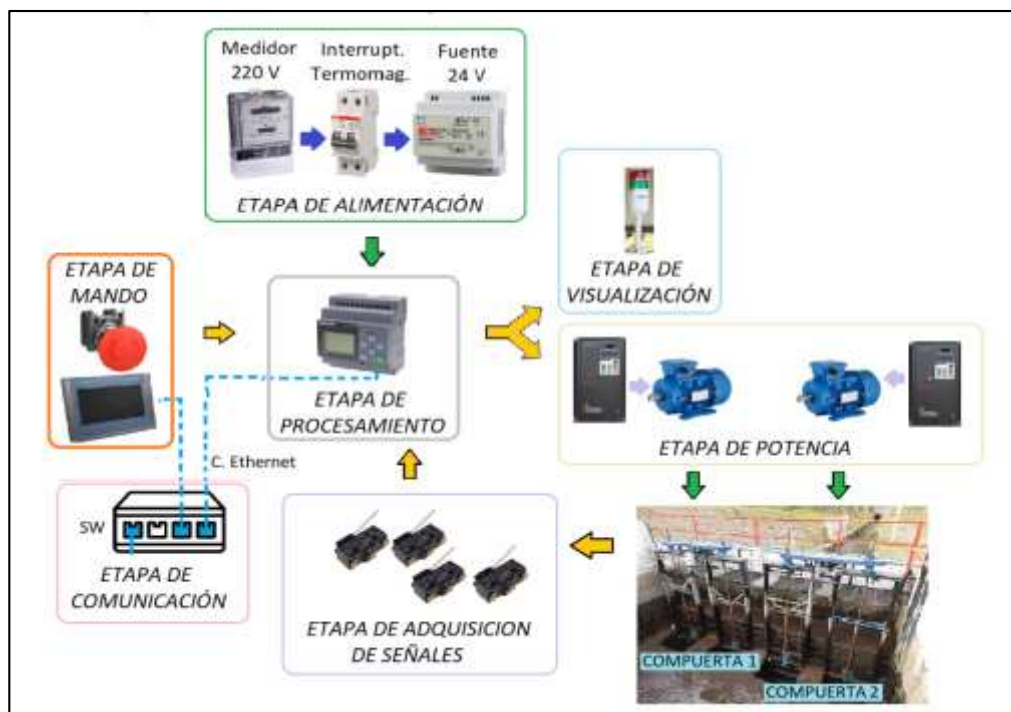


Figura 2-2: Arquitectura de *hardware* del sistema.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.3.1 Etapa de alimentación

La etapa de alimentación está compuesta por elementos como el medidor de energía eléctrica, dispositivos de protección y una fuente de 24 VDC. El medidor provee de una conexión monofásica de 220 V a los interruptores termomagnéticos y fusibles, otorgando la energía necesaria a la etapa de potencia, la torre luminosa y la fuente DC, encargada de energizar los dispositivos de las etapas de procesamiento, adquisición de señales, mando y visualización. En la figura 3-2, se puede observar el diagrama de bloques de esta etapa.

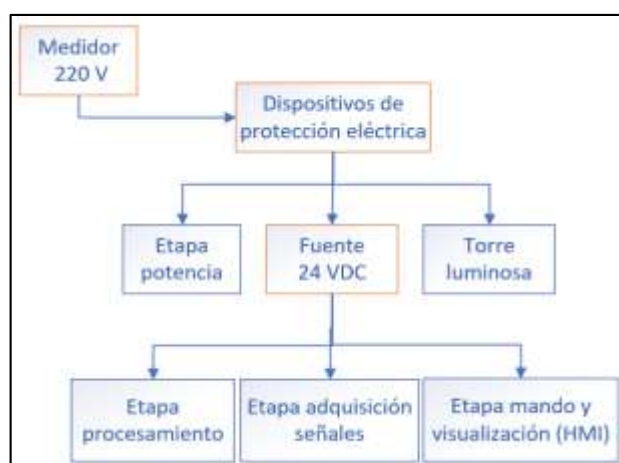


Figura 3-2: Diagrama de bloques de la etapa de alimentación.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.3.2 Etapa de adquisición de señales

Esta etapa está compuesta por cuatro sensores finales de carrera para cada compuerta, los cuales detectan los extremos del tornillo sin fin y envían las señales a la etapa de procesamiento para determinar los límites de apertura o cierre de las compuertas. En la figura 4-2, se puede observar el diagrama de bloques de esta etapa.

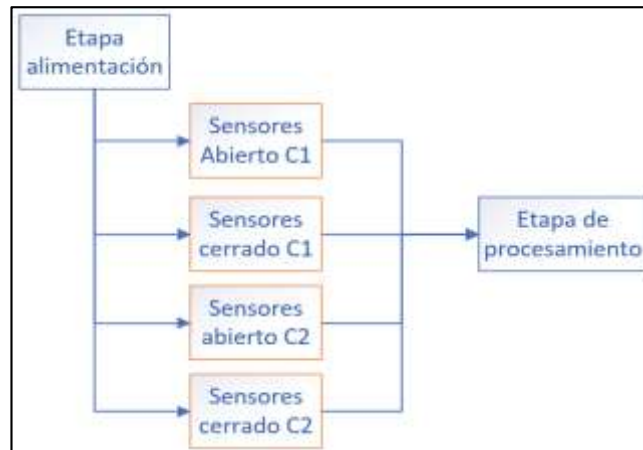


Figura 4-2: Diagrama de bloques de la etapa de adquisición de señales.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.3.3 Etapa de procesamiento

Esta etapa tiene como elemento principal al controlador Logo, el cual es el encargado de procesar las señales provenientes de los sensores finales de carrera, panel HMI y el Logo de la caseta principal. Una vez ejecutada esta acción se generan señales de salida, encargadas de activar los elementos de las etapas de potencia y visualización. En la figura 5-2, se puede observar el diagrama de bloques de esta etapa.

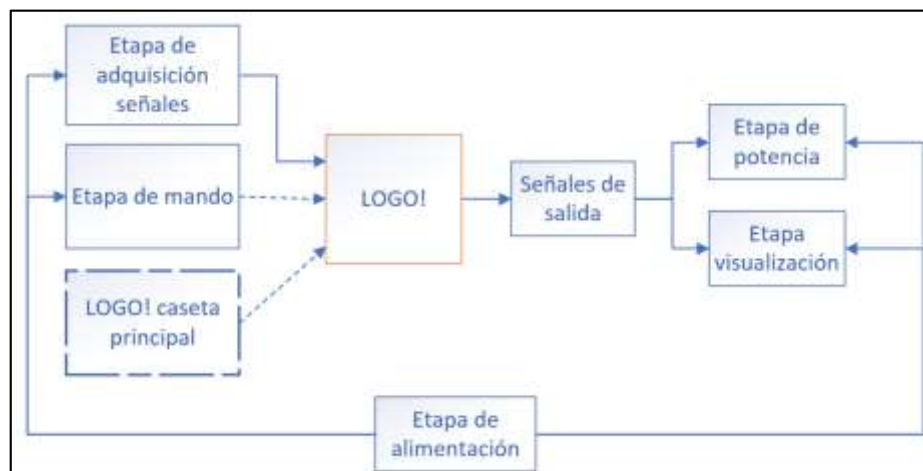


Figura 5-2: Diagrama de bloques de la etapa de procesamiento.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.3.4 Etapa de potencia

Etapa compuesta por los variadores de frecuencia y motores de cada compuerta. Desde la etapa de procesamiento se envían las señales de salida a los variadores permitiendo el arranque e inversión de giro de los motores, dicha acción desplaza el tornillo sin fin de tal manera que se abran o cierren las compuertas. En la figura 6-2, se puede observar el diagrama de bloques de esta etapa.

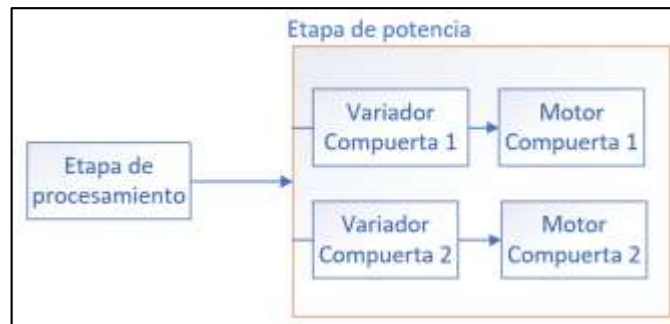


Figura 6-2: Diagrama de bloques de la etapa de potencia.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.3.5 Etapa de mando y visualización

Para que el sistema inicie su funcionamiento se requiere que el operador digite sobre el panel HMI, por lo que en su interfaz gráfica se encuentran los elementos virtuales de mando y visualización de sensores y actuadores, además puede presionar el botón de paro de emergencia para apagar el sistema. Las señales son enviadas y procesadas en el controlador el cual activa las salidas conectadas a la etapa de potencia y visualización dentro de la cual se encuentra la torre luminosa. En la figura 7-2, se puede observar el diagrama de bloques de esta etapa.

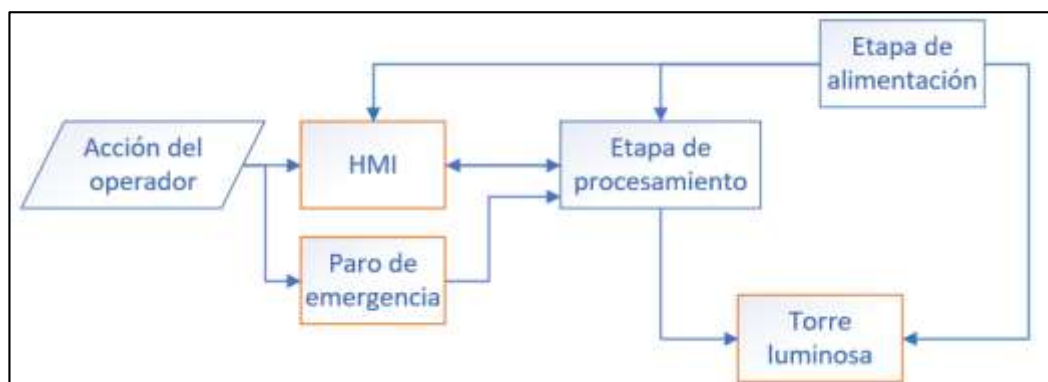


Figura 7-2: Diagrama de bloques de la etapa de mando y visualización.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.3.6 Etapa de comunicación

Esta etapa mediante una red Ethernet es la encargada de comunicar la etapa de procesamiento con el HMI y el Logo de la caseta principal.

2.4 Descripción de los elementos *hardware* del sistema

Luego del análisis de requerimientos de *hardware* y etapas que conforman el sistema, a continuación, se detallan las características más importantes de los componentes *hardware*.

2.4.1 Controlador Logo

El Micro PLC de la marca Siemens mostrado en la figura 8-2, es un dispositivo con 12 terminales, puede ser programado en lenguaje de contactos y BDF con hasta 130 bloques, además tiene la posibilidad de ampliar sus entradas y salidas digitales o analógicas a través de módulos DM/AM, respectivamente, y una interfaz Ethernet integrada que le permite comunicarse con otros módulos Logo o sistemas de SIMATIC S7. Se puede implementar en muchas soluciones de automatización gracias a su fácil programación y montaje simple (Siemens, 2021). Sus principales características son mostradas en la tabla 1-2.



Figura 8-2: Micro PLC LOGO 8 12/24RC

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Tabla 1-2: Características: Logo 12/24RC y Logo DM8 12/24R.

Características	Logo 12/24RC	Logo DM8 12/24R
Voltaje de entrada	24 V DC	24 V DC
Consumo de corriente	20 – 75 mA	20 – 75 mA
Entradas D/A	8 / 2, [0 – 10 V]	4
Salidas	4, Relé	4, Relé
Corriente de salida	10 A	10 A
Velocidad de respuesta	< 1.5 ms	< 1.5 ms
Tipo de comunicación	S7, Ethernet, GPRS, KNX, Modbus TCP/IP	--

Fuente: Logo, 2019

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.4.2 Variador de frecuencia

El variador de la serie FV20 0055G/0075L que se muestra en la figura 9-2, es un inversor de uso general de buenas características dinámicas y rendimiento estable (Kinco, 2019, p.1). En la tabla 2-2 se muestran las características técnicas más relevantes de este variador de frecuencia.



Figura 9-2: Variador de frecuencia Kinco FV20-0055G/0075L

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Tabla 2-2: Características: variador de frecuencia FV20

Características	Variador de frecuencia FV20
Tipo de voltaje de entrada	Monofásica
Voltaje [V]	220 V
Corriente de entrada [A]	14.5
Frecuencia	60 Hz
Voltaje alimentación carga [V]	180 – 260
Corriente de salida [A]	15
Carga [KW]	5.5
Modos de operación	Panel de operación, configuración de terminales, control por comunicación.

Fuente: Manual FV20, 2019

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.4.3 Sensores

En la figura 10-2 se muestra el sensor final de carrera Z-15 GW marca Camsco, con palanca tipo SPDT, un solo polo con corte doble (Camsco, 2021, p.121), es decir, un contacto abierto NO y un contacto cerrado NC. En la tabla 3-2 se muestran las principales características del sensor final de carrera.



Figura 10-2: Sensor final de carrera Camsco

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Tabla 3-2: Características: sensor final de carrera Z-15GW

Características	Sensor final de carrera
Alimentación	24 V DC
Vida útil [Operaciones, mín.]	Mecánicamente 1.000.000 Eléctricamente 100.000

Fuente: Camsco, 2019

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.4.4 Pantalla HMI

La pantalla Simatic KTP700 Basic de la marca Siemens, mostrada en la figura 11-2, es un panel de 7" que ofrece visualización de alta calidad y manejo de máquinas, su diseño de interfaz se realiza con WinCC Basic (Siemens, 2021). En la tabla 4-2 se muestran las principales características del Panel Touch Simatic KTP 700 Basic.



Figura 11-2: Pantalla HMI Simatic KTP 700 Basic

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Tabla 4-2: Características: pantalla HMI Simatic KTP700

Características	Simatic HMI KTP700 Basic
Voltaje de entrada	24 V DC
Consumo de corriente	750 mA
Número de colores	65536
Resolución	800 x 480
Puertos	USB, RJ45
Tipo de comunicación	S7, PROFINET, Modbus TCP/IP.

Fuente: Siemens, 2021

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.4.5 Motores

El motor marca Siemens, mostrado en la figura 12-2, es el encargado de proporcionar el movimiento al mecanismo del tornillo sin fin, asegurando un giro continuo durante un tiempo

suficientemente prolongado. Teniendo en cuenta el requerimiento se usa el motor cuyas características se muestran en la tabla 5-2.



Figura 12-2: Motor trifásico Siemens

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Tabla 5-2: Características: motor Siemens

Características	Motor
Voltaje de entrada [V]	220
Tipo de voltaje	Trifásico
Frecuencia [Hz]	60
Potencia [Hp]	5
Corriente [A]	14.6
Cos ϕ	0.86
Velocidad [Rpm]	1720
Grado de protección	IP44

Fuente: Catálogo Siemens, 2021

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.4.6 Elementos auxiliares

2.4.6.1 Torre luminosa

Se trata de una torre de señalización compuesta de 2 luces, en la parte inferior el color verde y en la superior el color rojo como se muestra en la figura 13-2. En la tabla 6-2 se muestran sus principales características.



Figura 13-2: Torre Luminosa Camsco

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Tabla 6-2: Características: torre luminosa LTA-205

Características	Torre Luminosa LTA-205
Voltaje de entrada	220 V
Colores	Verde, Rojo
Potencia de luz	Rojo: 10 W Verde: 5 W
Grado de protección	IP34

Fuente: Catálogo Camsco, 2019

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.4.6.2 Fuente de alimentación

La tabla 7-2 enumera cada uno de los componentes y muestra el consumo de corriente de cada dispositivo electrónico que conforma el prototipo.

Tabla 7-2: Consumo de corriente de los dispositivos

Elemento	Corriente consumo [mA]	Potencia [W]
Logo	75	1.8
Módulo DM8 12/24R	75	1.8
Entradas Logo: Finales de carrera	7.5	0.18
Salidas Logo: Terminales variador	9	0.22
Ktp700 Basic	750	5.52
Luz roja, torre luminosa	45	1.08
Luz verde, torre luminosa	22	0.53

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Según el resultado de la tabla anterior, el consumo de corriente total de los elementos conectados es menor a 1A, además, la fuente es seleccionada en base al voltaje de alimentación requerido por Logo, el módulo de entradas y salidas digitales y la pantalla HMI. Por lo que se usa una fuente DR-60-24, ya que es uno de los modelos que cuentan con una corriente de salida mínima de 2.5 A con respecto a otros modelos con 24 Vcd en su salida, véase la figura 14-2, y cuyas características se describen en la tabla 8-2.



Figura 14-2: Fuente de alimentación MW DR-60-24

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Tabla 8-2: Características: fuente de alimentación DR-60-24

Características	Fuente DR-60-24
Voltaje de entrada [V AC]	100 – 240
Corriente de entrada [A]	1.8
Voltaje de salida [V DC]	24
Corriente de salida [A]	2.5
Protecciones	Sobretensión, cortocircuito y sobrecarga

Fuente: WeidMüller, 2021

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.4.6.3 Elementos de protección

El interruptor termomagnético que se utiliza en el proyecto se muestra en la figura 15-2. En la tabla 9-2 se detallan las principales características, seleccionadas en base a la ecuación 1-1.



Figura 15-2: Interruptor termomagnético ABB

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Tabla 9-2: Características: interruptor termomagnético

Características	Termomagnético ABB
Voltaje [V]	220
Corriente [A]	40

Fuente: ABB, 2021

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.4.6.4 Dimensionamiento de conductores

En base a la ecuación 2-1 se determina que la corriente máxima de consumo del motor es de 14.25 Amperios, de acuerdo a la tabla de conductores del Anexo C el conductor a elegir es de tipo flexible #14 AWG, pero según la norma NEC-SB-IE para motores mayores a 3HP la sección mínima del conductor es de 3.31mm^2 el cual corresponde a un cable #12 AWG para cada motor respectivamente.

Para el dimensionamiento del conductor de la etapa de control, en base a la ecuación 3-1 se determina que el consumo de corriente es de 1 Amperio, por lo que el conductor elegido es de tipo THW flexible #20 AWG. De igual manera, mediante la ecuación 4-1 se dimensiona el

conductor de la acometida principal, la cual determina que el consumo total es de 29.5 Amperios, por lo que el conductor a elegir es tipo THW flexible #10.

En la tabla 10-2 se detalla los calibres de los conductores que se utilizan en el proyecto.

Tabla 10-2: Calibre de conductores

Conductor	Calibre
Motores	#12 AWG
Elementos de control	#20 AWG
Acometida	#10 AWG

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.5 Diagrama de conexión para el sistema

En las figuras 16-2, 17-2 y 18-2 se detallan los diagramas de conexión electrónica del prototipo con todos los elementos que lo conforman. La planimetría de las conexiones se encuentra en el Anexo D.

- El voltaje de alimentación para el variador y la fuente se toma desde la red monofásica 220 V localizada en el lugar de la instalación.
- El variador de frecuencia y la fuente de alimentación están conectados a la salida de un interruptor termomagnético y un portafusibles, respectivamente.
- El controlador se conecta mediante comunicación Ethernet a un switch, al cual están conectados el Logo de la caseta principal y el HMI, véase figura 16-2.

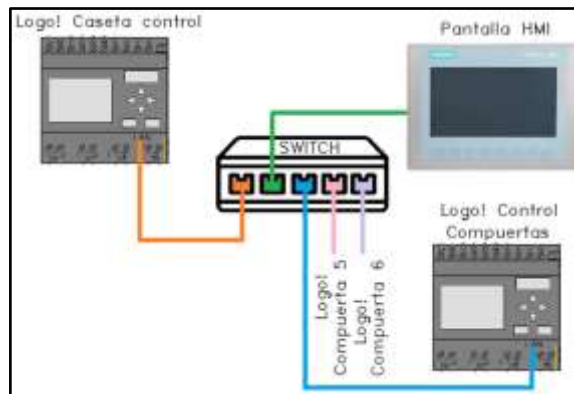


Figura 16-2: Diagrama de conexión de la red de logos y el HMI

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

- El voltaje de 24 VDC que sale de la fuente de alimentación se conecta en los terminales L+ y M del controlador Logo y del HMI.
- En los terminales I1, I2, I3, I4 del controlador se conectan los sensores finales de carrera, finalmente en I5 el paro de emergencia.

- Las salidas Q1 y Q3 se conectan en el borne X1 de los variadores, mientras que las salidas Q2 Y Q4 en los bornes X2.
- El terminal 2 de las salidas cierra el circuito con el terminal COM de ambos variadores.
- Las salidas Q3 y Q4 del módulo de E/S digitales se conectan a las señales de luz verde y roja de la torre luminosa, véase figura 17-2.

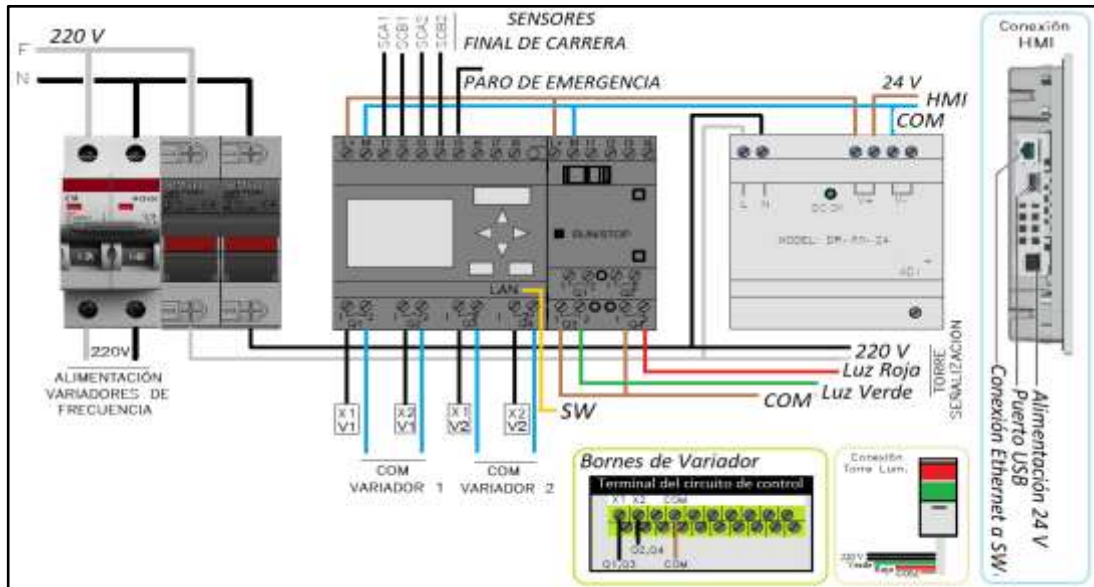


Figura 17-2: Diagrama de conexión del circuito de control.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

- Las salidas U-V-W del variador se conectan al motor trifásico.
- Las entradas digitales X1 y X2 están configuradas para el arranque y cambio de giro del motor, véase figura 18-2.
- Ambos variadores de frecuencia mantendrán la misma conexión en las entradas digitales X1, X2 y común.

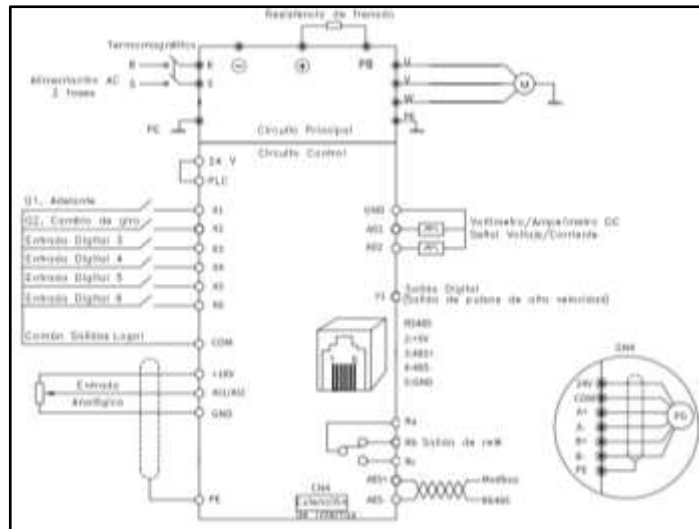


Figura 18-2: Diagrama de conexión del variador de frecuencia.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.6 Herramientas de *software* del sistema

La selección del software depende del fabricante de cada elemento. El diseño del tablero utiliza el *software* SolidWorks, el controlador emplea LogoSoft Confort. La configuración, diseño del HMI y comunicación con el controlador es a través de TIA Portal, por último, la interfaz HMI del computador en Lookout y el servidor OPC mediante KEPServerEX 6.

2.6.1 *LogoSoft Confort*

Software multilingüe para la creación de programas que ponen en funcionamiento al controlador Logo ya sea solo o en red. Incorpora funciones de simulación y pruebas en línea, además permite controlar y monitorear tareas mediante la creación de páginas web personalizadas con Logo Web Editor. Maneja dos lenguajes de programación, diagrama de funciones (FBD) o diagramas de contactos (LC) (Siemens, 2021).

2.6.2 *TIA Portal V15*

Portal de automatización integrada que proporciona acceso sin restricciones a la gama completa de servicios SIEMENS, desde la planificación digital, ingeniería aplicada y operación transparente. Reúne varias herramientas dentro del entorno de trabajo aportando un importante ahorro de desarrollo y formación, además de una mayor claridad y sencillez en aplicaciones.

Dichas herramientas, permiten la configuración, programación y parametrización de los elementos más usados dentro de la automatización. Según Centeno (2017, p.29) TIA Portal cuenta con las siguientes herramientas:

- STEP 7 BASIC

Herramienta que permite la configuración y programación de los distintos controladores de la gama S7.

- WIN CC BASIC

Herramienta para el diseño de interfaces en pantallas Simatic, con el objetivo de que el operador observe e interactúe con el sistema.

2.6.2.1 Entorno de programación

En la figura 19-2 se identifican tres bloques principales dentro de la ventana de trabajo, el primero se denomina árbol del proyecto, dentro de este existen varios menús y submenús que permiten trabajar en el desarrollo de la interfaz. El segundo bloque corresponde al área de trabajo, siendo una representación virtual de la pantalla HMI que se está configurando. El último bloque se denomina "task cards" dentro de este se encuentran varias pestañas de herramientas, configuraciones y objetos a utilizar en el bloque dos (Centeno, 2017, p.33).

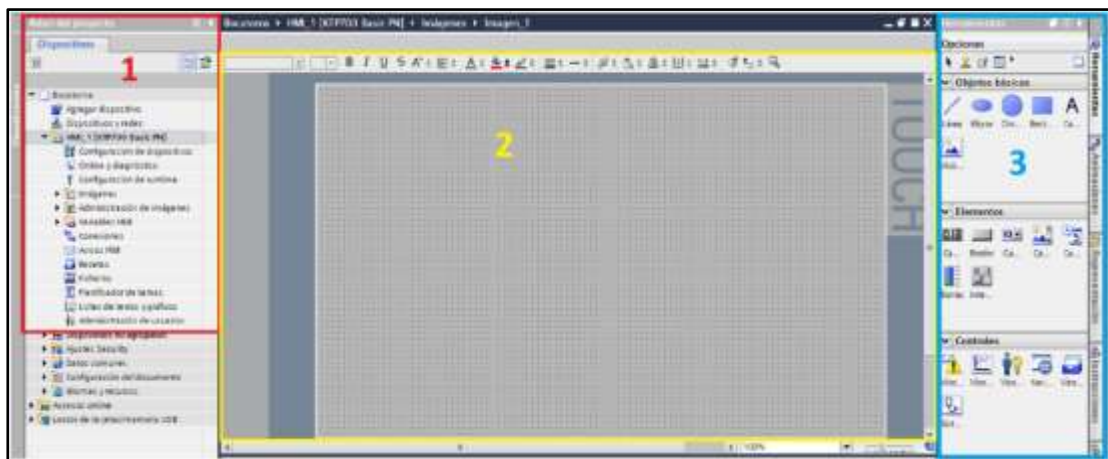


Figura 19-2: Entorno de programación en TIA Portal

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.6.3 KEPServerEX 6

Software para adquisición de datos en formato estándar compatible con cualquier plataforma. Cuenta con una biblioteca de más de 150 drivers y conexiones avanzadas para miles de dispositivos y otras fuentes de datos. Características como la disponibilidad de múltiples drivers,

optimización y seguridad de comunicaciones, diagnóstico fácil y seguro hacen que este *software* sea escalable (PTC, 2021).

2.6.4 NI Lookout 6.7.1

Software usado en monitorización y control de operaciones a través de un computador en sistemas industriales que necesitan tecnologías de *software* HMI/SCADA, con el fin de dar respuesta a necesidades como el control remoto, comunicaciones por *hardware*, creación de informes y trazado de tendencias. Según National Instruments (2000, p.1), Lookout incluye las siguientes funciones:

- OPC
- Comunicación inalámbrica.
- Arquitectura distribuida basada en objetos.
- Vigilancia y control en Internet.

2.6.5 SolidWorks 2018

Este *software* CAD simplifica el diseño mecánico a través de herramientas específicas e interfaces intuitivas, permitiendo la construcción y montaje de máquinas, plantas, motores, elementos de control, armarios y rieles DIN. Para lo cual integra la sincronización de trabajos en 2D y 3D tanto en las piezas mecánicas como eléctricas (Vásquez, 2017).

2.6.6 Wireshark

Tiene como principal objetivo el análisis de tráfico de datos, siendo una excelente aplicación didáctica para el estudio de las comunicaciones y resolución de problemas. A través de una interfaz sencilla e intuitiva que permite desglosar por capas cada uno de los paquetes capturados, proporcionando al administrador de redes la ayuda necesaria para poder visualizar la estructura de los protocolos, campos de cada una de las cabeceras y capas que componen los paquetes (OSI, 2021).

2.7 Distribución de elementos en el tablero de control

Los elementos deben ir ubicados dentro del gabinete de dimensiones 80x60x30 cm, que se muestra en la figura 20-2, fabricado con acero laminado bajo la norma NEMA 250. Este cuenta con un grado de protección IP64 contra agentes externos garantizado por el empaque de poliuretano expandido sobre su puerta.



Figura 20-2: Gabinete servicio pesado, tapa ciega

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

El diseño del tablero de control considera el tamaño, cantidad y funcionamiento de los dispositivos electrónicos que se van a albergar en su interior. En la tabla 11-2 se describe la ubicación de los diferentes elementos utilizados en este proyecto.

Tabla 11-2: Ubicación de elementos en el tablero de control

Cantidad	Elemento	Ubicación
1	Pantalla KTP700	Puerta del gabinete
1	Paro de emergencia	Puerta del gabinete
3	Dispositivos de protección	Interior del gabinete
1	Logo	Interior del gabinete
1	Módulo E/S	Interior del gabinete
2	Variadores de frecuencia	Interior del gabinete
1	Fuente de alimentación	Interior del gabinete
Varios	Conductores y canaletas	Interior del gabinete
Varios	Borneras y repartidores de carga	Interior del gabinete
1	Torre luminosa	Exterior del gabinete
3	Prensaestopas $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$	Exterior del gabinete

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.7.1 Diseño en SolidWorks

Previo a la implementación del tablero de control, como se observa en la figura 21-2, mediante el *software* SolidWorks, se realiza el diseño, distribución y montaje virtual de cada uno de los elementos que se ubican interna y externamente en el tablero, en la figura 22-2 y 23-2 se grafica la vista frontal externa e interna del diseño final del tablero de control del proyecto.

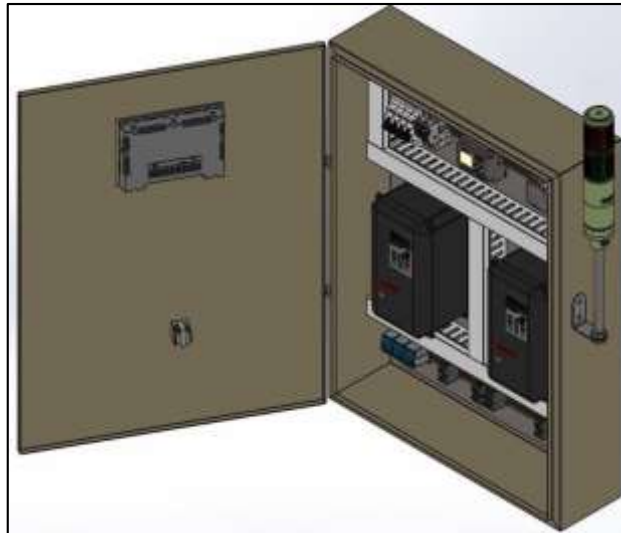


Figura 21-2: Diseño y distribución de elementos en SolidWorks

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

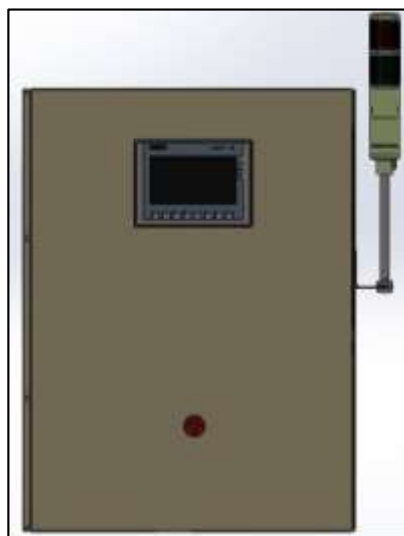


Figura 22-2: Vista externa del tablero de control en SolidWorks

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

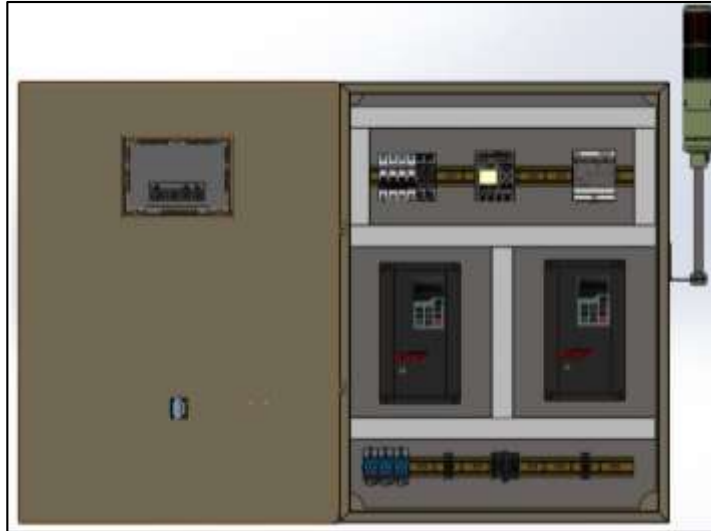


Figura 23-2: Vista interna del tablero en SolidWorks

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.7.2 Montaje e instalación del tablero

Posterior al diseño virtual se procede a la implementación y montaje físico del tablero, como se observa en la figura 24-2, se colocan y aseguran los variadores, canaletas y rieles DIN mediante tornillos autopercutor, sobre los cuales se ubicarán los elementos que conforman las etapas de procesamiento y alimentación, además repartidores de carga y borneras. Luego se realiza el machinado de los terminales y las conexiones de los componentes en base al diagrama que se detalla en las figuras 17-2, 18-2 y en el Anexo F, para esto es necesario tomar en consideración los calibres de conductores dimensionados con anterioridad, véase tabla 10-2.



Figura 24-2: Montaje y cableado de elementos

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Una vez ubicados los sensores finales de carrera sobre las estructuras metálicas y realizadas todas las conexiones, se instala y energiza el tablero en la bocatoma del sistema de riego Chambo-Guano, en la figura 25-2 se observa el tablero de control final.



Figura 25-2: Vista frontal e interior del tablero

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.8 Configuración de parámetros en el variador de frecuencia

- Previo a energizar y encender el variador de frecuencia se debe comprobar si las conexiones y voltajes de alimentación son correctos.
- El variador inicialmente se encenderá con sus parámetros de fábrica, los cuales deben ser modificados desde el panel de operador, el *display* muestra la secuencia 0.0.0.0.
- Con el botón MENÚ y las flechas de navegación se seleccionan los menús de programación del variador.
- Posteriormente se configuran los parámetros básicos mostrados en la tabla 12-2.

Tabla 12-2: Parámetros básicos del variador de frecuencia

Parámetro	Nombre	Descripción
A0.01	Modo de control	2: Control Voltaje/Frecuencia
A0.03	Establecer la frecuencia de funcionamiento.	60 Hz
A0.04	Métodos para ingresar comandos operativos.	1: Terminal de control
A6.00	Terminal multifunción X1	1: Adelante
A6.01	Terminal multifunción X2	2: Reversa

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

- Para establecer los parámetros que se detallan en la tabla 13-2, se realiza la configuración del menú B0.00. Dentro del manual del variador FV20, del anexo H, se muestra la lista completa de parámetros adicionales que pueden configurarse.

Tabla 13-2: Datos de placa de los motores

Parámetro	Nombre
B0.00	Potencia del motor [Kw]
B0.01	Voltaje del motor [V]
B0.02	Corriente del motor [A]
B0.03	Frecuencia de trabajo del motor [Hz]
B0.05	Velocidad del Motor [RPM]

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

- Finalmente, si estas condiciones no se cumplen, el variador emite una señal de aviso y se desconecta inmediatamente, por otro lado, si no existe falla, el motor arrancará y cambiará de sentido de giro, dependiendo de las señales enviadas desde la etapa de procesamiento.

En el gráfico 1-2 se describe el diagrama de flujo para la puesta en marcha y configuración del variador de frecuencia.

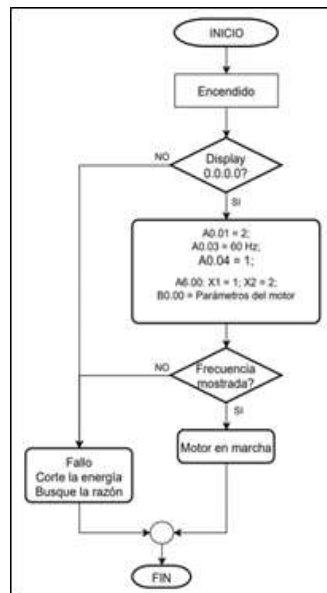


Gráfico 1-2: Diagrama de flujo de la programación del variador de frecuencia

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.9 Comunicación HMI-LOGO.

Para poder comunicar el Logo y el panel KTP700 Basic, se debe configurar algunos parámetros dentro del *software* LogoSoft Confort y WinCC Basic de TIA Portal, los cuales se detallan a continuación:

- Asignar direcciones IP al Logo, panel HMI y PC, de tal manera que todas se encuentren dentro de la misma subred. En la tabla 14-2 se especifican las direcciones IP utilizadas para el desarrollo de este proyecto.

Tabla 14-2: Direcciones IP y máscaras de subred en los dispositivos

Dispositivo	Dirección IP	Máscara de subred
LOGO compuertas	192.168.0.30	255.255.255.0
LOGO caseta	192.168.0.40	255.255.255.0
HMI	192.168.0.20	255.255.255.0
PC	192.168.0.15	255.255.255.0

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

- Crear un proyecto en LogoSoft Confort y añadir los dispositivos que se requieran para la conexión. Como se observa en la figura 26-2, dentro de la ventana desplegada seleccionar nuevo dispositivo, Logo 0BA8 y configurar la dirección IP correspondiente.



Figura 26-2. Selección de dispositivos en LogoSoft

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2020.

- En TIA Portal, realizar la conexión con el driver de comunicación entre el HMI y el Logo. Para lo cual, se crea un nuevo proyecto, agrega y selecciona “SIMATIC Basic Panel KTP700 6AV2 123-2GB03-0AX0 como se muestra en la figura 27-2.

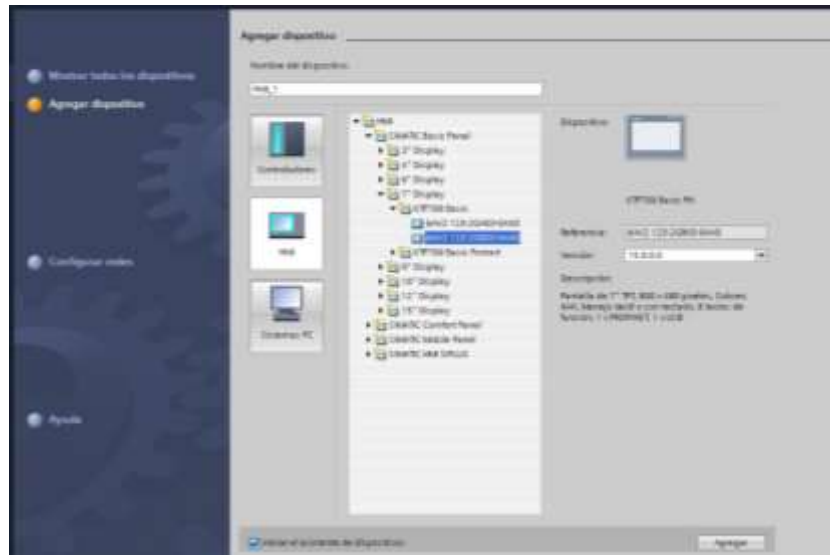


Figura 27-2. Selección de dispositivos TIA portal.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2020.

Luego se elige la pestaña "Conexiones", ubicada en el menú del lado izquierdo de la pantalla de navegación. Seguidamente para crear el enlace, se selecciona "Logo" como driver de comunicación. Finalmente se agregan las direcciones IP de los dispositivos "HMI y PLC", de acuerdo a la tabla 13-2, en la opción "Dispositivo HMI y PLC", como se observa en la figura 28-2.

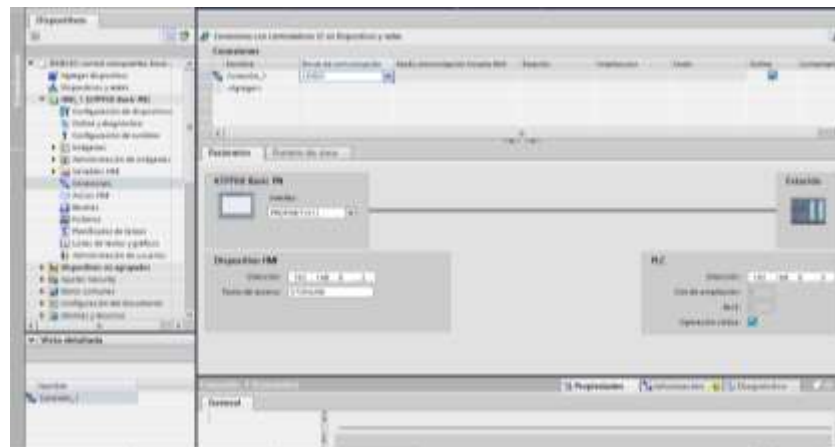


Figura 28-2. Driver de comunicación con Logo.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2020.

A continuación, se crea la tabla de variables estandar, con las variables analógicas y digitales que se tienen en el programa, asignándoles el "Nombre, tipo de dato y la Conexión", como se muestra en la figura 29-2.

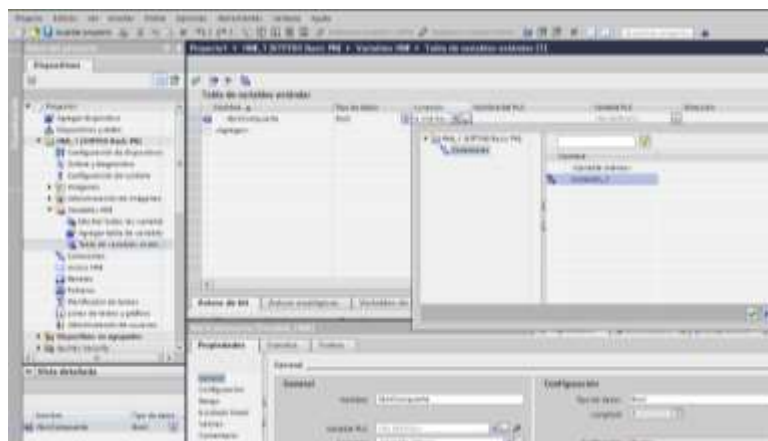


Figura 29-2. Asignación de tabla de variables estándar.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2020.

Se debe tomar en consideración la relación entre la nomenclatura de las variables en ambos programas, esto quiere decir que la memoria M1 de LogoSoft se convertirá en M0.0 de TIA Portal. En la tabla 15-2 se detallan las variables que se utilizaron en el desarrollo de este proyecto con su respectivo formato en cada uno de los programas antes mencionados.

Tabla 15-2: Nomenclatura de variables y memorias en LogoSoft y TIA Portal

Descripción	Variables Compuerta 1		Variables Compuerta 2	
	LogoSoft	TIA Portal	LogoSoft	TIA Portal
F. C. Abrir	I1	-	I3	-
F. C. Cerrar	I2	-	I4	-
Paro emergencia	I5	-	I5	-
Motor fordware	Q1	-	Q3	-
Motor reverse	Q2	-	Q4	-
Luz roja	Q7	-	Q7	-
Luz verde	Q8	-	Q8	-
Selector	M1	M0.0	M2	M0.1
Abrir	M3	M0.2	M4	M0.3
Cerrar	M5	M0.4	M6	M0.5
Paro auto	M7	M0.6	M9	M1.0
Sube compuerta	M10	M1.1	M16	M1.7
Cierra compuerta	M11	M1.2	M17	M2.0
F. C. Abrir	M12	M1.3	M13	M1.4
F. C. CerrarV	M14	M1.5	M15	M1.6
M. mantenimiento	M18	M2.1	M18	M2.1
M_motor	M19	M2.2	M20	M2.3
Bloqueo HMI	V0.0	-	V0.0	-
Nivel canal	VW1	-	VW1	-

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Por último, se desarrolla el programa en el lenguaje diagrama de funciones, para que permita la activación y funcionamiento del sistema, véase Anexo G, este programa se desarrolla en base al GRAFCET que se observa en la figura 30-2.

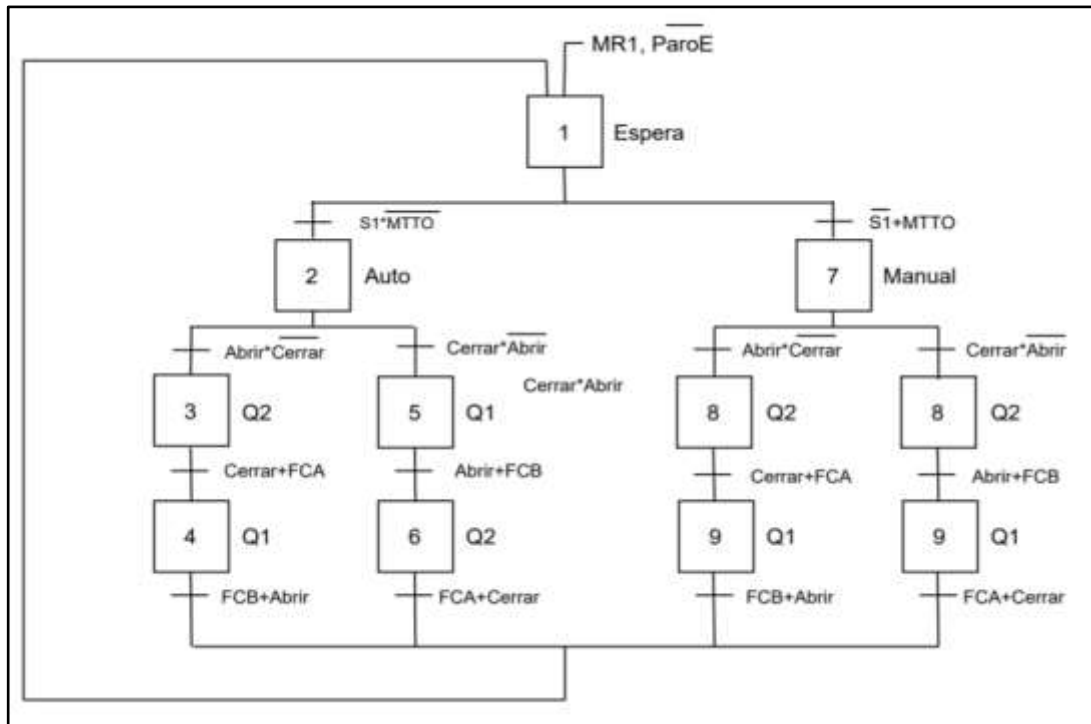


Figura 30-2. GRAFCET de la programación en LogoSoft

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

- Una vez definidas las variables y según el estado asignado a la memoria de red (MR1) se determina el bloqueo del HMI, si el bit está en alto la pantalla permanecerá bloqueada y la luz roja de la torre luminosa parpadeará, caso contrario, se activan los mandos para el control de las compuertas.
- Tanto el paro de emergencia “ParoE” como el botón "Paro auto" deben permanecer en bajo, caso contrario el sistema de control se desactiva, los motores paran independientemente de la posición de las compuertas. No se iniciará hasta que "ParoE" sea desactivado.
- El selector “S1” mantiene dos posiciones, se activa el modo automático cuando el bit está en alto y si no cumple esta condición el sistema está en modo manual.
- En el modo automático, para subir o cerrar las compuertas los finales de carrera no deben estar activados. Si estas condiciones se cumplen el controlador enviará una señal de activación al terminal X1 o X2 para que los variadores de frecuencia activen los motores. En ambos casos la luz verde de la torre luminosa parpadea indicando que el sistema está operando. Si los finales de carrera son detectados o los paros activados, el motor se detiene y la luz deja de parpadear.

- En el modo manual, se cumple las mismas condiciones que en el automático con la diferencia de que en este modo no se enclavan las memorias, por lo que es necesario que el operador mantenga pulsado el botón "Abrir" o "Cerrar".
- El modo mantenimiento (MTTO) bloquea el modo automático con la finalidad de que el operador tenga mayor control sobre la posición de la compuerta y verifique el estado de las rejillas.
- Los procesos anteriores se repiten para ambas compuertas realizando un trabajo independiente.

En el gráfico 3-2 se presenta el diagrama de flujo utilizado para la programación del Logo.

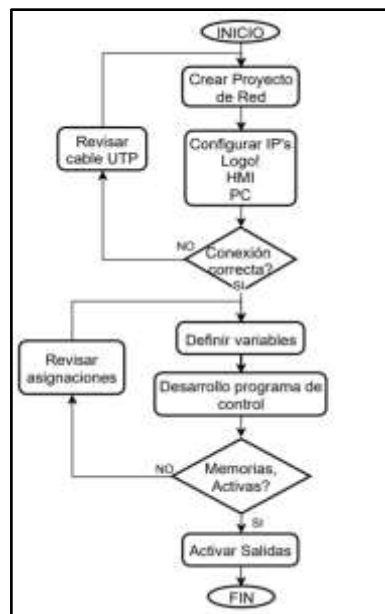


Gráfico 2-2: Diagrama de flujo de la programación en LogoSoft

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Logo-Lookout

Para poder comunicar el Logo con NI Lookout, se debe configurar algunos parámetros dentro del *software* de Logo, KEPServerEX 6 y Lookout, los cuales se detallan a continuación:

- Asignar direcciones IP según la tabla 13-2.
- Dentro del proyecto desarrollado con anterioridad se crea una nueva conexión ethernet como servidor mediante el protocolo S7.
- Debido a que Logo y Lookout no pueden tener conexión directa se hace uso de un servidor OPC del software KEPServerEX 6, en el cual se agrega una nueva conexión donde se añade y configura un nuevo canal, “Siemens TCP/IP Ethernet, como se observa en la figura 31-2.

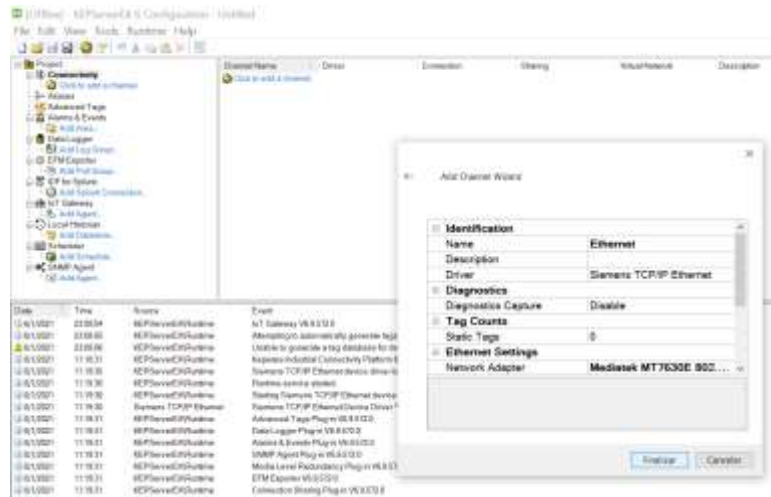


Figura 31-2. Creación de un nuevo canal en KepServerEx 6

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2020.

Sobre el canal creado, se añade y configura un nuevo dispositivo, en este caso “Logo_8”. Haciendo uso del driver de comunicación S7-200, se relacionan las variables de este dispositivo con el Logo. Una vez reconocido el dispositivo, se crean tags que sirven como direcciones para que el servidor OPC pueda enviar o recibir información. En este caso, se debe considerar la relación entre la nomenclatura del PLC S7-200 y del Logo, asignando memorias según la tabla 14-2, véase la figura 32-2.

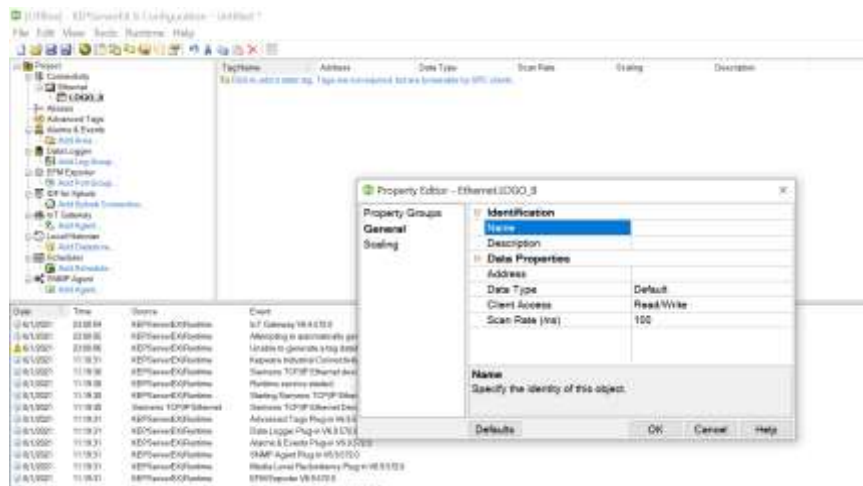


Figura 32-2. Creación de Tags en KepserverEx 6.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2020.

- Dentro de Lookout, crear el objeto “ClientOPC”, asignarle un nombre, en este caso “OPC_LOGO_8”, luego se elige el servidor OPC, que corresponde a KepwareKEPServerEXV6, como se muestra en la figura 33-2.



Figura 33-2. Creación del Cliente OPC para Lookout.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2020.

Por último, se asignan las direcciones de los Tags a cada uno de los botones, expresiones e indicadores creados en la interfaz, como se muestra en la figura 34-2.



Figura 34-2. Asignación Tags a cada elemento del interfaz.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2020.

En el gráfico 2-2 se observa el diagrama de flujo para la creación del servidor OPC en KEPServerEX 6 y su conexión con LogoSoft.

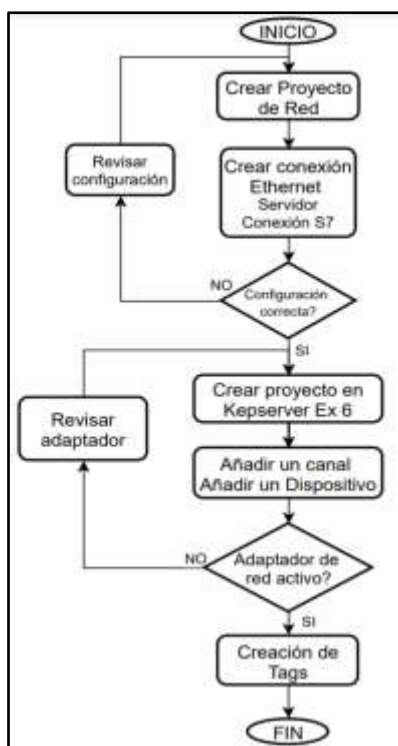


Gráfico 3-2: Diagrama de flujo de la conexión LogoSoft con KepServer

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

2.9.1 Diseño de interfaz en KTP 700 y Lookout

La interfaz HMI permite al sistema trabajar en modo manual, automático y de mantenimiento, para lo cual consta de una ventana principal y una secundaria. En la figura 35-2 se presentan las ventanas principales de las dos HMI desarrolladas, las cuales contienen los selectores y botones para apertura, cierre y paro, además de los indicadores de nivel del canal y el estado de los sensores y motores, en la tabla 16-2 se detalla la función de cada uno de estos elementos. La figura 36-2 presenta la ventana secundaria de la interfaz desarrollada en Lookout. Con la pantalla KTP700 se tiene una comunicación directa mediante el protocolo S7, debido a que ambos dispositivos pertenecen a la familia Siemens, a diferencia de Lookout, que requiere de un OPC para su comunicación.

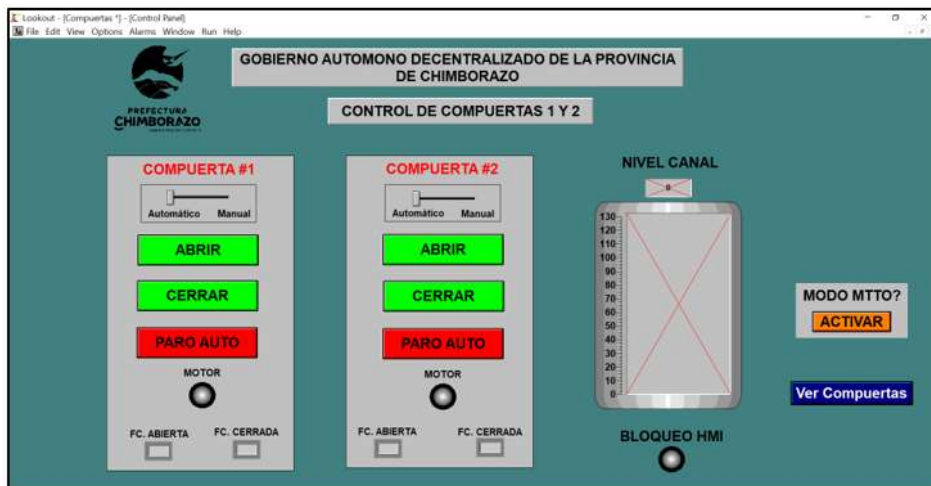


Figura 35-2: Pantalla principal del HMI en KTP700 y Lookout

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

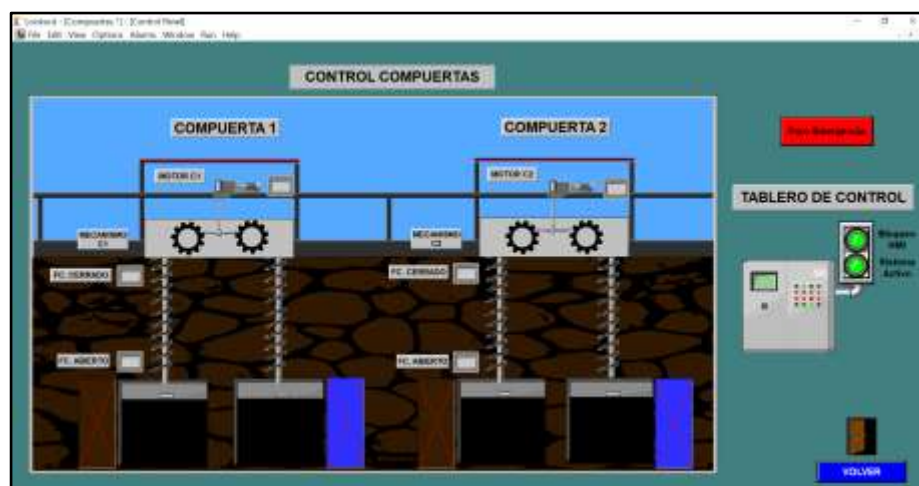
























Figura 36-2: Pantalla de visualización del estado de las compuertas

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Tabla 16-2: Descripción: función de botones e indicadores en HMI

Función	Elemento	
Selector: este interruptor permite seleccionar el modo de trabajo, sea Automático o Manual.		
El botón Abrir tiene la función de enviar la señal al variador de frecuencia para que se active el motor.		
El botón cerrar tiene la función de enviar la señal al variador de frecuencia para que se active el cambio de giro en el motor.		
Este botón permite parar el motor aun cuando los finales de carrera no son detectados, funciona únicamente en el modo automático.		
El botón permite vincular la pantalla secundaria.		
Permite retornar a la pantalla principal.		
Indicador que permite visualizar el estado del motor, cuando el motor está en funcionamiento se pone en color amarillo, acompañado de flechas que indican el movimiento que realiza la compuerta.		
Indicador que permite visualizar el estado de los sensores, al detectar se activan de color amarillo.		
Indicador que permite visualizar si el HMI está bloqueado desde la caseta principal		
Selector que permite elegir si se desea ingresar al modo mantenimiento.		
Indicadores que permiten visualizar el nivel de agua que existe en el canal principal, en diagrama de barras como en números decimales.		

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Como se presenta en la figura 37-2, la ventana secundaria en la KTP700 se activa tras pulsar el botón de mantenimiento y sirve para bloquear el modo automático.



Figura 37-2: Pantalla secundaria del HMI KTP700

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

CAPÍTULO III

3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos de pruebas realizadas al prototipo, con la finalidad de garantizar el cumplimiento de los requerimientos planteados. Tomando en consideración el cálculo del número de muestras en base a la ecuación 1-3, donde se estima un tamaño poblacional basado en la activación del sistema 15 veces por cada hora durante 10 horas.

Ecuación 1-3 Cálculo del tamaño de la muestra finita

$$n = \frac{N \cdot Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N - 1) \cdot Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde:

n : tamaño de la muestra buscada

N : Tamaño de la población o universo

Z : Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza

e : Error de estimación máximo aceptado

p : Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

$q = (1 - p)$: Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

El porcentaje de nivel de confianza está asociado a un número decimal, en este estudio se consideró dentro del cálculo el 99%, que equivale a un valor de 2.58. Obteniendo como resultado una cantidad de 123 muestras, para evaluar la comunicación entre los dispositivos.

3.1 Pruebas de comunicación

El objetivo de esta prueba fue determinar el estado de la comunicación entre los dispositivos, evaluando los campos que componen la trama del protocolo S7, para cada una de las solicitudes de trabajo, con sus tiempos de respuesta.

3.1.1 Análisis de las tramas

Se hizo uso del *software* Wireshark para realizar un análisis de la trama del protocolo de comunicación S7. Para lo cual, se ejecutaron varias combinaciones con las principales

interacciones sobre el HMI, descritas en la tabla 1-3, con la finalidad de obtener las 123 muestras antes mencionadas.

Tabla 1-3: Principales interacciones con los HMI del sistema

Muestra	Acción	Ubicación	Resultado en tablero	Indicadores en HMI
1	MODO AUTOMÁTICO Pulsar ABRIR C1 y C2	HMI	Salidas Q1 y Q3 activas. Torre Luminosa, color verde: Parpadea.	Motor 1 y 2: ON. Flechas arriba ON Estado del Sistema: Abriendo compuertas
2	MODO AUTOMÁTICO Pulsar CERRAR C1 y C2	HMI	Salidas Q2 y Q4 activas. Torre Luminosa, color verde: Parpadea.	Motor 1 y 2: ON. Flechas abajo: ON Estado del Sistema: Cerrando compuertas.
3	MODO AUTOMÁTICO Pulsar CERRAR C1 y ABRIR C2	HMI	Salidas Q2 y Q3 activas. Torre Luminosa, color verde: Parpadea.	Motor 1 y 2: ON. Flecha abajo y arriba: ON Estado del Sistema: Cerrando C1 y Abriendo C2.
4	MODO AUTOMÁTICO Pulsar ABRIR C1 y CERRAR C2	HMI	Salidas Q1 y Q4 activas. Torre Luminosa, color verde: Parpadea.	Motor 1 y 2: ON. Flecha arriba y flecha abajo: ON Estado del Sistema: Abriendo C1 y Cerrando C2.
5	Pulsar PARO AUTO C1 Y C2	HMI	Salidas desactivadas. Torre Luminosa, color verde: OFF.	Motor 1 y 2: OFF. Flechas: OFF. Estado del Sistema: Detenido.
6	SELECCIÓN MODO MANUAL Mantener pulsado ABRIR C1 o C2	HMI	Salidas Q1 o Q3 activas. Torre Luminosa, color verde: Parpadea.	Motor 1 o 2: ON Flecha arriba: ON Estado del Sistema: Abriendo compuerta C1 o C2.
7	SELECCIÓN MODO MANUAL Mantener pulsado CERRAR C1 o C2	HMI	Salidas Q2 o Q4 activas. Torre Luminosa, color verde: Parpadea.	Motor 1 o 2: ON Flecha abajo: ON Estado del Sistema: Cerrando compuerta C1 o C2.
8	Activación FC. Cerrado C1 y/o C2	Sistema mecánico	Entrada I1 e I3: Desactivadas. Variador V1 y V2 detenidos.	FC. Cerrado C1: ON FC. Cerrado C2: ON Estado del Sistema: Detenido.
9	Activación FC. Abierto C1 y/o C2	Sistema mecánico	Entrada I2 e I4: Desactivadas. Variador V1 y V2 detenidos.	FC. Abierto C1: ON FC. Abierto C2: ON Estado del Sistema: Detenido.
10	BLOQUEO HMI	HMI	Torre Luminosa, color rojo: Parpadea.	Indicador de bloqueo: ON Estado del sistema: Inactivo.
11	DESBLOQUEO HMI	HMI	Torre Luminosa, color rojo: OFF.	Indicador de bloqueo: OFF Estado del sistema: Activo.

12	Pulsar MODO MANTENIMIENTO	HMI	Bloqueo memorias: Modo Automático	Bloqueo de Modo Automático para ambas computertas.
13	Activar PARO DE EMERGENCIA	Tablero computertas	Salidas desactivadas	Sistema detenido por completo.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021

En la figura 1-3a, 1-3b y 1-3c, se observan las 123 tramas capturadas durante el transcurso de 10 horas, al detener el análisis se muestran los tiempos de comunicación y campos que conforman las tramas ethernet, dentro de los cuales están las direcciones de origen, destino, tamaño de datos, preámbulo y FCS.

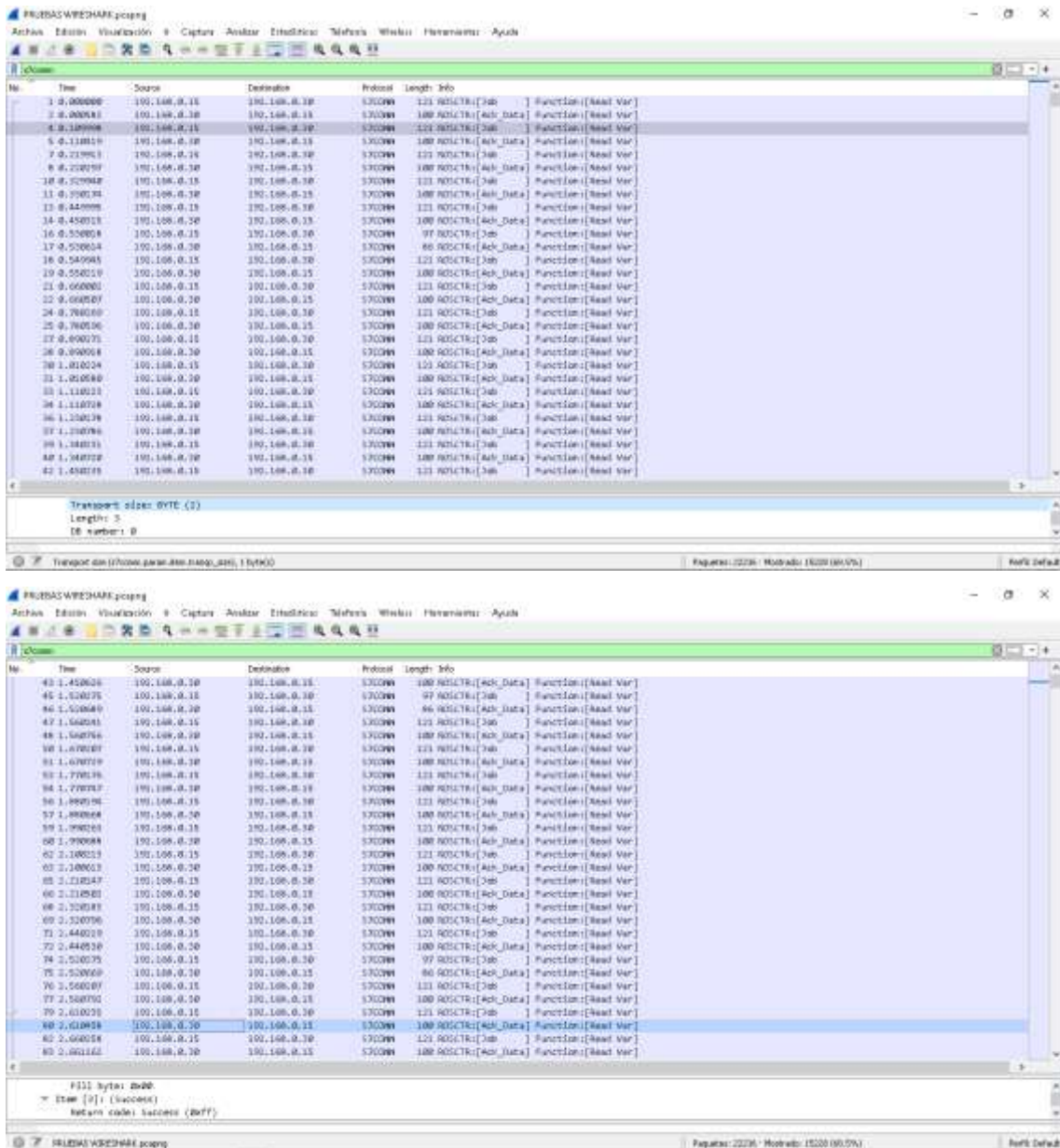


Figura 1-3a: Paquetes capturados con el software Wireshark, Logo-PC

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

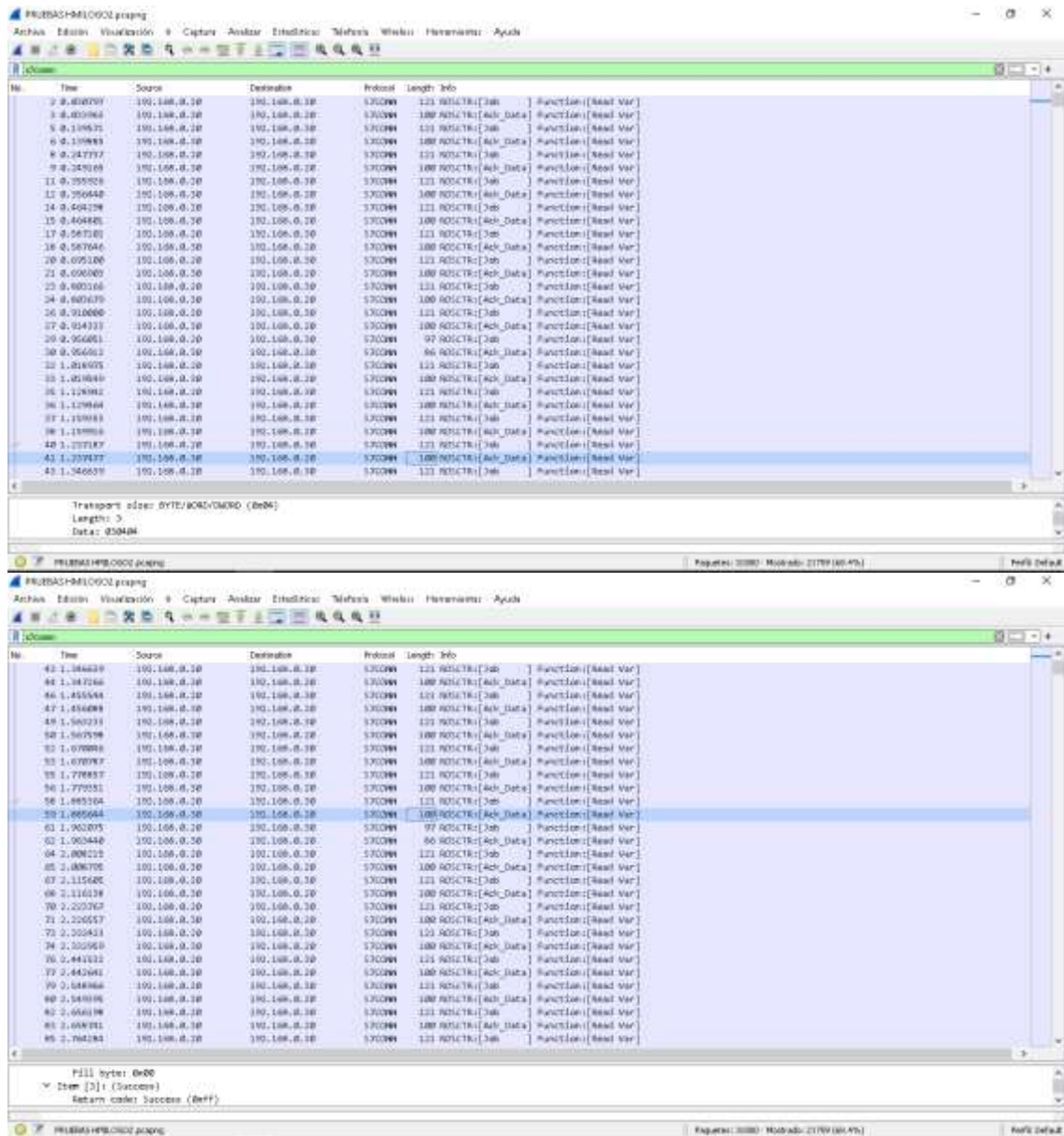


Figura 1-3b: Paquetes capturados con el software Wireshark, Logo-KTP700

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

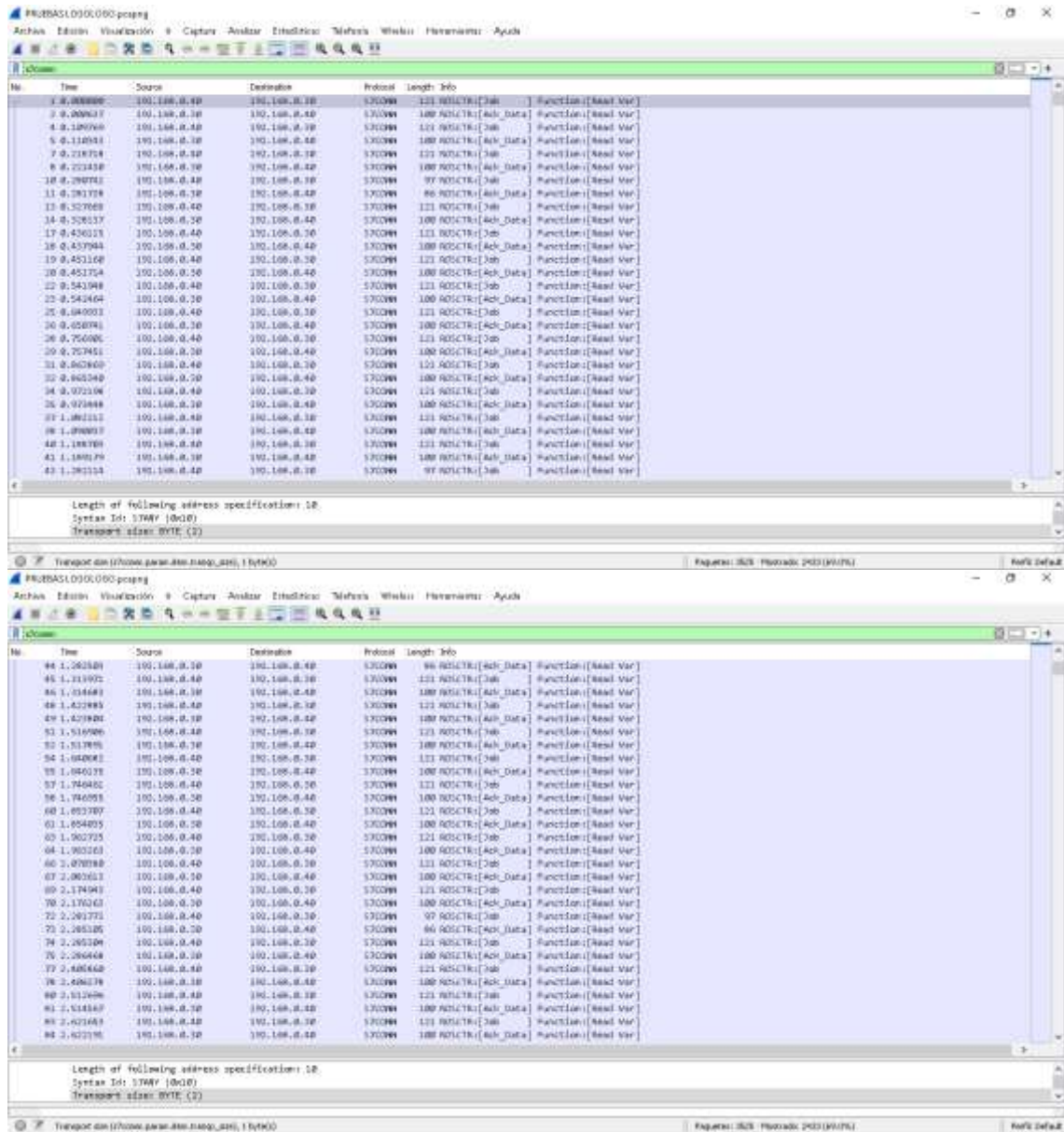


Figura 1-3c: Paquetes capturados con el software Wireshark, Logo-Logo

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Una vez finalizada la captura de tramas, se realizó la evaluación de los campos que componen las cabeceras del protocolo Ethernet, verificando en la tabla 2-3 que la trama número 1 consta de 121 bytes, donde la dirección de origen fue la IP de la PC (192.168.0.15), con destino a la IP del logo (192.168.0.30). Es importante notar que el tamaño de la cabecera de la trama capturada fue de 20 bytes conformados por 7 bytes de preámbulo, 6 bytes de dirección de origen, 6 de destino y 1 byte de delimitador de comienzo. Además, el valor hexadecimal en el campo “*protocol ID*”, se mantuvo en 0x32 lo que indica que se está comunicando a través del protocolo S7, otro de los campos que se tiene en consideración es el tipo de mensaje, ROSCTR, cuyo valor se mantuvo en 0x01, lo que representa que fue una solicitud de trabajo, “*JOB*”, enviada por el maestro que en este caso es el HMI, estos parámetros se pueden observar en la figura 2-3.

Tabla 2-3: Principales campos para evaluar el estado de la conexión

	Solicitud de trabajo	Respuesta
Dirección de origen	192.168.0.15	192.168.0.30
Dirección de destino	192.168.0.30	192.168.0.15
Cabecera		
Protocolo ID	0x32	0x32
Tipo de mensaje	JOB	ACK-DATA
ROSCTR	0x01 (1)	0x03 (3)
Longitud del parámetro	50	2
Longitud de los datos	0	25
Parámetro		
Función	Read Var (0x04)	Read Var (0x04)
Contador Item	4	4
Datos		
Item 3	I0.0 BYTE 1	I0.0 BYTE 1
Sintaxis ID	S7ANY (0X10)	-
Código de retorno	-	Success (0xff)
Tamaño transportado	BYTE (2)	BYTE/WORD/DWORD (0X04)
Longitud	1	1
Área	Input (0x81)	-
Item 4	Q0.0 BYTE 1	Q0.0 BYTE 1
Sintaxis ID	S7ANY (0X10)	S7ANY (0X10)
Código de retorno	-	Success (0xff)
Tamaño transportado	BYTE (2)	BYTE/WORD/DWORD (0X04)
Longitud	1	1
Área	Output (0x82)	-

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

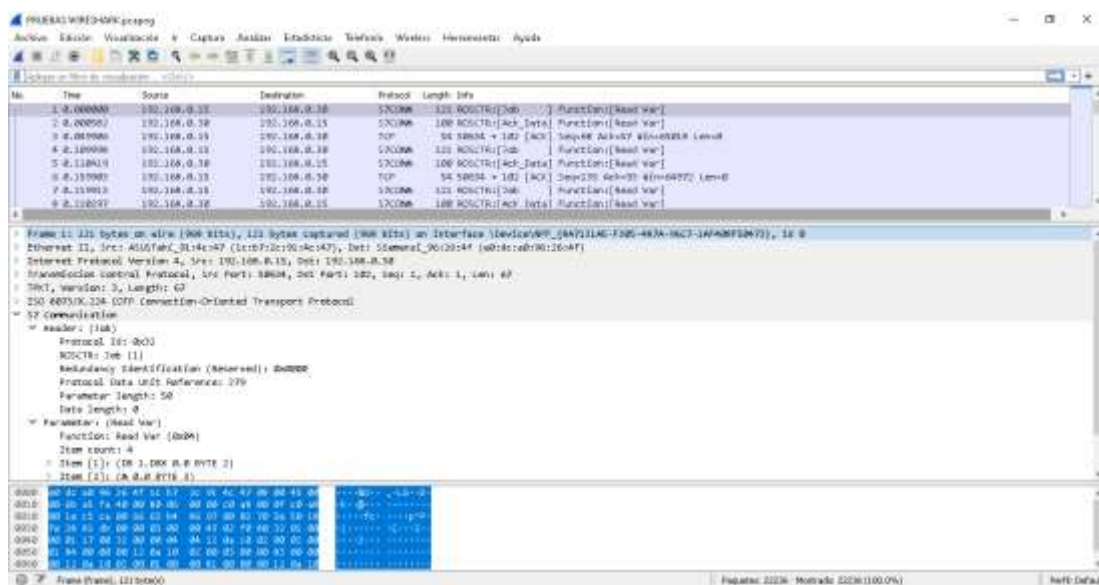


Figura 2-3: Análisis de trama de una solicitud de trabajo

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Además, el campo “ACK-DATA” mostró un valor hexadecimal de 0X03, indicando que contiene la respuesta a la solicitud anterior, con un tamaño de 100 bytes. Hay que notar que los valores mostrados en los campos clase y código de error tienen un valor de 0x00, que demuestra una correcta transmisión de datos. Por último, en el campo “Read Var” con un valor 0x04, demuestra que la lectura de la variable fue exitosa, véase figura 3-3.

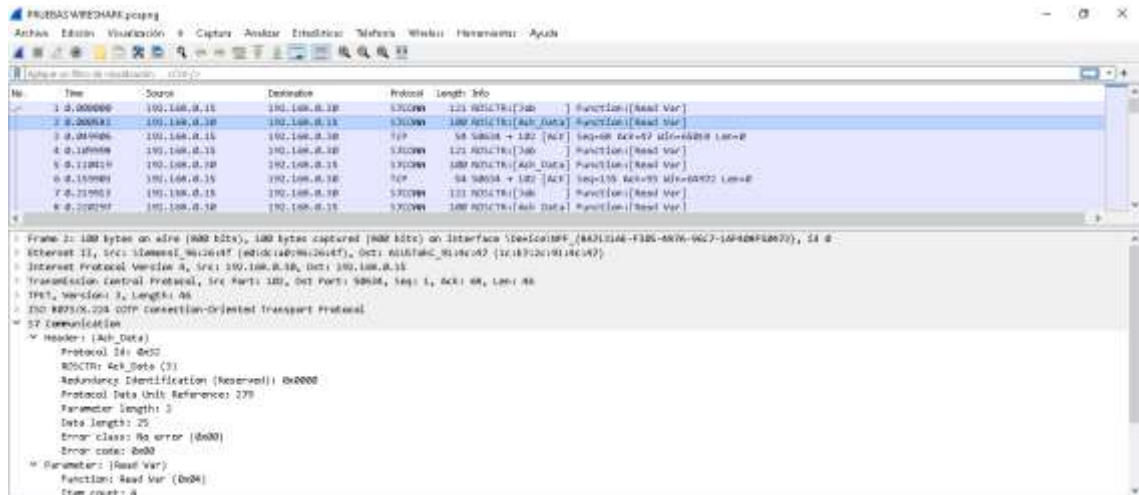


Figura 3-3: Análisis de trama de la respuesta a una solicitud de trabajo

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Una vez analizadas las tramas de las 123 muestras se procede a la tabulación de los datos, detallados en el gráfico 1-3, donde se muestra el porcentaje de solicitudes enviadas y recibidas sin pérdida de paquetes.



Gráfico 1-3: Resultados de la comunicación entre dispositivos.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Como conclusión, la transmisión de datos fue satisfactoria, ya que cumple con los 20 bytes que existe en la cabecera de la trama ethernet y además durante la captura de paquetes del protocolo

s7 todas las solicitudes de trabajo recibieron una respuesta. Como se indica en la figura 4-3, con la ayuda de Wireshark, se observa que el porcentaje de la pérdida de datos es de 0%, permitiendo una comunicación satisfactoria entre dispositivos y con tiempos de respuesta menores a 1ms.

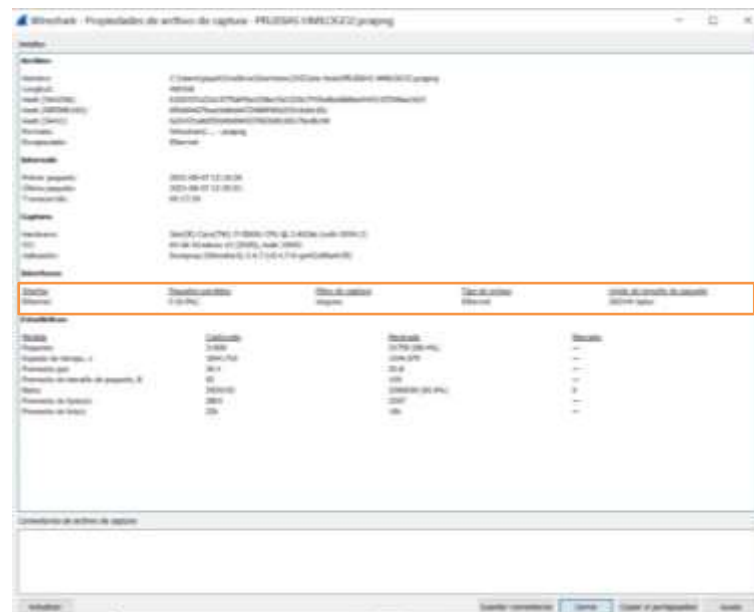


Figura 4-3: Propiedades del archivo de captura con Wireshark

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Las respuestas del sistema tras algunas de las interacciones antes mencionadas se muestran en la figura 5-3.



Figura 5-3: Respuesta del sistema ante interacciones sobre HMI

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Por último, con el objetivo de evaluar la conexión entre el servidor OPC de Kepserver y el HMI de Lookout, se monitoreó desde la ventana *Quick client*, del *software kepserver*, campos como tipo de dato, valor, tiempo de respuesta, estado de conexión y número de activaciones de las

variables utilizadas en la comunicación PLC-HMI. La respuesta para el ejemplo mostrado en la figura 6-3 detalla que se activó el modo automático y se procedió a cerrar la compuerta 1, mientras que la compuerta 2 se encontraba completamente cerrada. Como resultado se obtuvo que la calidad de la conexión de todas las variables fue satisfactoria, además, los valores presentados en los tags de cerrar compuerta 1, final de carrera C2, luz verde, indicador motor 1, selector 1 y 2, se encuentran en alto, “1”, mientras que el resto está en bajo, “0”.

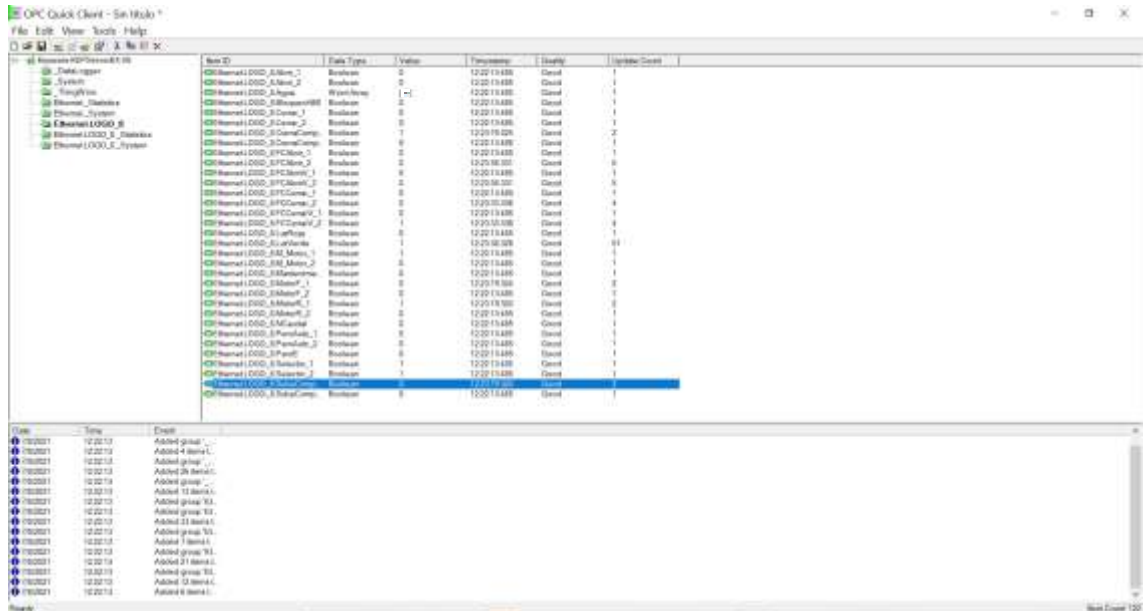


Figura 6-3: Estado de conexión de tags en KEPServerEX 6

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

3.2 Tiempos de apertura y cierre de las compuertas

La prueba consiste en determinar los tiempos de apertura y cierre de las compuertas a diferentes frecuencias establecidas en el variador. En la tabla 3-3 se muestran los resultados obtenidos en esta prueba.

Tabla 3-3: Tiempo de apertura y cierre en compuertas

Frecuencia	Tiempo de apertura [min]		Tiempo de cierre [min]	
	C1	C2	C1	C2
25 Hz	5:37	5:39	5:36	5:38
30 Hz	4:15	4:16	4:16	4:17
45 Hz	2:08	2:09	2:09	2:10
60 Hz	1:59	1:57	1:58	1:58

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Como se observa en la figura 7-3 primero se estableció cada una de las frecuencias en el variador, se activó el sistema, y se cronometró el tiempo de funcionamiento.



Figura 7-3: Tiempo de apertura y cierre de compuertas a frecuencia de 30 Hz.

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

En base a los resultados observados en la tabla 3-3, se configuraron los variadores con una frecuencia de 30 Hz, dando como resultado tiempos de apertura y cierre de 4:15 y 4:16 minutos aproximadamente.

CAPÍTULO IV

4 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Se realizó con el fin de conocer la relación beneficio/costo ante otros similares desarrollados dentro del país. Para esto se comparó con el proyecto de automatización de las compuertas del canal principal del sistema de riego Montúfar, ubicado en el cantón Ibarra de la provincia de Imbabura (Ayala, 2010, pp.47-54).

En la tabla 1-4 se realiza un estudio de costos de los componentes que garantizan el cumplimiento de los requerimientos del prototipo implementado en la bocatoma del sistema de riego Cambo-Guano.

Tabla 1-4: Análisis de costos

Cantidad	Materiales	Costo
2	Variadores de frecuencia marca Kinco	\$ 1260,00
2	Breaker de 40 A de 2 polos	\$ 24,00
1	Portafusible de 2 polos	\$ 3,50
1	Fuente de alimentación de 24 V	\$ 34,00
1	Gabinete metálico Servicio Pesado 80x60x30 cm	\$ 140,00
1	PLC Logo 8	\$ 170,00
3	Repartidores de carga	\$ 24,00
1	Torre luminosa de 2 colores	\$ 30,00
1	Pantalla HMI siemens	\$ 1100,00
8	Finales de carrera	\$ 40,00
	Otros	\$ 60,00
	Total	\$ 2883,50

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqi F., 2021.

Al comparar los costos de inversión y operación con todos los beneficios generados por el proyecto, se determina la conveniencia de su realización desde el punto de vista económico y social. A continuación, en la tabla 2-4, se comparan los costos de ambos prototipos.

Tabla 2-4: Beneficio / Costo

	Costo total de inversión
Automatización compuertas 1 y 2, sistema de Riego Chambo-Guano.	\$ 2883.50*
Automatización compuertas canal principal, sistema de riego Montúfar.	\$ 5675.00
Beneficio/Costo	\$ 2791.50

Realizado por: Gallegos, J. & Gullsqui F., 2021.

*El costo por diseño e implementación se cubrió a través de la adjudicación a una empresa privada.

Como se observa en la tabla 2-4, el costo del prototipo planteado para la automatización de las compuertas 1 y 2 de la bocatoma del sistema de riego Chambo-Guano representa un 50.81% de la inversión realizada para la automatización de las compuertas del canal principal del sistema de riego Montúfar. Por lo tanto, la implementación de este prototipo representa un mayor beneficio económico logrando satisfacer las necesidades de caudal a los usuarios del sistema de riego.

Se invita a los encargados del proyecto, mantener los procesos de automatización dentro de la bocatoma y demás elementos del sistema de riego para mejorar la distribución de agua y otorgar mayor seguridad a los operadores en las actividades de control de compuertas.

CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un tablero con HMI para el control de las compuertas 1 y 2 de la bocatoma del sistema de riego Chambo-Guano, el cual está compuesto por varias etapas en su arquitectura dentro de las cuales están la etapa de alimentación, procesamiento, comunicación, potencia, mando y visualización de las compuertas.
- La selección de los componentes *hardware* del tablero está basada en características que permitan al sistema cumplir con los requerimientos de protección IP, comunicación Ethernet, protección y variabilidad de la velocidad del motor. Para lo cual, el elemento principal en la etapa de procesamiento es un Logo, con una capacidad de programación de hasta 130 bloques funcionales suficientes en este tipo de aplicación, en la etapa de potencia en base a la eficiencia y el control de velocidad se seleccionaron variadores Kinco con capacidades de carga de hasta 5.5 KW alimentados por la red monofásica existente. En la etapa de mando y visualización se seleccionó una HMI KTP700 en base a la resolución que brinda y su conexión S7. Además, el sistema cuenta con dispositivos de protección eléctrica para evitar daños por sobrecargas o cortocircuitos.
- El grado de protección del gabinete en el que se albergan los elementos de las distintas etapas que componen el sistema es IP64, lo que indica que los elementos internos están completamente protegidos a daños por las condiciones de humedad, polvo y salpicaduras que se presentan en la zona. Además, como la HMI está expuesta directamente a estas condiciones tiene un grado IP 65 que la protege herméticamente del polvo y chorros de agua en cualquier dirección.
- En base al análisis realizado con las 123 muestras, que transportan los bytes generados de cada una de las interacciones con los HMI, se obtuvieron 123 respuestas sin pérdida de datos y con tiempos menores a un milisegundo, lo que determina que la comunicación S7 es satisfactoria, ya que no presento pérdida de paquetes, y los campos de error del ACK-DATA tienen un valor de 0x00.

RECOMENDACIONES

- Integrar visión artificial que permita la limpieza automática de las rejillas evitando que el operador se exponga a cualquier accidente que pudiera darse al ejecutar dicha acción.
- Utilizar el GRAFCET para establecer las etapas del proceso y sus respectivas transiciones, lo que facilitará la implementación en base a los lenguajes de programación mencionados en la norma IEC 61131-3, que en este caso corresponde al diagrama de bloques de funciones.
- Hacer uso de un analizador de tramas para determinar la correcta comunicación de datos entre diferentes protocolos de comunicación industrial basados en Ethernet para su posterior comparativa y determinar la eficiencia de cada uno de ellos.

GLOSARIO

Electroimán: Imán artificial que consta de un núcleo de hierro dulce rodeado por una bobina por la que pasa una corriente eléctrica.

Vertedero: estructura hidráulica que permite el paso del agua, ya sea libre o controlado, en los escurrimientos superficiales. Exclusivamente es utilizado para desagües (Saje, 2021).

Bocatoma: estructura hidráulica elaborada sobre ríos o canales con el objetivo de captar o extraer el caudal de la corriente del río (Rocha, 2003, p.2).

LAN: es una red de área local, formada por un conjunto de dispositivos electrónicos que se conectan entre sí con el fin de comunicarse y enviar datos (Fonseca, 2021).

Relé: es un interruptor de accionamiento eléctrico, compuesto por una bobina, puede conmutar en dos posiciones; al estar cerrado permite el paso de corriente hacia la carga, mientras que si permanece abierto la interrumpe (BLOGSEAS, 2021).

SCR: dispositivo semiconductor de cuatro capas, funciona como interruptor controlado por tensión y se caracteriza por tener una rápida conmutación de corrientes (Braga, 2021).

BDF: Diagrama de bloques funcionales, es uno de los lenguajes de programación de PLC más utilizados, el cual dota de un programa que controle las actividades del proceso que se realiza (Pinchi y Kahn, 2013, p.31).

BIBLIOGRAFÍA

ABB. *Productos y soluciones de baja tensión.* [En línea], 2021. [Consulta: 17 enero 2021]. Disponible en Aparamenta modular: <https://new.abb.com/low-voltage/es/productos/aparamenta-modular>

AHAMED, Nuashad. *Broad Band Vibration Criteria for Specific Machine Groups Based on ISO 10816-1* [blog]. [Consulta: 10 noviembre 2020]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/190962952/ISO-Vibration>

ALVARADO MARTINEZ, Álvaro. Diseño de control automático para apertura de compuertas de excedencia del embalse Sandillal [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería en Electrónica. Cartago, Costa Rica. 2009. pp. 29-43. [Consulta: 3 enero 2021]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/665/Informe%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ALBÁN VALLEJO, Cristian Danilo. Diseño e implementación de un sistema HMI (Interfaz Humano máquina) mediante LABVIEW para el módulo de sensores en la tecnología del automóvil. [En línea]. (Tesis de Licenciatura). Universidad Politécnica Salesiana. Escuela de Ingeniería Electrónica. Quito. Ecuador. 2013. pp.123-135. [Consulta: 13 diciembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5373>

ÁNGOS, J; FERNÁNDEZ, M; & SALVADOR, J. “Evolución en la recuperación de información: de la línea de comandos a la interfaz gráfica Web”. *Scire* [En línea]. 2001, (España) 7(1), pp. 127-142. [Consulta: 13 diciembre 2020]. Disponible en: <http://eprints.rclis.org/11103/>

AMAYA CUEVA, Carlos. Diseño y simulación de una compuerta plana deslizante para la empresa ARTMECO [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Carrera de Ingeniería Mecánica Cuenca, Ecuador. 2016. pp. 9-16. [Consulta: 19 diciembre 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12509/1/UPS-CT006478.pdf>

AMES ZEGARRA, Carolina. Normativa para el diseño de interfaces gráficas de sistemas de automatización Industrial [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Lima, Perú.

2015. pp. 18-64. [Consulta: 20 enero 2021]. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2423/ING-L_007.pdf?sequence=1&isAllowed=y

AYALA BERMEO, José. Mejoramiento de la distribución de agua del Sistema de Riego Montúfar, mediante la automatización de compuertas principales del canal central. [En línea] (Monografía). (Diplomado). Instituto de altos estudios nacionales. Ibarra, Ecuador. 2010. pp. 47-54 [Consulta: 19 febrero 2021]. Disponible en: <http://repositorio.iaen.edu.ec/handle/24000/556>

AYALA , Julio; & ALBÓNIGA, Roberto. "Dispositivo electrónico de medición del caudal de agua para canales abiertos". Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias [En línea], 2015, (Cuba) 24(1), pp. 91-93. [Consulta: 15 enero 2021]. ISSN: 1010-2760. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/932/93243475016.pdf>

BARRIOS, Lissia; & GALEANO , Iris. *Interfaces Hombre-Máquina: Teoría y Aplicación de la Informática.* [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: <http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/HMI.pdf>

BLOGSEAS. *El Relé: para qué es, para qué sirve y qué tipos existen* [blog]. [Consulta: 6 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.seas.es/blog/automatizacion/el-rele-para-que-es-para-que-sirve-y-que-tipos-existen/>

BOLLAÍN, M. *Ingeniería e instrumentación de plantas de proceso* [En línea]. Madrid-España: Ediciones Díaz de Santos, 2018. [Consulta: 3 enero 2021]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/Ingenier%C3%ADa_de_instrumentaci%C3%B3n_de_plant.html?id=eGGNDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

BRAGA, Newton. *¿Cómo funciona el SCR?* [blog]. [Consulta: 6 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.incb.com.mx/index.php/articulos/53-como-funcionan/142-como-funciona-el-scr-art029s>

CALVO SAÉZ, Juan Antonio. Manual básico de seguridad en instalaciones eléctricas de baja tensión.[En línea]. Canarias-España: Consejería de Empleo, Políticas Sociales y Vivienda, 2016. [Consulta: 7 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.prevencionintegral.com/actualidad/noticias/2018/08/29/manual-seguridad-en-instalaciones-electricas-baja-tension>

CAMSCO. E-Catálogo [En línea]. 2021 [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: https://www.camsco.com.tw/upload_files/e-download/Camsco-E-Catalog.pdf

CARDINALE VILLALOBOS, Leonardo. Diseño para automatización y optimización de la toma de agua de la Central Hidroeléctrica Platanar [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería en Electrónica. Cartago, Costa Rica. 2011. pp. 32-98. [Consulta: 4 enero 2021]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2666/informe%20Leonardo%20Cardinale%20Villalobos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CENTENO POMARETA, Pedro. Introducción a TIA PORTAL con S7-1500 [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad Politécnica de Madrid. ETSIS de telecomunicación. Madrid, España. 2017. pp. 21-45. [Consulta: 25 enero 2021]. Disponible en: http://oa.upm.es/49911/1/PFC_PEDRO_CENTENO_POMARETA.pdf

CHICAIZA, Janeth. Problemas generados por la distribución del agua de riego en el sector Venegas-San Luis de la parroquia mira y su incidencia en la agricultura. [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Facultad de Ciencias Humanas. Escuela de Ciencias Geográficas. Quito, Ecuador. 2018. p. 1 [Consulta: 21 febrero 2021]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/15293/PROBLEMAS%20GENERADOS%20POR%20LA%20DISTRIBUCION%20DEL%20AGUA%20DE%20RIEGO%20EN%20EL%20SECTOR%20VENEGAS-SAN%20LUIS%20DE%20LA%20PAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CHILUISA CHILUISA, Cristian. Implementación de un sistema automatizado con control HMI-SCADA para el proceso de embotellado de líquidos [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica. Escuela de ingeniería Electrónica Control y Redes Industriales. Riobamba, Ecuador. 2021. pp. 20-84 [Consulta: 19 diciembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/13936/1/108T0325.pdf>

CORREA MENDEZ, Fidel. Diseño e implementación de un sistema HMI-SCADA para el proceso de anodización de naturales de la corporación ecuatoriana de aluminio CEDAL S.A. [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Escuela Politécnica del Ejército. Carrera de ingeniería Electrónica e Instrumentación. Latacunga, Ecuador. 2007. pp. 16-42. [Consulta: 28 noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/3401/T-ESPEL-0406.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

EATON. Informe técnico IT-EE09(11/11): arranque y control de motores trifásicos asíncronos. Moeller Series. Barcelona, España [En línea], 2011. [Consulta: 30 noviembre 2020]. Disponible

en: <https://docplayer.es/7240365-Informe-tecnico-it-ee09-11-11-arranque-y-control-de-motores-trifasicos-asincronos.html>

FERNANDEZ AMADOR, Gerardo. Sensores magnéticos e inductivos [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Básica e Ingeniería. Pachuca, México. 2005. pp. 27-43. [Consulta: 24 noviembre 2020]. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10541/Sensores%20magneticos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

FERNÁNDEZ GÓMEZ, Rafael. "Manual de riego para Agricultores: Riego por superficie". Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación [En línea], 2010, (España) (2), pp. 26-53. [Consulta: 5 diciembre 2021]. ISBN: 84-8474-025-0. Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940Riego_por_superficie_baja.pdf

FONSECA, Jesús. *¿Qué es una red LAN?* [blog]. [Consulta: 06 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.eninetworks.com/blog-que-es-una-red-lan/#:~:text=Las%20redes%20de%20%C3%A1rea%20local, enlace%20inal%20C3%A1mbrio%20con%20un%20servidor.&text=Implementar%20una%20Red%20LAN%20puede%20significar%20la%20mejor%20soluci%C3%B3n%20para%20estas%20situaciones.>

GAVILANEZ VARGAS, Marcelo. Sistema de control y supervisión de las compuertas del vertedero 1 de la represa Agoyán por medio de un panel HMI local [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica. Escuela de ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes. Riobamba, Ecuador. 2011. pp. 78-156. [Consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/1539/1/38T00284.pdf>

GREINER, O. "IP degrees of protection". Publicación Electrónica: EP 101-E. [En línea], s.f. Danfoss, USA 3(1), pp. 10-15. [Consulta: 28 diciembre 2021]. Disponible en: http://www.bauergear.info/Main/DANWeb/Vault/CommLit/EP101E_ms.pdf

GUERRERO, J. *Programación estructurada de autómatas programables con Grafcet* [En línea]. Madrid-España: Paraninfo S.A., 2019. [Consulta: 28 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.paraninfo.es/catalogo/9788428341387/programacion-estructurada-de-automatas-programables-con-grafcet>

IGNACIO LEYVA, Yelvin. "Desarrollo de un Sistema de Control Automático de Riego por Compuertas para la Junta de Regantes de Guarango Pampa - Utcubamba – Amazonas". Revista Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación [En línea], 2014, (Cajamarca) 1(2) pp. 5-60.

[Consulta: 26 noviembre 2020]. ISSN: 2313-1926. Disponible en: <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/118/203>

JARA, Edison. Diseño para la automatización de la red general del sistema de riego en la comunidad de Cashapugro y Purana, Parroquia Ludo, Canton Sigsig. [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad Católica de Cuenca. Electricidad. Azuay, Ecuador. 2015. pp. 23-45. [Consulta: 23 diciembre 2020]. Disponible en: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/6270>

KINCO. *User Manual FV20*. [En línea]. 2019. [Consulta: 13 diciembre 2020]. Disponible en: https://en.kinco.cn/Download/D_enUserManual/VFD/Kinco%20FV20%20VFD%20User%20Manual-20190424.pdf

MANCHENO, María; & CUVI, Mayra. Diseño e implementación del TMPG, STDI y un sistema automatizado para el control y monitoreo remoto de cargas de la red eléctrica del laboratorio de producción industrial [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica. Escuela de ingeniería Electrónica Control y Redes Industriales. Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 14-70. [Consulta: 28 diciembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6040/1/108T0173.pdf>

MARTINEZ, José; & BUENDÍA, Manuel. *Programación gráfica para ingenieros*. [En línea]. 2010. Macrombo. [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=NWHRciSLmuoC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Programaci%C3%B3n+gr%C3%A1fica+para+ingenieros&ots=IJIBS19DgO&sig=ZDmzcXBSgT6k3gWxgSVEm3jxM#v=onepage&q=Programaci%C3%B3n%20gr%C3%A1fica%20para%20ingenieros&f=false>

"Manual técnico: motores eléctricos". Fundación Red de Energía - BUN-CA [En línea], 2011, (Costa Rica) (1), pp. 3-13. [Consulta: 13 diciembre 2020]. ISBN: 978-9968-904-36-0. Disponible en: <http://www.bun-ca.org/publicaciones/manuales/UltimaVersion/Motores30Junio11.pdf>

MIDUVI. *Norma Ecuatoriana de la Construcción: instalaciones eléctricas*.

National electrical manufacturers association. Degrees of Protection Proricled by Enclosures (IP Code)-Identical National Adoprión. ANSI/IEC 60529. [En línea]. 2004. [Consulta: 30 noviembre 2020]. Disponible en: <https://ci.nii.ac.jp/naid/10030209141/>

National Instruments. Lookout: HMI/SCADA Software for Water and Wastewater Applications. [En línea]. 2000. Austin, Texas: National Instruments Corporation. Disponible en: <https://www.ni.com/pdf/wp/us/wp2101>

OBREGÓN GUTIÉRREZ, Javier. Diseño e implementación de un sistema automatizado para envasado de fluidos semipastosos tarrinera N°2, para la empresa EPACEM S.A. en la ciudad de Santo Domingo [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica. Escuela de ingeniería Electrónica Control y Redes Industriales. Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 6-49. [Consulta: 29 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/8988/1/108T0228.pdf>

OSI. *Wireshark*. [En línea], 2021, Oficina de seguridad del internauta. [Consulta: 22 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.osi.es/es/herramientas-gratuitas/wireshark>

PERÉZ, Enrique., ACEVEDO, Jorge; & SILVA, Celso. Automatas programables y sistemas de automatización/PLC and Automation Systems. [En línea]. 2009. [Consulta: 2 diciembre 2020]. Obtenido de https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=5jp3bforBB8C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Automatas+programables+y+sistemas+de+automatizacion+&ots=g1Gvg28hXj&sig=E_PQq4ZuLJDRT5_NXp4YheAFklo

PINCHI, Ronald; & KAHN, Victor. Desarrollo de un módulo lógico programable para la simulación y el control automático del nivel de líquido en un tanque [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad Ingeniería Química. Iquitos, Perú. 2013. pp. 31. [Consulta: 6 Marzo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1889/T-629.89-P59.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PONCE TUALOMBO, Lizet. Estudio exploratorio de la calidad de agua del sistema de riego Chambo-Guano de la provincia de Chimborazo [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad Nacional de Chimborazo. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería Ambiental. Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 7-10. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6306>

PTC. Kepware. Kepware KEPServerEX Version 6 [En línea], 2021. [Consulta: 3 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/version-6/>

Rockwell Automation. Cuando utilizar un arrancador suave o un variador de frecuencia variable de CA [En línea]. Allen-Bradley. [Consulta: 26 noviembre 2020]. Obtenido de: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/150-wp007_-es-p.pdf

RODRIGUEZ, Aquilino. *Sistemas Scada*. [En línea], 2011, Macrombo S.A. [Consulta: 27 noviembre 2020]. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=cNQfjbBcUq8C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Sistemas+Scada&ots=4HLSOGPMQy&sig=LK67XyUFXa11yk7F2-OHu2ENLck#v=onepage&q=Sistemas%20Scada&f=false>

ROCHA FELICES, Arturo. "La bocatoma, estructura clave en un proyecto de aprovechamiento hidráulico". *Revista Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI* [En línea], 2003, (Perú) 1(2), pp. 2. [Consulta: 3 marzo 2021]. Disponible en: http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/ROCHA/La_bocatoma.PDF

RUFINO ADRIANZEN, Wilder. *Automatización del control de compuertas para mejorar el sistema de distribución de agua y sedimentos en el desarenador-Proyecto Chavimochic* [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad Cesar Vallejo. Facultad de Ingeniería. Escuela académica profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Lambayeque, Perú. 2016. pp. 27-39. [Consulta: 17 noviembre 2020]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/8934/rufino_aw.pdf?sequence=1

SANABRIA, Esteven; & SÁNCHEZ, Juan. *Sistema de control de velocidad de un motor trifásico mediante un variador de frecuencia y sistema SCADA* [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología. Ingeniería Mecatrónica. Pereira, Colombia. 2016. pp. 21-25. [Consulta: 12 diciembre 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/84108358.pdf>

SAJE, Landa. *Vertedero hidráulico* [blog]. [Consulta: 6 marzo 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/95393278/VERTEDERO-HIDRAULICO>

SCHNEIDER ELECTRIC. *Manual electrotécnico* [blog]. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.um.es/docencia/mmc/pdf/telesquemario.pdf>

SENPLADES. *Territorio y Descentralización. Competencia de riego y drenaje*, 2013. CNC y Senplades, Quito

SIEMENS. *Catálogo de productos* [blog]. [Consulta: 27 diciembre 2020]. Disponible en: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:4fc6aece-4320-44c6-a777-2c418a8a7f24/version:1579213679/pe-di-lista-de-precios-final-2021-moviles-1601.pdf>

SILVA CONDE, Ángel. *Implementación de un sistema automatizado para el reservorio 66 del sistema de riego Chambo-Guano* [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Instituto de Posgrado y Educación Continua. Riobamba, Ecuador.

2016. pp. 7-30. [Consulta: 16 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6118/1/20T00789.pdf>

TERNICIEN ABARCA, Melissa. Eficiencia de la administración del recurso hídrico en el riego a través de la automatización de compuertas en canales [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad Técnica Federico Santa María. Departamento de Obras Civiles. Valparaíso, Chile. 2017. pp. 14-18. [Consulta: 16 noviembre 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11673/14026>

TIVANTA, Samuel, & ZAMBRANO, Jennifer. Diseño e implementación del sistema automático de control para máquina inyectora marca MIR en la empresa printecsa, utilizando PLC y el uso de la interfaz de usuario de la marca Allen Bradley, enlazados mediante protocolo de red Ethernet/IP [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de Ingenierías. Carrera de Ingeniería Electrónica. Guayaquil, Ecuador. 2016. pp. 6-42. [Consulta: 12 diciembre 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13459/1/UPS-GT001794.pdf>

TOAQUIZA, Juan, & CHASIPANTA, Luis. Implementación de un sistema SCADA con comunicación ethernet industrial para el laboratorio de tecnología industrial [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Escuela Politécnica Nacional. Escuela de formación de tecnólogos. Quito, Ecuador. 2019. pp. 8-33. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20316/1/CD%209784.pdf>

UNIVERSIDAD DE VALENCIA. *Sistemas Industriales Distribuidos* [blog]. [Consulta: 02 enero 2021]. Disponible en: uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3_rev0.pdf

VAELLO SANCHO, José. *Formación para la industria 4.0* [blog]. [Consulta: 15 diciembre 2020]. Disponible en: <https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/d-automatizacion/1-2-control-de-potencia-aparamenta-electrica/contactores/>

VÁSQUEZ, Felipe. *SOLIDWORKS Electrical: diseño en sistemas eléctricos* [blog]. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: <https://easyworks.es/solidworks-electrical-diseno-en-sistemas-electricos/>

VILLACRÉS RODRÍGUEZ, Mario. 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 [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica. Escuela de ingeniería Electrónica Control y Redes Industriales. Riobamba, Ecuador. 2017. pp.

21-45. [Consulta: 15 noviembre 2020]. Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6878/1/108T0197.pdf>

VINTIMILLA GALLEGOS, Mónica. Normativa legal, contable y tributaria de Juntas de usuarios de los Sistemas de Riego Estatales de la provincia de Chimborazo y procedimientos administrativos y financieros [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Contabilidad y Auditoría. Ambato, Ecuador. 2014. pp. 11-14. [Consulta: 2 diciembre 2020]. Disponible en:
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7624/1/TMTR029-2014.pdf>

WEG. *Disai Automatic Systems* [blog]. [Consulta: 12 febrero 2021]. Disponible en:
https://www.disai.net/wp-content/uploads/catalogos_pdf/SSW07200AMP.pdf

WEIDMÜLLER. *Catálogo de productos.* [blog], 2021. [Consulta: 25 febrero 2021]. Disponible en:
[https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=1644C9DF0E980874752AE76D39DAC87B?groupId=\(%22node22648471388426%22\)&page=Group](https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=1644C9DF0E980874752AE76D39DAC87B?groupId=(%22node22648471388426%22)&page=Group)

Zamora, J. Diseño de un sistema de automatización para un canal de riego [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad Regional Autónoma de los Andes. Facultad de Sistemas Mercantiles. Carrera Ingeniería en Sistemas. Quevedo, Ecuador. 2016. pp. 32-44. [Consulta: 4 enero 2021]. Disponible en:
<http://dspace.uniandes.edu.ec/bitstream/123456789/4642/1/TUQIS001-2016.pdf>

ANEXOS

Anexo A: PASTA



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TABLERO CON HMI
PARA EL CONTROL DE LAS COMPUERTAS 1 Y 2 DE LA
BOCATOMA DEL SISTEMA DE RIEGO CHAMBO – GUANO”**

Trabajo de titulación

Tipo: Dispositivo tecnológico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES: JOSELYN ESTEFANIA GALLEGOS LOPEZ

FERNANDA ABIGAIL GULLSQUI CARRILLO

Riobamba – Ecuador

2021

Anexo B: PORTADA



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TABLERO CON HMI
PARA EL CONTROL DE LAS COMPUERTAS 1 Y 2 DE LA
BOCATOMA DEL SISTEMA DE RIEGO CHAMBO – GUANO”**

Trabajo de titulación

Tipo: Dispositivo tecnológico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES: JOSELYN ESTEFANIA GALLEGOS LOPEZ

FERNANDA ABIGAIL GULLSQUI CARRILLO

DIRECTOR: Ing. FAUSTO RAMIRO CABRERA AGUAYO

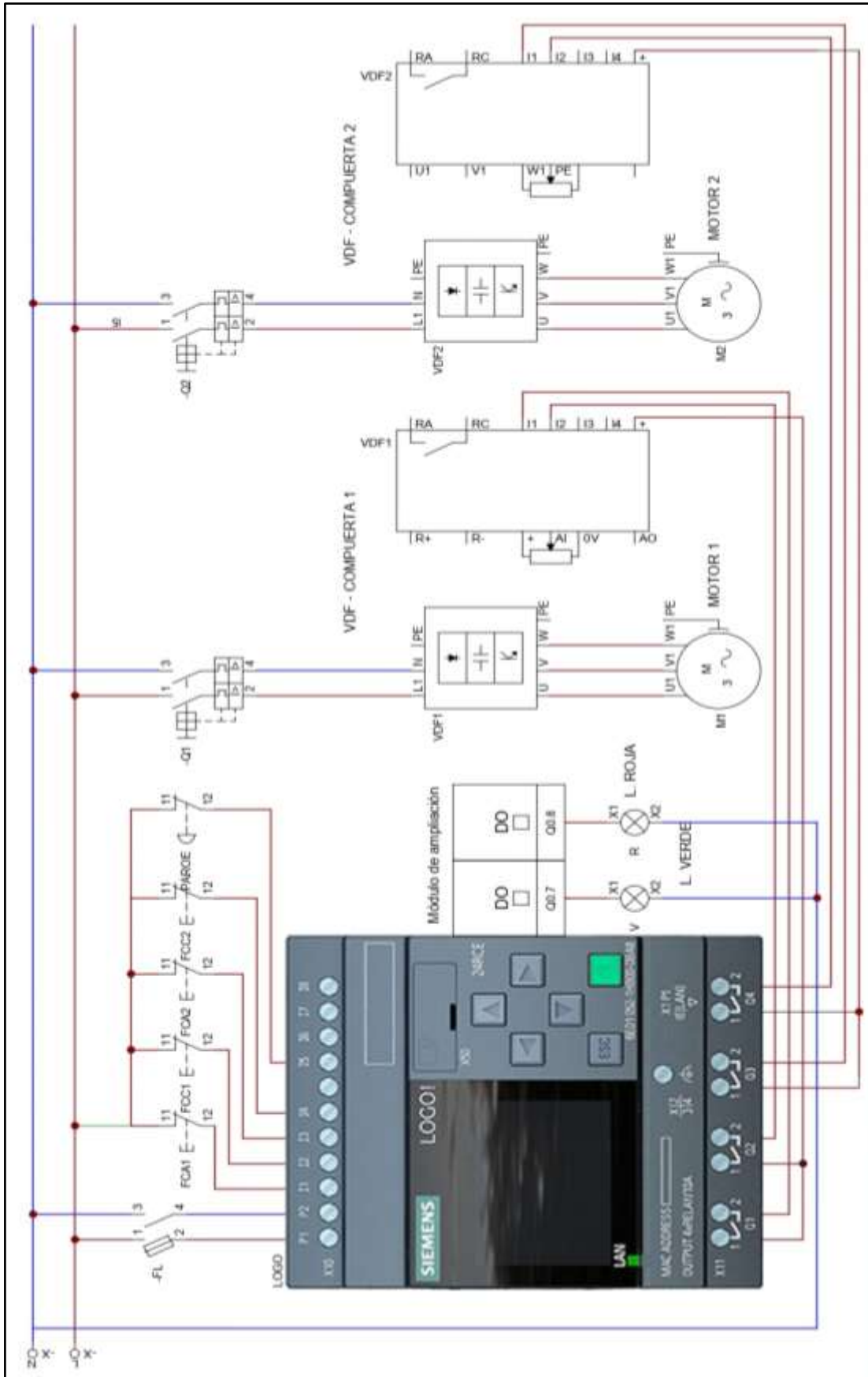
Riobamba – Ecuador

2021

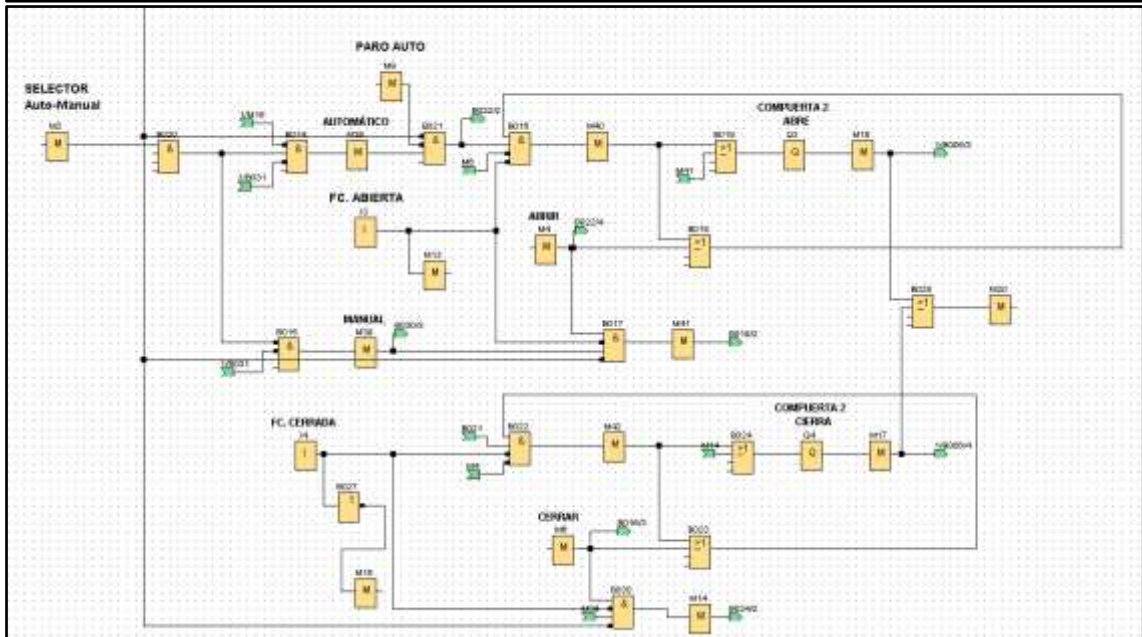
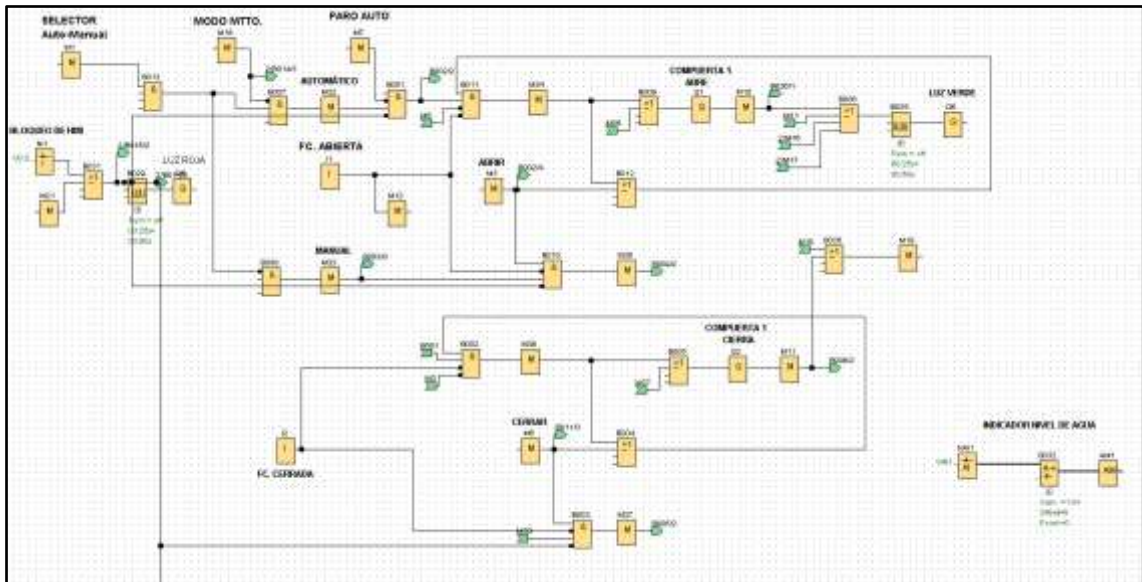
Anexo C: Tabla de conductores eléctricos

AMPERAJE - CABLE DE COBRE			
Tipo de aislante	TW	RHW,THW, THWN	THHN,XHHW-2 THWN-2
Nivel de temperatura	60°C	75°C	90°C
Calibre de cable	Amperaje soportado		
14 AWG	15 A	15 A	15 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A

Anexo D: Planimetría de conexiones: controlador y variadores.



Anexo E: Programación Controlador Logo



Anexo F: Manual variador FV20 Kinco

Quick start guide

Wiring

Terminal	Description	Connect
R67	VFD Power Input	Connect to Power supply
V+	Bus DC +	Connect to Brake Unit
+PB	Brake Resistor	Connect to Brake Resistor
UVW	VFD Output	Connect to Motor
PE	VFD Ground	Connect to Ground
DI02	Digital Input	Connect to a Switch
AI	Analog Input	Connect to a 0-5Vdc sensor
FI	Digital Output	Connect to PLC
AO1	Analog Output	Connect to Analog meter
RelP	Relay Output	Connect to Relay

Common Setting Parameters

Code	Description	Code	Description
A0.01	Control mode	A6.30	AD1 Function
A0.02	Frequency source	A7.00	PG card Type
A0.03	Driving Frequency	A7.01	PG card Pulses / revolution
A0.04	Command selection	A8.01	Fault mask selection 1
A0.05	Acc. time	U0.05	Asynchronous motor 1 speed
A0.07	Dec. time	U0.04	Asynchronous motor 1 pole slip/turn
A6.00	X1 Function	U0.15	Synchronous motor 1 power
A6.01	X2 Function	U0.16	Asynchronous motor 1 pole slip/turn
A6.05	Terminal control mode	U0.08	Communication configuration
A6.14	Y1 Function	U0.01	Address
A6.16	Relay Function	U4.03	Parameter initialization
A6.27	Y1 High Speed Pulse Output		

Common Display Parameters

Code	Description	Code	Description
d0.04	Output Frequency	d0.16	A1 input voltage
d0.05	Output Voltage	d0.28	Motor temperature
d0.06	Output Current	d1.20	Fault record 1
d0.08	Motor Power	d1.21	Fault Bus Voltage
d0.11	Motor Frequency	d1.02	Fault current
d0.13	Inverter running status	d1.03	Fault frequency
d0.14	Switch input status	d2.02	Software version
d0.15	Switch output status	d2.03	Software date

2.3 General specifications

Table 2-3 General specifications

Item	Description	
Input	Rated voltage and frequency	4T: 3-phase, 380V-480V AC, 50Hz/60Hz; 2T: 3-phase, 200V-240V, 50Hz/60Hz; 2S: Single-phase, 200V-240V, 50Hz/60Hz
	Allowable voltage range	4T: 320V-480V AC, 2T/2S: 100V-200V Voltage tolerance: ±3%, Frequency: ±5%
Output	Rated voltage	0-Rated input voltage
	Frequency	0Hz-300Hz (Customized 0Hz-3000Hz)
Control mode	Control mode	Vector control without PG, Vector control with PG, V/F control
	Modulation mode	Space vector PWM modulation
Starting torque	Starting torque	0.5Hz 150% rated torque (Vector control without PG), 0.5Hz 200% rated torque (Vector control with PG)
	Frequency accuracy	Digital setting: Max. frequency +0.2%, Analog setting: Max. frequency +0.2%
Frequency resolution	Frequency resolution	Digital setting: 0.01Hz; Analog setting: Max. frequency × 0.1%
	Torque boost	Manual torque boost: 0% - 30.0%
V/F pattern	V/F pattern	4 patterns: 1 kind of V/F curve mode set by user and 3 kinds of torque-boosting modes (2.0 order, 1.7 order, and 1.2 order)
	Acc/Dec curve	Linear acceleration/deceleration, Four kinds of acceleration/deceleration time are optional
Customized function	Auto current limit	LIMIT current during the operation automatically to prevent frequent over-current trip
	Jog	Range of jog frequency: 0.20Hz-50.00Hz, Acc/Dec time of Jog operation: 0.1-60.0s, Interval of Jog operation is also settable
Operation function	Multiple speed operation	Implement multiple speed operation by digital input
	Operation command	Keypad setting, terminal setting, communication setting
Auxiliary frequency setting	Frequency command setting	Digital setting, Analog voltage setting, Analog current setting, Pulse setting
	Auxiliary frequency setting	Implement flexible auxiliary frequency bin and frequency synthesis
Pulse output terminal	Pulse output terminal	0.1-1000Hz pulse output
	Analog output terminal	For example setting frequency, output frequency etc. 2 channels analog output (0V-20mA or 0V-10V). For example setting frequency, output frequency etc.

Item	Description	
Operation panel	LED Display	Display frequency setting, frequency output, voltage output, current output and so on, about 20 parameters.
	Parameters copy	Copy parameters by operation panel
	Keys lock and function selection	Lock part of keys or all the keys. Define the function of part of keys, in case of the operation.
Protection function	Open phase protection (optional), over current protection, overvoltage protection, undervoltage protection, overheat protection, and overload protection and so on.	
Environment	Operating site	Indoor, installed in the environment free from direct sunlight, dust, corrosive gas, combustible gas, oil mist, steam and drip.
	Altitude	Derated above 1000m, the rated output shall be decreased by 10% for every rise of 1000m.
	Ambient temperature	-10°C-50°C, derated at 40°C-50°C
	Humidity	5%-95%RH, non-condensing
	Vibration	Less than 5.0m/s ² (0.5g)
Structure	Storage temperature	-40°C - +70°C
	Protection class	IP20
Installation method	Protection class	IP20
	Cooling method	Air cooling, with fan control.
Efficiency	Power under 45kW:92% - Power above 55kW:95%	

2.4 Introduction of product series

Table 2-1 Series of Kinco VFD

Model of VFD	Rated capacity (kVA)	Rated input current (A)	Rated output current (A)	Motor power (kW)
FV20-25-0084S	1.0	5.3	2.5	0.4
FV20-25-0087C	1.5	8.2	4.0	0.75
FV20-25-001M0	2.0	14.0	7.0	1.0
FV20-25-0022G	4.0	23.0	13.0	2.2
FV20-4T-0007G/0018L	1.5	3.4	2.0	0.75
FV20-4T-0016G/002L	3.0	5.0	3.7	1.5
FV20-4T-0020G/003L	4.0	6.8	5.0	2.2
FV20-4T-0037G/006L	5.5	10.5	6.0	3.7
FV20-4T-0055G/007L	8.0	16.5	11.0	5.5

3.2 Inverter standard peripheral configuration

Figure 3-4 Standard peripheral configuration diagram of the inverter

Anexo G: Hoja de datos Logo 8 12/24RC y DM8 12/24R

Datos técnicos			Datos técnicos		
A.5 Datos técnicos: LOGO! 12/24... y LOGO! DM8 12/24R					
	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RCo	LOGO! DM8 12/24R		LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RCo	LOGO! DM8 12/24R
Fuente de alimentación			Intensidad de entrada para		
Tensión de entrada	12/24 V c.c.	12/24 V c.c.	• señal 0	< 1,0 mA (I1...I6) < 0,05 mA (I7, I8)	<1,0 mA
Rango admisible	10,8 ... 28,8 V c.c.	10,8 ... 28,8 V c.c.	• señal 1	> 1,5 mA (I1...I6) > 0,1 mA (I7, I8)	>1,5 mA
Protección contra inversión de polaridad	sí	sí	Tiempo de retardo para		
Consumo de corriente			• cambio de 0 a 1	tip. 1,5 ms <1,0 ms (I5,I6) tip. 300 ms (I7,I8)	tip. 1,5 ms
• 12 V c.c.	30 ... 140 mA	30 ... 140 mA	• cambio de 1 a 0	tip. 1,5 ms <1,0 ms (I5,I6) tip. 300 ms (I7,I8)	tip. 1,5 ms
• 24 V c.c.	20 ... 75 mA	20 ... 75 mA	Longitud del conductor (sin blindaje)		
Compensación de fallos de tensión			Entradas analógicas		
• 12 V c.c.	tip. 2 ms	tip. 2 ms	Cantidad	2 (I7, I8)	
• 24 V c.c.	tip. 5 ms	tip. 5 ms	Margen	0 ... 10 V DC Impedancia de entrada 75 kΩ	
Potencia disipada			Tensión de entrada máx.		
• 12 V c.c.	0,3 ... 1,7 W	0,3 ... 1,7 W	28,8 V CC		
• 24 V c.c.	0,4 ... 1,8 W	0,4 ... 1,8 W	Longitud del conductor (trenzado y apantallado).		
Respaldo del reloj a 25 °C			10m		
Precisión del reloj de tiempo real			Salidas digitales		
Separación galvánica			Cantidad		
no			4		
Entradas digitales			Tipo de las salidas		
Cantidad	8	4	Salidas a relé		
Separación galvánica	no	no	Separación galvánica		
Tensión de entrada L+	<5 V c.c.	<5 V c.c.	sí		
• señal 0	>8 V c.c.	>8 V c.c.	En grupos de		
• señal 1			1		
			Activación de una entrada digital		
			sí		
			Tensión de salida		
			Intensidad de salida		
			Corriente constante I _{th} (por cada borne)		
			máx. 10 A por relé		
			máx. 5 A por relé		
			LOGO! Manual		
			ASE00228594-01		
			277		

Anexo H: Hoja de datos: Simatic HMI KTP700 Basic

SIEMENS

Hoja de datos del producto 6AV2123-2GB03-0A00

SIMATIC HMI, KTP700 BASIC, BASIC PANEL,
 MANDO POR TOCCAS/FACTIL,
 PANTALLA TFT 7", RES39-COLORS,
 AUTOGRAF PROFINET,
 CONFIGURABLE CON GRABED WINCC BASIC V13 STEP7
 BASIC V13,
 CONTIENE SW OPEN SOURCE QUE SE DEBE
 GRATUITAMENTE VER EN EL CD ADJUNTO



Especificaciones	
Dispositivo	
Tipo de display	Panelo TFT por contacto, retroiluminado LED
Diagonal de pantalla	7 in.
Área de display	121 cm²
Área del módulo	103 cm²
Nº de conexiones	40000
Resolución (píxeles)	
Resolución de imagen horizontal	300
Resolución de imagen vertical	400
Resistencia táctil	
STEP de la resistencia táctil (en 23 °C)	10000 A
Resistencia táctil variable	10
Exposición de luz	
Tamaño	
Nº de botones de función	0
Tactiles con LED	10
Tactiles del sistema	10
Tactiles numéricos/alfanuméricos	
Tactiles numéricos	0; Tactiles de pantalla

6AV2123-2GB03-0A00 Indicador de configuración
 Page 1/16 10.00.2014 © Copyright Siemens AG, 2014

Tamaño de pantalla	7 in. (diagonal de pantalla)
Modulo de pantalla	
Diagonal de pantalla	7 in.
Área de pantalla	121 cm²
Área del módulo	103 cm²
Nº de conexiones	40000
Tamaño de alimentación	
Tipo de fuente de la alimentación	24 VDC
Valor nominal (DC)	1 A
Rango de voltaje, línea inferior (DC)	18.7 V
Rango de voltaje, línea superior (DC)	26.4 V
Consumo de energía	
Consumo en modo normal	120 mA
Consumo en modo de espera	12.5 mA
Función de pantalla	
Consumo de pantalla	100 mA
Tipo de procesamiento	
ARM	10
MIPS	10
Memoria	
Flash	0
RAM	10
Memoria de usuario	10 MB
Tamaño de datos	
Alarma	10
Alarma	10
Red	
Red	
Redes por hardware (solo tiempo real)	10
Redes por software	10
Redes de datos	10
Redes de datos	10
Interfaz	
Nº de interfaces RS 485	0
Nº de interfaces USB	1; total máx. 10.00
Número de botones para teclado	0

6AV2123-2GB03-0A00 Indicador de configuración
 Page 2/16 10.00.2014 © Copyright Siemens AG, 2014

Nº de interfaces paralelas	0
Nº de interfaces RS 485 (RTU)	0
Nº de interfaces RS 485	0
Nº de interfaces RS 422	0
Nº de líneas Ethernet	0
Con interfaces a LAN	10
Protocolos Ethernet	
Nº de interfaces Industrial Ethernet	0
LED de estado Industrial Ethernet	0
Interfaz de red	
PROFINET	10
PROFINET IO	10
BT, función integrada	10
PROFINET	10
MP1	10
Protocolos Ethernet	
TCP/IP	10
DHCP	10
NMAP	10
SCP	10
LLDP	10
Protocolos IEEE	
FTP	10
FTM	10
Modo de pantalla	
CM1	10
MURAS	0; Máximo 10000 (0.125%)
Reporte de pantalla para CharKey®	0
Interfaz de diagnóstico	
Interfaz de diagnóstico	10
Se puede leer la información de diagnóstico	10
CD	
Resolución de pantallas de diagnóstico según EN 61010-1	
Resolución de pantallas de diagnóstico según EN 61010-1	10
Resolución de pantallas de diagnóstico según EN 61010-1	10
Resolución de pantallas de diagnóstico según EN 61010-1	10
Estado de pantalla y estado de pantalla	
Nº de botones	10

6AV2123-2GB03-0A00 Indicador de configuración
 Page 3/16 10.00.2014 © Copyright Siemens AG, 2014

Anexo I: Norma ANSI/IEC 60529

3 IP Code

The degree of protection provided by an enclosure is indicated by an alphanumeric code (IP Code).
The following notes apply to the status specified in EN 60529.

3.1 Arrangement

IP

2

3

C

M

Code letters
(International Protection)

First characteristic numeral
(numerals 1 to 6, or letter X)

Second characteristic numeral
(numerals 1 to 6, or letter X)

Additional letter (optional)
(letters A, B, C, D)

Supplementary letter (optional)
(letters H, M, S, W)

If the specification of a characteristic numeral is not required, it shall be replaced by the letter 'X' (or 'XX' if both numerals are omitted). Additional letters and/or supplementary letters may be omitted without replacement. If more than one supplementary letter is used, alphabetical order should be applied.
If an enclosure provides different degrees of protection for different intended mounting arrangements, the relevant degrees of protection shall be indicated by the manufacturer in the instructions for the respective mounting arrangements.

3-1

3.2 Definitions

Element	Numerals or letters	Definition for the protection of equipment	Definition for the protection of persons
Characteristic numerals	IP	-	-
First characteristic numeral	0 1 2 3 4 5 6	Against ingress of solid foreign objects (unprotected) ≥ 50 mm diameter ≥ 12.5 mm diameter ≥ 2.5 mm diameter ≥ 1.0 mm diameter dust-protected dust-tight	Against access to hazardous parts with: (unprotected) back of the hand finger tool wire wire wire
Second characteristic numeral	0 1 2 3 4 5 6 T B	Against ingress of water with harmful effects (unprotected) vertically dripping spraying (15° tilted) spraying splashing jetting powerful jetting temporarily immersion continuous immersion	- - - - - - - -
Additional letter (optional)	A B C D	- - - -	Against access to hazardous parts with: back of the hand finger tool wire
Supplementary letter (optional)	H M S W	Supplementary information specific to: High-voltage apparatus sliding during water test stationary during water test Weather conditions	- - - -

3-2

3.3 Optional additional letter for contact protection

In the first version of IEC 60529 and in DIN 40050, attaining a high degree of protection against access was associated with a small opening width or, in other words, a high degree of protection against the ingress of foreign objects. This specification was an unnecessary impediment for apparatus to be used in clean rooms that require large ventilation openings and which are access-proof on account of the sufficient distances to the internal live parts.

The new version of IEC 60529 and EN 60529 now makes it possible to indicate the degree of protection against access by slats or barriers by using an additional letter (A, B, C or D). The additional letter can be used as an option when the access protection is greater than indicated by the first numeral, or when information on protection against the ingress of foreign objects is not desired. The individual standards committees have the right to decide whether they wish to utilize this extension of the code for degree of IP protection in their product standards.

The national and international committees responsible for the degrees of protection of electrical machines have rejected the introduction of this additional letter in their product standards (DIN 8004-5 (DIN VDE 0530 Part 5) and in IEC 60334-5). Access protection for electrical machines is achieved presently by limiting the opening widths and can therefore be described with the first code number of an IP Code using two numerals.

Five other sectors have taken advantage of this option. The minimum requirement for protection against direct access, however, is defined with the new IP Code (e.g. IP00B) in basic safety regulations. The following section explains this extension of the IP Code.

The additional letter indicates the degree of protection for persons with regard to access to hazardous parts.

Additional letters are only used:

- if the actual protection against access to hazardous parts is greater than the protection specified by the first code number; or
- if only the protection against access to hazardous parts is specified and the first code number is replaced with an X.

The higher degree of protection could be provided by guards, suitable shape of openings or distances inside the enclosure.

Additional letter	Degree of protection - Brief description	Definition
A	Protected against access with the back of the hand	The access probe, sphere of 50 mm diameter, must have adequate clearance from hazardous parts
B	Protected against access with a finger	The jointed test finger of 12 mm diameter, 80 mm length, must have adequate clearance from hazardous parts
C	Protected against access with a tool	The access probe of 2.5 mm diameter, 100 mm length, must have adequate clearance from hazardous parts
D	Protected against access with a wire	The access probe of 1.0 mm diameter, 100 mm length, must have adequate clearance from hazardous parts

Table 3.3 Degrees of protection against access to hazardous parts indicated by the additional letters

3-3

3.3.1 Test probes

Access probes have been newly defined in IEC 60529 and EN 60529. They form part of a system of test probes described fully in DIN IEC 61012 / VDE 0510 Part 2 [7] comprising a total of 19 selected variants from the IEC standards.

- IP Code probes
 - access probes
 - object probes
- Other probes
 - for protection against hazardous active and mechanical parts
 - for protection against hazardous mechanical parts
 - for protection against hot or incandescent internal parts.

The access probes listed below are used in the IP Code.

Protection against access with	Access probe	Explanation
Back of the hand		The plate between the sphere and the handle is not a stop but is provided to protect the tester
Finger		The jointed test finger has two joints. For the purpose of the IP test it is only to be used up to the first stop face measuring 55 mm ± 23 mm, and 80 mm along its length
Tool		The «stop face» takes the form of a 35 mm sphere. It is intended to simulate the knuckle when the tool or wire is held in the hand
Wire		

Fig. 3.3.1 Access probes for testing the protection against access in the IP system

3-4



PREPARACIÓN DE ELEMENTOS HARDWARE

1. Conexión del sistema a la red eléctrica.

- Encender los interruptores termomagnéticos para energizar a los variadores de frecuencia.
- Verificar la presencia de los fusibles.

2. Conexión de la HMI en Lookout.

- Al Switch ubicado en la caseta principal conecte el cable Ethernet desde cualquier puerto al puerto RJ45 del computador.

3. Configuración de la velocidad en los variadores de frecuencia.

- Una vez energizados los variadores, el panel de operación se encenderá y mostrará la frecuencia.
- Para aumentar o disminuir la frecuencia gire el potenciómetro hasta que la frecuencia mantenga en 30 Hz, para evitar daños en el mecanismo.
- Repita el paso anterior en ambos variadores.

MANEJO DEL INTERFAZ HMI

- Una vez energizado el panel HMI, aparecerá la pantalla principal y el operador podrá accionar el sistema al pulsar cualquiera de los botones, según se requiera.

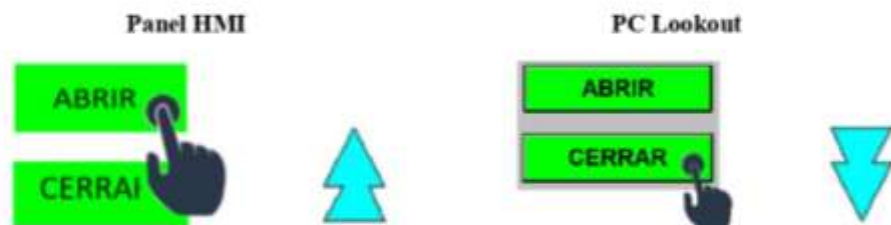
- En la pantalla principal se puede acceder a 3 modos: manual, configurado por defecto, automático y mantenimiento.
- Para el HMI en Lookout, se debe abrir la aplicación ejecutable ubicada en el escritorio del computador.

Modo manual

- El sistema arranca con este modo configurado por defecto, también se activa al cambiar de posición el selector ubicado en la parte superior de la pantalla.



- Observe la barra para verificar el nivel de agua en el canal, si es menor o mayor a 90, mantenga pulsado el botón abrir o cerrar, el sistema se activará hasta alcanzar el nivel recomendado, dependiendo de la acción ejecutada deben verse indicadores de subida o bajada.



- Ejecutar estas acciones hasta que se encienda el indicador de los finales de carrera, FC. Abierto o FC. Cerrado.



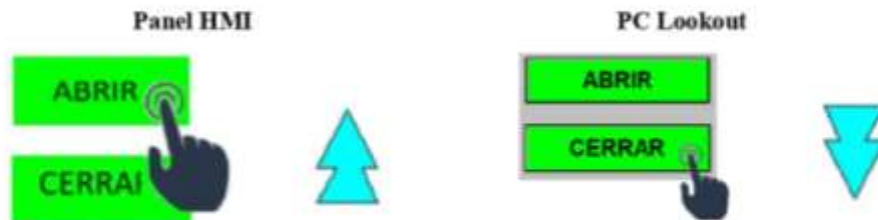
- Repetir el mismo procedimiento con ambas compuertas.

Modo automático

- Cambie la posición del selector para entrar en el modo automático



- Observe la barra para verificar el nivel de agua en el canal, si es menor o mayor a 90, pulse una vez el botón abrir o cerrar, el sistema se activará hasta alcanzar el nivel recomendado, dependiendo de la acción ejecutada deben verse indicadores de subida o bajada.



- Ejecutar estas acciones hasta que se encienda el indicador de los finales de carrera, FC. Abierta o FC. Cerrada o se pulse el botón "Paro Auto".



- Repetir el mismo procedimiento con ambas compuertas.

Modo mantenimiento

- Cuando deba realizar la limpieza de la rejilla, active el modo mantenimiento pulsando el botón señalado.



- Si pulsa el botón IR en el panel HMI, se abrirá una segunda pantalla que indica si se quiere poner en modo mantenimiento, en el caso de Lookout solo active el switch.



- Pulse el botón para que el modo automático quede bloqueado y el sistema solo trabaje en modo manual.

Bloqueo HMI

- Bloquee el Panel HMI desde la caseta principal activando el switch que se encuentra en la HMI de Lookout.
- Un indicador en la pantalla principal le mostrará que el Panel HMI no se puede manipular.



Pantalla de visualización, monitoree el estado de las compuertas desde la caseta principal, manteniendo el nivel de agua que ingresa al canal sin acercarse al tablero.

- Desde la pantalla principal del Lookout, ejecute cualquier acción como "Abrir", "Cerrar" ya sea en modo manual, automático o de mantenimiento.
- Pulse el botón "Ver Compuertas", se abrirá una segunda pantalla que muestra el estado del sistema.
- Observe si el sistema está trabajando, bloqueado o se activó el paro de emergencia.

The objective of the current graduation work was the design and implementation of a board with an Human-Machine Interface (HMI) to control gates 1 and 2 of the intake of the Chambo-Guano irrigation system. The system allows independent control of the gates in three modes: automatic, manual and maintenance, it consists of six stages: the first delivers the necessary voltage to power the protection and control devices. The stage of signal acquisition, made up of limit switches, allows to determine the opening and closing limits of the gates. These signals are sent to the processing stage whose main element is a Logo! 8, in charge of sending and activating output signals, based on the functional graph of control stage-transition of the process, for later activate the Kinco frequency inverters together with the three-phase motors that make up the power stage, in such a way that the movement of the gates is generated. Control and visualization of the system statuses is carried out by means of a KTP700 HMI Panel or an HMI developed in NI Lookout, the final stage enables Ethernet communication between the processing stage and HMIs. As a result, it was determined that the communication maintained a 1ms response time without data loss and with consistent responses according to actions executed from the interfaces. This determines that the HMI contains an interactive design, easy to use for operators to have better control of the water level entering the channel. Finally, an important recommendation is to add artificial vision systems in the cleaning of grids to achieve a total automation of the intake.

<GATE AUTOMATION>, <INTAKE>, <HMI>, <LOGO! 8>, <ETHERNET COMMUNICATION>, <GRAFCECET>, <FREQUENCY DRIVE>

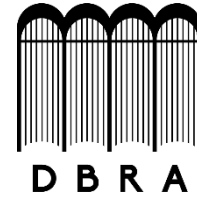


Firmado electrónicamente por:
**NELLY MARGARITA
PADILLA PADILLA**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE**



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 18 / 05 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: JOSELYN ESTEFANIA GALLEGOS LOPEZ FERNANDA ABIGAIL GULLSQUI CARRILLO
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Carrera: ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Título a optar: INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

0904-DBRA-UPT-2021