



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**“DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE ALIMENTACIÓN Y  
CONTROL DE BOMBAS PARA AGUA POTABLE EN LA CABECERA  
PARROQUIAL DE LIMONAL”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Eléctrico

**AUTOR:** ALVARO PATRICIO MALDONADO SAMANIEGO

**TUTOR:** ING. GARY OMAR AMPUÑO AVILÉS, MSc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2022

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Maldonado Samaniego Alvaro Patricio con documento de identificación N° 0917711608 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 16 de noviembre del año 2022

Atentamente,



---

Alvaro Patricio Maldonado Samaniego

0917711608

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL  
TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
SALESIANA**

Yo, **Alvaro Patricio Maldonado Samaniego** con documento de identificación N° 0917711608, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del proyecto técnico: Diseño del sistema automatizado de alimentación y control de bombas para agua potable en la cabecera parroquial de Limonal, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 16 de noviembre del año 2022

Atentamente,



---

Alvaro Patricio Maldonado Samaniego

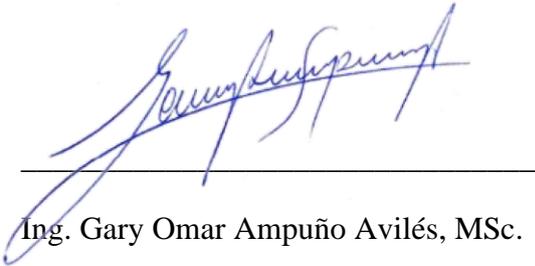
0917711608

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, **Gary Omar Ampuño Avilés** con documento de identificación N° 0922639752, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Diseño del sistema automatizado de alimentación y control de bombas para agua potable en la cabecera parroquial de Limonal, realizado por Alvaro Patricio Maldonado Samaniego con documento de identificación N° 0917711608, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 16 de noviembre del año 2022

Atentamente,



Ing. Gary Omar Ampuño Avilés, MSc.

0922639752

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres que siempre me apoyaron en toda mi vida universitaria, los cuales nunca perdieron la fe en poder terminar esta etapa de mi vida. A mi madre que siempre estuvo para darme un consejo y la fortaleza para siempre seguir adelante y nunca decaer. A mi padre que siempre me apoyo y me alentó para lograr todos mis objetivos.

A mi esposa e hijos que son mi motor y motivación para salir adelante.

A mi familia en general, pero de manera especial a mi hermana Lorena, abuelita Judith y abuelita Pila que siempre estuvieron para darme ánimo y apoyarme.

Alvaro Patricio Maldonado Samaniego

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco ante todo a Dios por permitir llegar a este momento en vida, de tener a mis padres presentes y que disfruten de este logro.

A mi esposa por su amor y comprensión ante todo el sacrificio que conllevo para cumplir esta meta.

A mis abuelitas que siempre estuvieron preocupadas por mis estudios y nunca desmayaron ante las adversidades.

A todos los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana en especial al docente Gary Ampuño y a la Lcda. Kenia Muñoz por ser parte de este proyecto y poder culminarlo.

Alvaro Patricio Maldonado Samaniego

## RESUMEN

AÑO	ALUMNO	DIRECTOR DE PROYECTO TÉCNICO	TEMA DE PROYECTO TÉCNICO
2022	Alvaro Patricio Maldonado Samaniego	Ing. Gary Ampuño Avilés MSc.	DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE ALIMENTACIÓN Y CONTROL DE BOMBAS PARA AGUA POTABLE EN LA CABECERA PARROQUIAL DE LIMONAL

El presente trabajo de titulación se dedicó a resolver el problema de abastecimiento de agua potable a la zona de la cabecera parroquial de Limonal y los recintos San Lorenzo, Colorado, Valdivia, El Recreo, La Elvira y Piñal de Abajo del Cantón Daule, provincia del Guayas. Estas parroquias eran abastecidas de agua potable en ciertos horarios con ayuda de tanqueros incurriendo en gastos considerables en el alquiler de los vehículos, choferes, combustibles, entre otros.

Para resolver el problema se diseñó un sistema automatizado de alimentación y control de bombas de impulsión de la cisterna baja que almacena agua proveniente del sistema de agua potable del cantón Daule.

Para el desarrollo nos enfocamos en el diseño del sistema eléctrico de alimentación y control de las bombas mediante un controlador lógico programable (PLC); además, de un sistema de monitoreo del nivel de agua en la cisterna y en el tanque elevado con ayuda de sensores de nivel. También se establece el diseño del esquema de conexión automática de una o dos bombas considerando las exigencias del servicio garantizando la continuidad, la eficiencia y la confiabilidad del servicio de agua potable a la zona las 24 horas [anexo] del día cubriendo todas las zonas pobladas de la parroquia del Limonal.

Palabras claves: Bombas de impulsión, Automatización, Agua Potable

## ABSTRACT

<b>YEAR</b>	<b>STUDENTS</b>	<b>DIRECTOR OF TECHNICAL PROJECT</b>	<b>TECHNICAL PROJECT THEME</b>
2022	Alvaro Patricio Maldonado Samaniego	Ing. Gary Ampuño Avilés MSc.	DESIGN OF THE AUTOMATED PUMP SUPPLY AND CONTROL SYSTEM FOR DRINKING WATER IN THE PARISH HEAD OF LIMONAL

The present titling work was dedicated to solving the problem of drinking water supply to the area of the parish head of Limonal and the San Lorenzo, Colorado, Valdivia, El Recreo, La Elvira and Piñal de Abajo precincts of the Daule Canton, province of Guayas. These parishes were supplied with drinking water at certain times with the help of tankers, incurring considerable expenses in the rental of vehicles, drivers, fuel, among others.

To solve the problem, an automated feeding and control system for the discharge pumps of the low cistern that stores water from the Daule canton drinking water system was designed.

For the development we focus on the design of the electrical system for feeding and controlling the pumps through a programmable logic controller (PLC); In addition, there is a monitoring system for the level of water in the cistern and in the elevated tank with the help of level sensors. The design of the automatic connection scheme for one or two pumps is also established, considering the demands of the service, guaranteeing the continuity, efficiency, and reliability of the drinking water service to the area 24 hours a day [annex], covering all populated areas. of the parish of Limonal.

Keywords: Impulse pumps, Automation, Potable Water

## **TABLA DE CONTENIDO**

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	- 1 -
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	- 2 -
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	- 3 -
DEDICATORIA .....	- 4 -
AGRADECIMIENTO .....	- 5 -
RESUMEN.....	- 6 -
ABSTRACT.....	- 7 -
TABLA DE CONTENIDO .....	- 8 -
ÍNDICE FIGURAS.....	- 11 -
ÍNDICE TABLAS .....	- 14 -
ÍNDICE ANEXOS.....	- 15 -
INTRODUCCIÓN .....	- 18 -
1. EL PROBLEMA.....	- 19 -
1.1. Antecedentes.....	- 19 -
1.2. Importancias y alcances .....	- 19 -
1.3. Delimitación.....	- 19 -
1.3.1. Temporal.....	- 19 -
1.3.2. Espacial.....	- 19 -
1.3.3. Académica .....	- 20 -
1.4. Objetivos.....	- 20 -
1.4.1. Objetivo General.....	- 20 -
1.4.2. Objetivos específicos.....	- 20 -
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	- 21 -
2.1. Pirámide automatización industrial.....	- 21 -

2.1.1.	Nivel cero: nivel de proceso .....	- 22 -
2.1.2.	Nivel uno: nivel de campo.....	- 22 -
2.1.3.	Nivel dos: nivel de célula .....	- 22 -
2.1.4.	Nivel tres: nivel de planta.....	- 22 -
2.1.5.	Nivel cuatro: nivel de fábrica .....	- 22 -
2.2.	Automatización.....	- 22 -
2.2.1.	Sistema de automatización fija.....	- 23 -
2.2.2.	Sistema de automatización programable .....	- 23 -
2.2.3.	Sistema de automatización flexible .....	- 23 -
2.2.4.	Sistema Integrado de Automatización.....	- 23 -
2.3.	Sistemas de Bombeo .....	- 23 -
2.4.	Tipos de bombas .....	- 24 -
2.4.1.	Bomba centrífuga .....	- 24 -
3.	<b>DESCRIPCIÓN .....</b>	<b>- 25 -</b>
3.1.	Propuesta de la solución.....	- 25 -
3.1.1.	Cisterna de reserva baja.....	- 26 -
3.1.2.	Sistema de bombeo de impulsión .....	- 27 -
3.1.3.	Sistema de fuerza.....	- 28 -
3.1.4.	Sistema de control .....	- 28 -
3.1.5.	Opción local.....	- 29 -
3.1.6.	Opción remota .....	- 30 -
3.1.7.	Tanque de reserva alta .....	- 31 -
3.1.8.	Tablero de transferencia automática, distribución y banco de capacitores-	31 -
3.1.9.	Barras de cobre y aisladores .....	- 32 -
3.1.10.	Transferencia automática.....	- 32 -
3.1.11.	Distribución principal .....	- 34 -
3.1.12.	Tablero de distribución 110-220 V.....	- 35 -

3.1.13.	Supervisor de voltaje ICM.....	- 35 -
3.1.14.	Alarmas y fallas .....	- 36 -
3.2.	Estructura de propuesta.....	- 36 -
3.3.	Descripción de los elementos y equipos. ....	- 38 -
3.3.1.	Controlador lógico programable (PLC).....	- 38 -
3.3.2.	Modicon M241 .....	- 39 -
3.3.3.	Variador de frecuencia Altivar .....	- 40 -
3.3.4.	Arrancador suave.....	- 41 -
3.3.5.	HMI .....	- 41 -
3.3.6.	Conexión del M241 Logic Controller a un PC.....	- 42 -
3.4.	Sensores de Nivel.....	- 43 -
3.4.1.	Sensor de nivel tipo capacitivo.....	- 43 -
3.4.2.	Sensor de nivel ultrasónicos sin contacto.....	- 43 -
4.	DESARROLLO DE PROPUESTA.....	- 44 -
4.1.	Planos eléctricos de la propuesta .....	- 44 -
4.2.	Programación de la propuesta.....	- 50 -
5.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	- 68 -
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	- 69 -
7.	ANEXOS.....	- 71 -
7.1.	Planteamiento de practicas.....	- 71 -
7.1.1.	Practica N.º 1 .....	- 71 -
7.1.2.	Practica N.º 2 .....	- 73 -
7.1.3.	Practica N.º 3 .....	- 75 -
7.2.	Resolución de practicas.....	- 77 -
7.2.1.	Practica N.º 1 .....	- 77 -
7.2.2.	Practica N.º 2 .....	- 83 -
7.2.3.	Practica N.º 3 .....	- 100 -

7.3. Gráficas de caudal.....	- 107 -
------------------------------	---------

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Representación de pirámide automatización industrial (Rodríguez, 2011).....	- 21 -
Figura 2. Sistema básico de bombeo de agua potable (LGTSOLAR, 2015).....	- 24 -
Figura 3. Bomba centrífuga (QuimiNet, 2012). .....	- 24 -
Figura 4. Estación de bombeo en Limonal (Autor).....	- 26 -
Figura 5. Cisterna de reserva baja (Autor) .....	- 27 -
Figura 6. Área de bombas (Autor).....	- 28 -
Figura 7. Transferencia automática (Autor) .....	- 28 -
Figura 8. Operación "LOCAL" o "REMOTO" (Autor) .....	- 29 -
Figura 9. Botoneras y luces piloto para operar en "LOCAL" (Autor).....	- 30 -
Figura 10. HMI para operar en "REMOTO" (Autor) .....	- 30 -
Figura 11. Tanque de reserva alta (Autor).....	- 31 -
Figura 12. Tablero principal (Autor) .....	- 32 -
Figura 13. Equipos de fuerza en tablero de control (Autor).....	- 33 -
Figura 14. Equipos de control (Autor).....	- 34 -
Figura 15. Tableros en aérea eléctrica (Autor) .....	- 34 -
Figura 16. Tablero de servicios generales (Autor) .....	- 35 -
Figura 17. Supervisor ICM (Autor).....	- 36 -
Figura 18. Estructura de red de comunicación industrial (Autor) .....	- 38 -
Figura 19. Modicon 241 (Schneider Electric, 2021) .....	- 39 -
Figura 20. Modicon M241 (Schneider Electric, 2021).....	- 40 -
Figura 21. Altivar ATV320 (Schneider Electric, 2021) .....	- 41 -
Figura 22. Arrancador Suave SIRIUS (Siemens, 2020).....	- 41 -
Figura 23. HMI HMIGTO5310 (Schneider Electric, 2021).....	- 42 -

Figura 24. Conexión de ethernet a PC (Schneider Electric, 2021).....	- 42 -
Figura 25. Sensor capacitivo (FIAMA, 2022).....	- 43 -
Figura 26. Sensor ultra sónico (Autor) .....	- 43 -
Figura 27. Plano de tablero principal (Autor).....	- 44 -
Figura 28. Plano Tablero de control (Autor) .....	- 45 -
Figura 29. Plano del diagrama de control de transferencia automática (Autor).....	- 46 -
Figura 30. Plano control de bombas 1/2 (Autor) .....	- 47 -
Figura 31. Plano control de bombas 2/2 (Autor) .....	- 48 -
Figura 32. Plano de entradas y salidas digitales del PLC (Autor).....	- 49 -
Figura 33. Plano del módulo de entradas analógicas (Autor).....	- 49 -
Figura 34. Selección de PLC Modicon (Autor).....	- 50 -
Figura 35. Selección de HMI Magelis (Autor).....	- 50 -
Figura 36. Configuración de modulo Analógico (Autor) .....	- 51 -
Figura 37. Declaración de DI (Entradas Digitales) (Autor) .....	- 51 -
Figura 38. Declaración de DQ (Salidas Digitales) (Autor) .....	- 52 -
Figura 39. Declaración de entradas en el módulo analógico (Autor) .....	- 52 -
Figura 40. Habilitación de entradas analógicas (Autor) .....	- 53 -
Figura 41. Agregar programas o bloques (Autor) .....	- 53 -
Figura 42. Programación de Leader (Autor) .....	- 54 -
Figura 43. Programas activados en “Mast” (Autor) .....	- 54 -
Figura 44. Declaración de variables global (Autor) .....	- 55 -
Figura 45. Declaración de variables por programas (Autor).....	- 55 -
Figura 46. Activación de “Configuración de símbolos ...” (Autor).....	- 56 -
Figura 47. Sincronización y compilación de variables al HMI (Autor) .....	- 56 -
Figura 48. Llamado de variables al HMI (Autor).....	- 57 -
Figura 49. Variables enlazadas en HMI (Autor) .....	- 57 -

Figura 50. Cambiar color de fondo (Autor).....	- 58 -
Figura 51. Crear un panel principal (Autor) .....	- 58 -
Figura 52. Definimos el modelo y formato de los botones (Autor) .....	- 59 -
Figura 53. Configuración texto de los botones (Autor).....	- 59 -
Figura 54. Definimos color de fondo y asignamos a que panel pertenecerá el botón (Autor) . -	60 -
Figura 55. Definido el panel principal (Autor).....	- 60 -
Figura 56. Definimos el modelo, formato y variable en cada luz piloto (Autor) .....	- 61 -
Figura 57. Selección de la variable y agregamos el texto que identifica cada luz piloto (Autor)	..... - 62 -
Figura 58. Gráficos que van a hacer representaos en el HMI y definimos las variables y rangos de cada gráfico. (Autor).....	- 63 -
Figura 59. Gráficos de la estación en el HMI (Autor).....	- 63 -
Figura 60. Configuración de luces pilotos, flujo de agua a la salida y volúmenes y niveles de cisterna y tanque. (Autor) .....	- 64 -
Figura 61. Configuración final del sistema de bombeo (Autor).....	- 64 -
Figura 62. Elegimos “Selector circular” (Autor).....	- 65 -
Figura 63. Configuramos del selector forma, ángulo de apertura y habilitación (Autor) . -	65 -
Figura 64. Configuramos como luz piloto la opción de “Manual” y “Auto” (Autor).....	- 66 -
Figura 65. Configuramos el botón de encendido manual para las bombas (Autor) .....	- 66 -
Figura 66. Procedemos a repetir lo realizado en el primer selector con los otros dos selectores (Autor) .....	- 67 -

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Alarmas y fallas (Autor).....	- 37 -
Tabla 2. Conexión al puerto Ethernet (Schneider Electric, 2021).....	- 42 -

## ÍNDICE ANEXOS

Figura Anexo 1. 1 Crear proyecto nuevo (Autor) .....	- 77 -
Figura Anexo 1. 2 Elección de modelos de PLC y HMI (Autor) .....	- 77 -
Figura Anexo 1. 3 Declaración de DI (Autor).....	- 78 -
Figura Anexo 1. 4 Declaración de DQ (Autor) .....	- 78 -
Figura Anexo 1. 5 Creación de POU (Autor) .....	- 79 -
Figura Anexo 1. 6 Declaración de TON (Autor).....	- 79 -
Figura Anexo 1. 7 Programa finalizado (Autor).....	- 79 -
Figura Anexo 1. 8 Ejecución de simulación (Autor).....	- 80 -
Figura Anexo 1. 9 Ejecución de Inicio de Sesión (Autor).....	- 80 -
Figura Anexo 1. 10 Ejecución de Inicio (Autor).....	- 81 -
Figura Anexo 1. 11 Enlistando variables para supervisión (Autor) .....	- 81 -
Figura Anexo 1. 12 Estado de variables del programa simulado (Autor) .....	- 81 -
Figura Anexo 1. 13 Comprobación del programa (Autor) .....	- 82 -
Figura Anexo 2. 1 Crear proyecto 2 (Autor) .....	- 83 -
Figura Anexo 2. 2 Elección de modelos de PLC y HMI (Autor) .....	- 83 -
Figura Anexo 2. 3 Declaración de variables de entrada y salida. (Autor).....	- 83 -
Figura Anexo 2. 4 Módulo adicional de entradas digitales (Autor) .....	- 84 -
Figura Anexo 2. 5 Declaración de variables adicionales (Autor).....	- 84 -
Figura Anexo 2. 6 Modulo analógico de entrada (Autor) .....	- 84 -
Figura Anexo 2. 7 Declaración de entradas analógicas. (Autor).....	- 85 -
Figura Anexo 2. 8 Creación del programa "MAIN" (Autor).....	- 85 -
Figura Anexo 2. 9 Operador "LT" y "GT" (Autor) .....	- 86 -
Figura Anexo 2. 10 Función "IsFirstMastColdCycle" (Autor) .....	- 86 -
Figura Anexo 2. 11 Programa "MAIN" (Autor).....	- 86 -

Figura Anexo 2. 12 Creación del programa "BOMBAS" (Autor) .....	- 87 -
Figura Anexo 2. 13 Programación de bomba 1 (Autor) .....	- 87 -
Figura Anexo 2. 14 Programación de bombas 2 y 3 (Autor) .....	- 88 -
Figura Anexo 2. 15 Creación del programa "PRIORIDAD" (Autor) .....	- 88 -
Figura Anexo 2. 16 Operador lógico "OR" y "AND" (Autor) .....	- 89 -
Figura Anexo 2. 17 Programa de "PRIORIDAD" (Autor).....	- 89 -
Figura Anexo 2. 18 Creación del programa "SP_BOMBAS" (Autor).....	- 90 -
Figura Anexo 2. 19 Operador "MOVE" y bloque PID (Autor).....	- 90 -
Figura Anexo 2. 20 Programa "SP_BOMBA" (Autor) .....	- 92 -
Figura Anexo 2. 21 Creación del programa "COMM" (Autor) .....	- 93 -
Figura Anexo 2. 22 Función "Control_ATV" (Autor) .....	- 93 -
Figura Anexo 2. 23 Función "MC_ReadActualVelocity" (Autor).....	- 98 -
Figura Anexo 2. 24 Permisivos para funcionamiento del VDF (Autor) .....	- 99 -
Figura Anexo 2. 25 Programación de "COMM" (Autor) .....	- 99 -
Tabla Anexo 2. 1 Entradas y salidas del bloque de funciones de PID (Schneider Electric, 2021) .....	- 90 -
Tabla Anexo 2. 2 Variables de la función "Control_ATV" (Schneider Electric, 2021) ...	- 93 -
Tabla Anexo 2. 3 Variables de función "MC_ReadActualVelocity" (Schneider Electric, 2021) .....	- 98 -
Figura Anexo 3. 1 Activación de "Configuración de símbolos ..." (Autor).....	- 100 -
Figura Anexo 3. 2 Sincronización y compilación de variables al HMI (Autor) .....	- 100 -
Figura Anexo 3. 3 Importación de variables del PLC a HMI (Autor).....	- 101 -
Figura Anexo 3. 4 Cambio de fondo de pantalla y panel base (Autor) .....	- 101 -
Figura Anexo 3. 5 Configuración de pulsadores (Autor) .....	- 102 -
Figura Anexo 3. 6 Configuración de luces pilotos (Autor) .....	- 102 -

Figura Anexo 3. 7 Importación de variables al HMI (Autor).....	- 103 -
Figura Anexo 3. 8 Panel principal (Autor) .....	- 103 -
Figura Anexo 3. 9 Elaboración de Panel "INICIO" (Autor) .....	- 104 -
Figura Anexo 3. 10 Configuración de paneles lumínicos y selectores (Autor).....	- 104 -
Figura Anexo 3. 11 Configuración de botones digitales (Autor) .....	- 105 -
Figura Anexo 3. 12 Configuración de nivel de cisterna (Autor) .....	- 105 -
Figura Anexo 3. 13 Representación gráfica de la salida del agua potable (Autor) .....	- 106 -
Figura Anexo 3. 14 Configuración de medidas en tiempo actual (Autor) .....	- 106 -
Figura Anexo 3. 15 Panel "Créditos" (Autor) .....	- 106 -
Gráfico Anexo 1. Caudal vs Tiempo del cantón Limonal 2022 (Autor).....	- 107 -

## INTRODUCCIÓN

A través de las mejoras tecnológicas en la ingeniería se plantea el proyecto de titulación con el fin de abastecer a la parroquia de Limonal del servicio de agua potable, brindándole a la comunidad mediante un sistema automatizado, innovador y eficaz para solventar la deficiencia de agua potable en la cabecera parroquial del Limonal.

La importancia de este proyecto es lograr que cada hogar cuente con el servicio básico de agua potable sin estar pendiente a un horario o día para su abastecimiento en la parroquia el Limonal.

Para la solución del problema planteado se propuso la implementación del PLC Modicon 241 y HMI GTO de la marca Schneider, los cuales se programaron para el control y visualización de datos en tiempo real, además de la operación de las bombas de impulsión.

Nuestro diseño consta de una cisterna baja y un tanque elevado. La cisterna baja es llenada mediante tuberías conectadas con el sistema de agua potable del cantón Daule. Para evitar que las bombas de impulsión trabajen en vacío se instaló los sensores de nivel en la cisterna baja y mediante la programación del PLC las bombas trabajan en un rango de nivel. El tanque elevado es llenado de agua potable proveniente de la cisterna baja con la ayuda de las bombas de impulsión. Para evitar el derrame de agua potable del tanque elevado la programación del PLC verifica que el nivel alto del tanque elevado este activo.

Por último, a la salida del tanque elevado cuenta con flujómetro y los datos de este son tomados por el operario de turno. Todos los sensores instalados son visualizados en tiempo real por el operador en el HMI.

A continuación, es detallado el primer capítulo sobre el análisis del problema que se tomó para el planteamiento de este, así sus objetivos específicos y sus delimitaciones.

Para el segundo capítulo del proyecto se indican los fundamentos técnicos y teóricos, tales como, el detalle de elementos, de software, de comunicación y automatización.

Para el tercer capítulo del proyecto se detalla el diseño y su funcionamiento de cada parte del proyecto.

En el cuarto capítulo se indica la explicación de la propuesta. En el quinto capítulo se mencionan las conclusiones.

En la sección de anexos se muestran tres prácticas para el uso del software y posible variable a nuestra propuesta principal.

# **1. EL PROBLEMA**

## **1.1. Antecedentes**

En la Parroquia de Limonal la situación del servicio de agua potable es crítica. (Fuente: El Universo \_ Entrevista a Moradores del Limonal). El abastecimiento de agua potable a esta parroquia era realizado mediante el trasvase de agua potable desde la estación de Daule, a través de una tubería de agua aproximadamente diez kilómetros de recorrido. El estudio realizado en (ALEXANDER, 2019), la presión disminuye considerablemente, la energía proporcionada a la masa de agua trasvasada por la estación de bombeo, al recorrer una distancia considerablemente larga.

Debido a esto, el servicio de agua no es el adecuado en la zona de la cabecera parroquial de Limonal y los recintos aledaños del Cantón Daule, provincia del Guayas.

## **1.2. Importancias y alcances**

La idea principal de este proyecto de gran importancia es el desarrollo del sistema de bombeo que garantice:

- La acumulación de 500 metros cúbicos de agua potable para crear una reserva que soporte las exigencias en las horas pico de mayor consumo, evitando así la conexión ininterrumpida de las bombas de suministro de agua potable para la población y a las pequeñas industrias en dichas horas.
- Una presión fluctuante entre 32 PSI y 25 PSI según (ALEXANDER, 2019).
- El aumento de la fiabilidad del servicio convirtiéndolo en autónomo respecto de las fallas del servicio eléctrico.

## **1.3. Delimitación**

### **1.3.1. Temporal**

La implementación de este proyecto se realizó dentro de un año a partir de la aprobación del proyecto.

### **1.3.2. Espacial**

Este proyecto será realizado en la Parroquia de Limonal, ubicada al norte del cantón Daule, a la altura del kilómetro cincuenta y cuatro de la vía Guayaquil-Daule.

### **1.3.3. Académica**

Mediante el desarrollo e implementación de este proyecto de titulación se aplicó conocimientos técnicos además de los conocimientos empíricos, los cuales, han sido adquiridos durante los cursos regulares y seminarios profesionales dictados en el transcurso de la carrera en las materias como Automatización Industrial, Instalaciones Industriales.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema automatizado de alimentación y control de bombas mediante el uso de PLC M241 de la marca Schneider para garantizar (anexo) el abastecimiento de agua potable a la zona de la cabecera parroquial de Limonal y los recintos San Lorenzo, Colorado, Valdivia, El Recreo, La Elvira y Piñal de Abajo del Cantón Daule, provincia del Guayas de manera continua, eficiente y confiable.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Diseñar el sistema eléctrico de alimentación y control de las bombas para alimentarlas con corriente eléctrica, considerando los datos de la bomba elegida o sea elegir los componentes tales como breakers, contactores y arrancadores suaves para la conexión de las bombas y efectuar las maniobras requeridas en caso de fallos de una bomba en funcionamiento, durante el servicio diario de agua potable.
- Diseñar el sistema de monitoreo del nivel de agua en la cisterna y en el tanque elevado mediante sensores de nivel, mismos que no deben contaminar el agua acumulada ni en la cisterna ni en el tanque elevado, por lo cual, se propone sensores ultrasónicos, con lo cual se garantiza la reserva de agua necesaria en el servicio a la zona en las horas pico.
- Diseñar el esquema de conexión automática de una o dos bombas en paralelo, según exigencias del consumo, y el reemplazo automático de una bomba en fallo para garantizar la continuidad, la eficiencia y la confiabilidad del servicio de agua potable a la zona.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Sin duda la tendencia hacia el futuro a nivel industrial es el paso a sistemas automatizados específicos y abiertos. Entre los principales factores para el crecimiento de la industria automatizada es la introducción del Ethernet. El ethernet según (Allen-Bradley, 2019) ha tenido un gran impacto en la industria debido a su ventaja de manejo de información desde poder controlar un proceso de planta hasta enviar información a una oficina sobre algún proceso de fábrica. A continuación, se describirá otros principios de la automatización.

### 2.1. Pirámide automatización industrial

A nivel industrial las comunicaciones se establecen de manera ordenada en función a la información y ubicación jerárquica. Cada nivel entre si deben tener una comunicación directa entre los subniveles del mismo nivel y los niveles inferiores o superiores. Así aparecen cinco niveles según (Rodríguez, 2011).

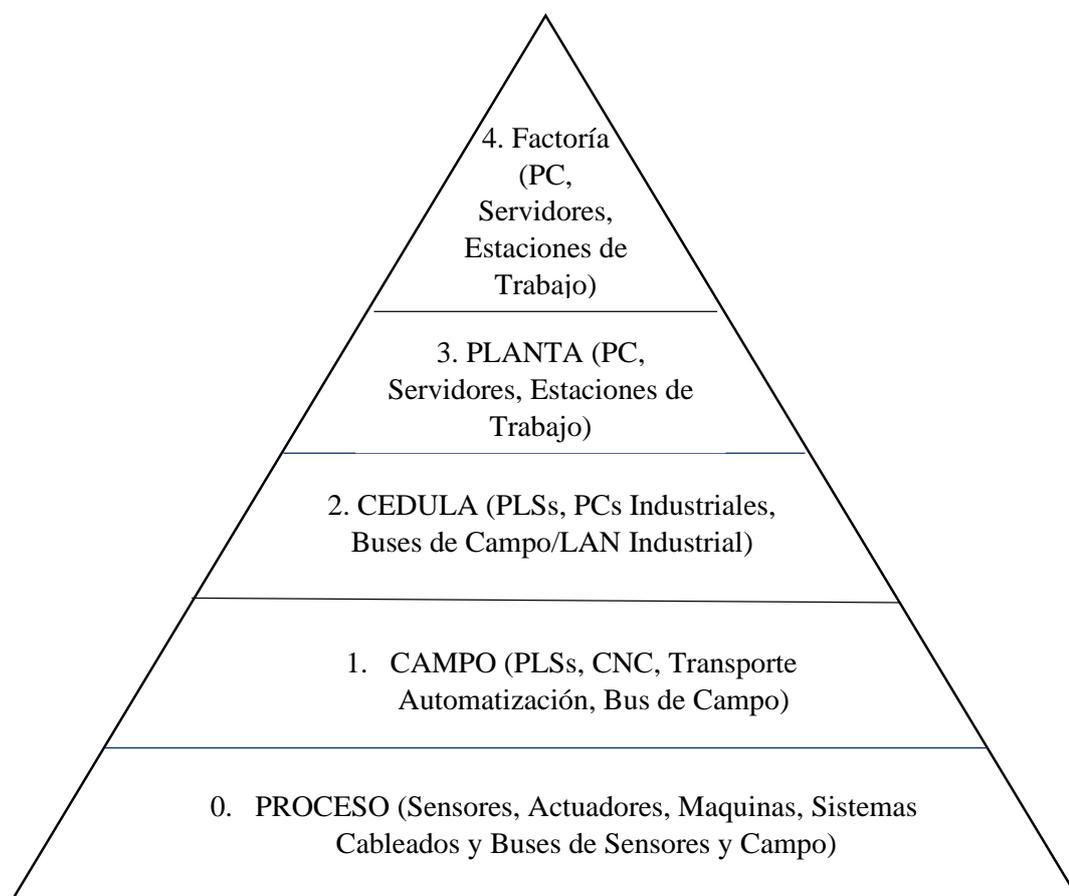


Figura 1. Representación de pirámide automatización industrial (Rodríguez, 2011).

### **2.1.1. Nivel cero: nivel de proceso**

Está formado por sensores y actuadores. Son los elementos que ejecutan los procesos productivos mediante una orden superior que los supervisa para su ejecución. Estos actuadores esta acompañados de sensores que habilitan o no su ejecución (Rodriguez, 2011).

### **2.1.2. Nivel uno: nivel de campo**

En el nivel de campo se encuentran los equipos capaces de gestionar los sensores y actuadores como el PLC intercambiando información entre al nivel cero y nivel dos. Generalmente la comunicación con el nivel superior se lo realiza con buses de campo (Rodriguez, 2011).

### **2.1.3. Nivel dos: nivel de célula**

El nivel de célula se encarga de recibir los programas ejecutables para el nivel tres además recibe la información de lo ocurrido en toda la planta. Además, este nivel envía ordenes al nivel uno y a su vez recibe los estados de operación de los elementos en planta (Rodriguez, 2011).

### **2.1.4. Nivel tres: nivel de planta**

El nivel de planta se encarga de la supervisión de toda la planta donde se llegan a mostrar posibles alarmas, procesos en ejecución, posibles fallos, entre otros. Estos elementos se pueden llegar a observar en una pantalla mediante el entorno supervisión control y adquisición de datos (SCADA) (Rodriguez, 2011).

### **2.1.5. Nivel cuatro: nivel de fábrica**

El nivel de fabrica es aquel que permite las comunicaciones de varias plantas entre sí y proporcionar una comunicación con diferentes partes de la planta. Debido a la gran cantidad de información y los tiempos cortos, se deben emplear equipos de alta gama para la comunicación entre diferentes plantas (Rodriguez, 2011).

## **2.2. Automatización**

En base a (Nieto Córdoba, 2006) la automatización es, la combinación de tres ramas tecnológicas como la mecánica, electrónica e informática, que con el paso del tiempo cada vez se relacionan más.

Los sistemas de automatización industrial se clasifican en:

- Sistema de automatización fija

- Sistema de automatización programable
- Sistema de automatización flexible
- Sistema Integrado de Automatización

#### **2.2.1. Sistema de automatización fija**

Son aquellos elementos dedicados para la realización de procesos específicos. Las fábricas e industrias que poseen que constan de diseños estables y sostenibles son las que suelen optar por estos tipos de sistemas.

#### **2.2.2. Sistema de automatización programable**

Estos sistemas son aquellos que utilizan la programación como base para poder lograr la fabricación de productos en masa. Un sistema encargado de producción puede acoplarse dependiendo al tipo del producto que se desean producir con diferentes especificaciones.

#### **2.2.3. Sistema de automatización flexible**

Este sistema se refiere a una forma muy eficaz, refinada y autentica de la automatización programable. El beneficio de este sistema es que se puede realizar cambios y mejoras a equipos de manera eficiente reduciendo la pérdida de tiempo de fabricación.

#### **2.2.4. Sistema Integrado de Automatización**

Este sistema se refiere al grupo de procesamiento, maquinarias, datos y procesos que laboran de manera síncrona, con un solo sistema de control que implementa el sistema de automatización de un proceso industrial

### **2.3.Sistemas de Bombeo**

Los sistemas de bombeo se refieren al conjunto de equipos, tuberías, accesorios que toman el agua de una manera ya sea directa o de manera indirecta de su fuente de abastecimiento y a través de mecanismos realizar el impulso hacia un reservorio de almacenamiento o ya bien directo a una red de distribución.

El proyecto de final de carrera (Lasheras Romero, 2012), demuestra como la selección de una bomba dependerá de ciertos parámetros como: el tamaño del impulsor, la cabeza de impulsión y velocidad de operación, logrando tener una bomba adecuada para la aplicación requerida.

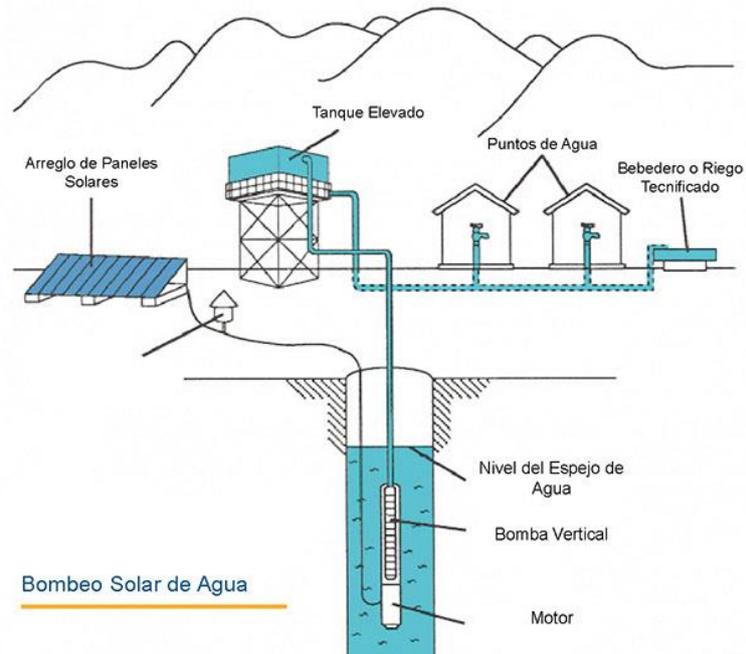


Figura 2. Sistema básico de bombeo de agua potable (LGTSOLAR, 2015).

## 2.4. Tipos de bombas

Las bombas independientes de su tipo deben cumplir con los siguientes parámetros: capacidad requerida, line de succión y descarga de bomba, condiciones geográficas, menor precio, capacidad de bomba, menor mantenimiento y funcionamiento mediante energía eléctrica.

### 2.4.1. Bomba centrífuga

Una bomba centrífuga es una máquina que consiste de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja, o una cubierta. Se denominan así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga (QuimiNet, 2012).



Figura 3. Bomba centrífuga (QuimiNet, 2012).

### **3. DESCRIPCIÓN**

#### **3.1.Propuesta de la solución**

Esta propuesta se basa en la captación de agua potable en una cisterna de reserva baja donde los sensores de nivel permitirán el control del llenado y vaciado posterior. La estación de bombeo contara con dos áreas separadas. La primera será el área eléctrica y la segunda el área de cuarto de bombas.

En el área eléctrica cuenta con un transformador seco abierto de 15 kVA y dos tableros: tablero principal con banco de capacitores y servicios generales. El tablero principal cuenta con una transferencia automática y es supervisado con una controlador ICM, además tiene un juego de barras de cobre, los cuales alimentan los breakers para los otros tableros. En este tablero también se encuentran los condensadores tipo botella para obtener el banco de capacitores y mejorar el factor de potencia. Por último, el tablero de servicios generales que tiene un voltaje diferente al que usan las bombas centrifugas esto gracias a la ayuda del transformador seco. Este tablero sirve para energizar la garita, el alumbrado interior, alumbrado exterior, tomacorrientes a 110 V y tomacorrientes 220 V.

En el área de cuarto de bombas consta el tablero de control y las tres bombas de impulsión. El tablero de control cuenta con la pantalla HMI, selector de operación “LOCAL” y “REMOTA”, pulsadores de marcha/paro para uso en operación “LOCAL”, el PLC Modicon 241, breakers de fuerza y control, contactores y arrancadores suaves. Las tres bombas de impulsión están conectadas en una misma tubería y estas suben al tanque de reserva alta para su respectivo llenado, el cual es controlado por sensores ultrasónicos que permiten el control del nivel del tanque. Para la distribución de agua potable a la población es mediante el flujo que genera la gravedad al abrir la válvula de salida.



Figura 4. Estación de bombeo en Limonal (Autor)

### 3.1.1. Cisterna de reserva baja

La propuesta para la parroquia el Limonal fue la construcción de una cisterna de reserva baja, la cual recolecta el agua que es suministrada desde el acueducto de la planta potabilizadora del Cantón Daule. A la entrada de la cisterna se encuentra una válvula que permite el ingreso o no del agua a la cisterna. Este reservorio tiene una capacidad de 500 metros cúbicos, el cual alcanza a los 3.33 metros de llenado aproximadamente. En esta cisterna están colocados dos sistemas de detección de nivel, uno analógico a través de un sensor-transmisor ultrasónico y uno digital a través de 3 sondas de nivel. El transmisor de nivel posibilita que se pueda visualizar en la pantalla del HMI (interfaz hombre maquina) los valores de nivel de agua (en metros) y volumen (en metros cúbicos) existente en la cisterna en tiempo real y el sistema digital es una medida de seguridad para establecer el nivel mínimo de operación de las bombas de impulsión al tanque elevado.



Figura 5. Cisterna de reserva baja (Autor)

### 3.1.2. Sistema de bombeo de impulsión

Este sistema de bombeo de impulsión está formado por tres bombas trifásicas de 460 V de 15 HP, las cuales sus descargas se encuentran en una misma tubería de entrega o suministro al tanque elevado.

El principal propósito, con el cual, se usa el bombeo en paralelo es para dividir el flujo de la demanda en varias bombas dejando siempre al menos una de reserva y realizando rotaciones de estas para alargar la vida útil de las mismas.

Para el control de estas bombas se instaló un tablero de arrancadores, el cual se describe a continuación.

Este tablero está ubicado en un cuarto de bombas de impulsión de agua, el gabinete es de acero inoxidable tipo auto soportado para uso interior construido en estructura perfil en U, puerta y tapas en plancha de igual tipo, este gabinete está diseñado para un voltaje nominal de 600 V, los equipos instalados operan a un voltaje de 460 V, 60 Hz, para un sistema de tres fases, neutro y tierra, todo el conjunto como las barras de cobre, los disyuntores, conductores de control, conductores de fuerza, regleta de conexión y todos los accesorios tienen su propio compartimento en el tablero.



Figura 6. Área de bombas (Autor)

### 3.1.3. Sistema de fuerza

La protección principal de este tablero es a través de un breaker termomagnético trifásico regulable de 70 a 100 A, este breaker energiza un sistema de barras, de los cuales se toman energía para los tres breakers termomagnético de protección de las bombas de 40 A cada uno y un breaker de control. Estos breakers alimentan cada uno a un contactor de 32 A con bobina 220 V y aguas abajo de estos, se encuentran los arrancadores suaves de 32 A, para un arranque y parada de las bombas de forma gradual y controlada para de esta forma minimizar el estrés mecánico al que estarían expuestas las bombas en los ciclos de arranque y paro.



Figura 7. Transferencia automática (Autor)

### 3.1.4. Sistema de control

El sistema de control está conformado por el PLC Modicon 241, donde se recibe las señales digitales de arranque, estado, niveles y analógicas de los niveles de la cisterna de reserva baja

y el tanque elevado. Además, es el que permite que se realicen las operaciones de trabajo tanto en modo LOCAL o REMOTA y permitiendo la desconexión de alguna bomba ya sea para mantenimiento o para dejarla en reserva de operación.



Figura 8. Operación "LOCAL" o "REMOTO" (Autor)

### **3.1.5. Opción local**

Esta opción generalmente es para operaciones de mantenimiento, es decir, para realizar verificaciones y chequeos del sistema de bombeo. Esta opción puede ser elegida una vez seleccionado el selector del lado LOCAL.

Una vez que se tenga el selector en posición LOCAL se puede escoger cualquiera de las tres bombas a través de las botoneras de marcha y paro que se encuentran en la puerta del tablero, teniendo la capacidad de permitir que trabajen simultáneamente las tres bombas, activada cualquier bomba, esta entrará en operación. Se debe tener en cuenta que en este modo no se tomara en cuenta las protecciones existentes de nivel bajo en cisterna y nivel alto en el tanque, ya que sería solo para operaciones de mantenimiento. El maniobrar de forma incorrecta las bombas en este modo de trabajo podría ocasionar daños en las bombas en caso de trabajar sin el suficiente nivel de agua potable en la cisterna baja y en caso de que no estén al pendiente del nivel del tanque, este se podría rebosar.



Figura 9. Botoneras y luces piloto para operar en "LOCAL" (Autor)

### 3.1.6. Opción remota

Es la operación, con la cual, está diseñado el sistema y permitiendo un control sobre las tres bombas, siempre manteniendo una como reserva. En la pantalla de panel de control se encuentran los 3 selectores para escoger el modo de funcionamiento de las bombas, siempre deben estar activadas solo dos bombas. El arranque de las bombas en modo automático será dado por el nivel de llenado del tanque, si el nivel está por debajo de 1.6 metros las bombas activas se encenderían y se mantendrían trabajando hasta alcanzar los 2.25 metros. Tener en cuenta que el nivel de rebose del tanque sería de 2.33 metros.



Figura 10. HMI para operar en "REMOTO" (Autor)

### 3.1.7. Tanque de reserva alta

El tanque de reserva es capaz de almacenar 100 metros cúbicos de agua, el cual se alcanzaría al nivel de llenado 2.33 metros, para evitar reboses, las bombas siempre se mantendrán activas hasta alcanzar los 2.25 metros, dejando un margen de seguridad de 8 centímetros.



Figura 11. Tanque de reserva alta (Autor)

### 3.1.8. Tablero de transferencia automática, distribución y banco de capacitores

El tablero es metálico tipo auto soportado para uso interior construido en estructura perfil en U con plancha de acero inoxidable, puerta y tapas en plancha de igual tipo y espesor, este gabinete está diseñado para un voltaje nominal de 600 V, los equipos que se instalaron en su interior operaran a un voltaje de 460 V y 60 Hz.

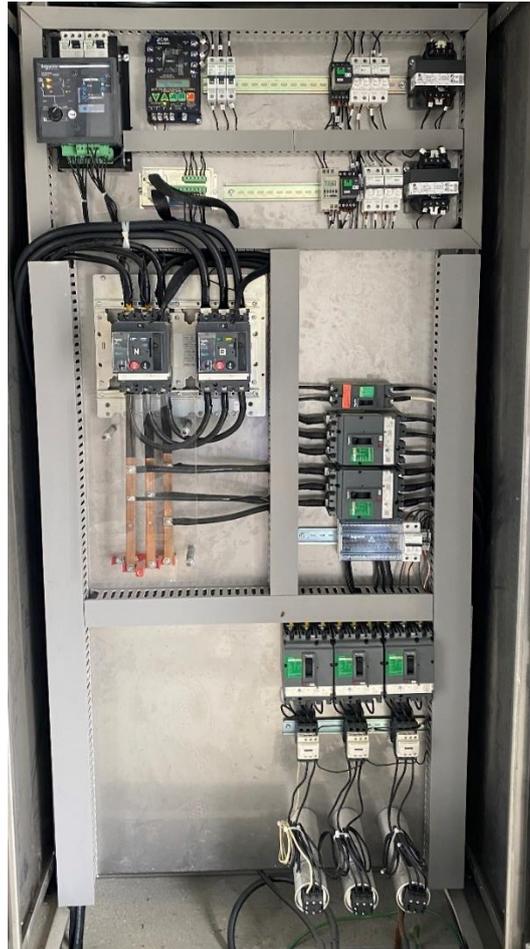


Figura 12. Tablero principal (Autor)

### **3.1.9. Barras de cobre y aisladores**

Como se muestra en la figura 13, las barras son de cobre electrolítico de alta conductividad, tienen una capacidad de 300 A, todas las uniones de la barra con terminales son por pernos, tuercas y arandelas, de acero altamente tensionales, tanto las barras de fase como la del neutro están montados sobre aisladores tipo barril de tamaño correlacionado al tamaño de las barras.

### **3.1.10. Transferencia automática**

#### **3.1.10.1. Fuerza**

En lo que respecta a lado de la fuerza está formada por dos interruptores de 150 A para operación bajo carga con poder de corte de 42 a 85 kA a 220 V, cada interruptor tiene una bobina de mínima tensión, una bobina de cierre, botones pulsadores de cierre y apertura eléctrico, está equipado con un motor 220 V para operación remota y un sistema de enclavamiento mecánico para evitar la conmutación de estos interruptores.



Figura 13. Equipos de fuerza en tablero de control (Autor)

### 3.1.10.2. Control

De acuerdo a la figura 14, el control está formado por una unidad de inversor de red por telemando compuesto por una unidad principal de mando y una unidad de comunicación a la unidad principal esta unidad es para trabajo con un voltaje 220/240 V.

Las funciones básicas que tiene el sistema de control de transferencia automática son las siguientes:

- Transferencia de la red de la empresa eléctrica a la red de emergencia (generador), dependiendo de la presencia de voltaje o pérdida de una de las fases de la red normal
- Funcionamiento forzado de las redes normal y emergencia.
- Ajuste de tiempo para desconexión y conexión de interruptor de red normal en el ciclo

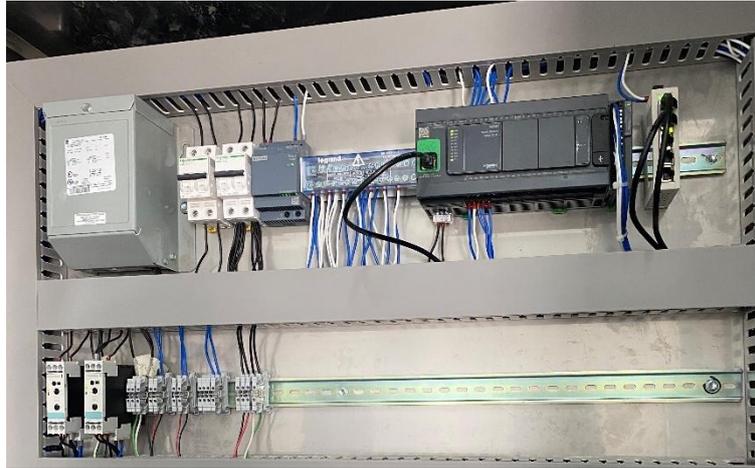


Figura 14. Equipos de control (Autor)

### 3.1.11. Distribución principal

Está formada por los siguientes breakers:

Se instalaron los diferentes breakers que alimentaran a los tableros de distribución a instalar, estos tableros a instalar son:

- Tablero de arrancadores de cuarto de bombas de impulsión 3P-70/100 A.
- Tablero de banco de capacitores 3P-70/100 A.
- Transformador seco de 15 kVA 440/220/110 V para servicios generales 2P-30 A.

Los breakers son de caja moldeada provistos de protección térmica.

Dentro del mismo tablero se encuentra el banco de capacitores, conformado por 3 breakers regulables de 23 a 32 A, 3 contactores de 25 A y 3 capacitores de 10 kVAR. Cada bomba que se activa mediante un contactor del banco, para mantener estable el factor de potencia.



Figura 15. Tableros en aérea eléctrica (Autor)

### **3.1.12. Tablero de distribución 110-220 V**

Para los servicios generales se tiene un transformador monofásico de 440 a 110-220 V que alimenta el tablero de distribución de 110-220 V. Desde ese tablero se distribuye hacia paneles de distribución independientes en cada cuarto y desde estos paneles salen los circuitos derivados para iluminación y tomacorrientes como se muestra en la figura 16.



Figura 16. Tablero de servicios generales (Autor)

### **3.1.13. Supervisor de voltaje ICM**

En la figura 17, se muestra el supervisor de voltaje a través del supervisor ICM, el cual registra la calidad de servicio de la energía eléctrica que estaría ingresando al sistema de bombeo. Una vez que el sistema esté en las condiciones adecuadas el supervisor permitiría la operación del sistema.



Figura 17. Supervisor ICM (Autor)

### 3.1.14. Alarmas y fallas

En la tabla 1, se muestra las cuatro fallas más comunes que pueden ocurrir con los equipos propuestos, además se mencionan sus posibles causas y soluciones.

### 3.2. Estructura de propuesta

En la figura 18, se muestra la estructura básica de la propuesta planteada. La propuesta tiene como base el PLC Modicon 241 que mediante sus módulos de entrada y salida permiten la comunicación con los elementos de maniobra o control y los actuadores. Además, cuenta con un módulo analógico con entradas y salidas analógicas. La comunicación entre equipos Schneider es sencilla donde definimos una dirección IP con una subred fija para todos los equipos y cambiando en el último número dependiendo de cada equipo para lograr diferenciarlos. Todos estos equipos se llegan a comunicar mediante cable ethernet y un switch de comunicaciones podremos enlazar un HMI y una computadora con el sistema SCADA con el PLC.

Tabla 1. Alarmas y fallas (Autor)

ALARMAS Y FALLAS			
FALLA	CAUSA POSIBLE	REVISAR	SOLUCIÓN
1. Panel operación apagado	a) Falta de energía eléctrica	Realizar una inspección de fusibles de alta tensión o breaker principal	1. Revisar fusibles de ingreso al transformador, breaker principal y breakers de control
	a) Falta de voltaje de la línea b) Falla en una fase de la línea c) Alto voltaje d) Bajo voltaje	a) Realizar una inspección de fusibles de alta tensión o breaker principal b) Revisar breakers de control	a) Revisar manual ICM 450 adjunto b) Por ningún caso forzar la alimentación del equipo a través del relé auxiliar, previo la revisión de personal técnico capacitado
2. Activación del ICM			
3. Bajo nivel de agua	a) Falta de agua en la cisterna	a) Inspeccionar el nivel de la cisterna a través de la puerta de inspección de la cisterna	a) Revisar electrodos de nivel de agua en la cisterna b) Revisar si está operando el PLC c) Reiniciar todo el sistema desconectando los breakers de control
4. Falla de algún Arrancador suave	a) Pérdida de voltaje b) Sobre corriente c) Falla del motor	a) Revisar los breakers de los arrancadores b) Revisar físicamente el arrancador y ver si hay algún led rojo encendido	a) Reiniciar el breaker b) Aplastar el botón azul de “reset” en el correspondiente arrancador

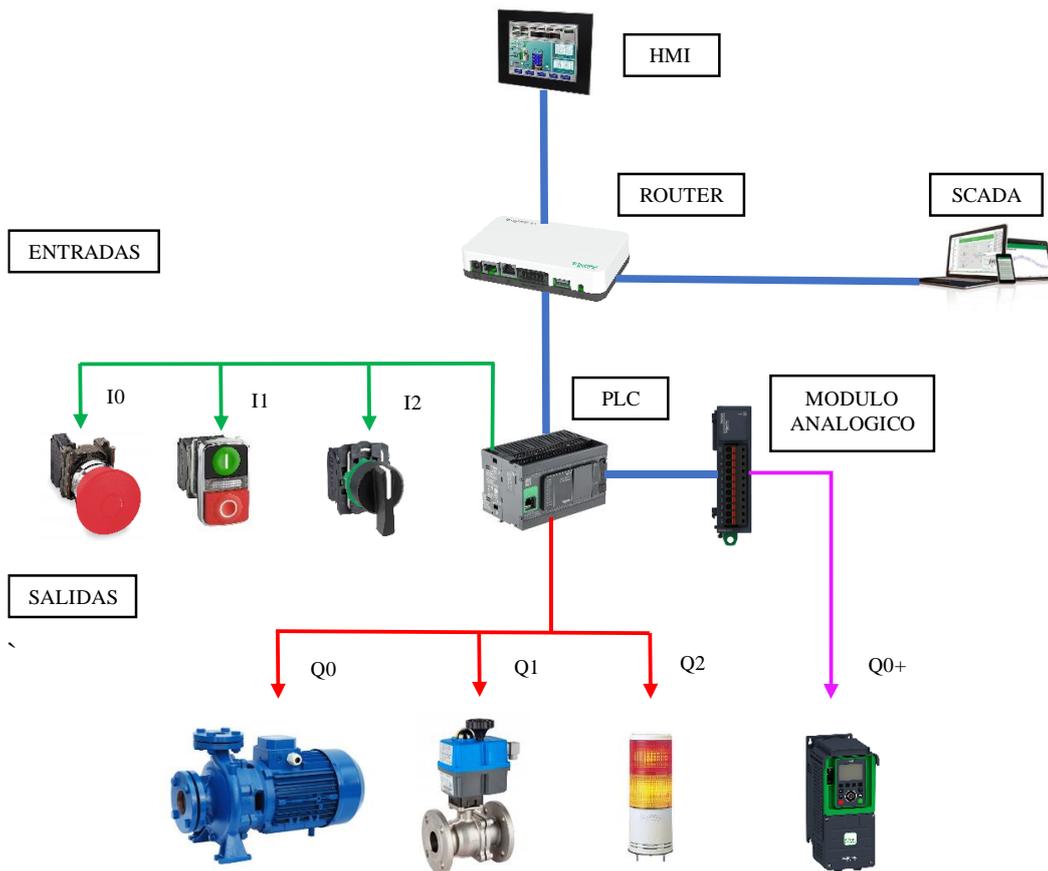


Figura 18. Estructura de red de comunicación industrial (Autor)

### 3.3.Descripción de los elementos y equipos.

#### 3.3.1. Controlador lógico programable (PLC)

Como se muestra en la figura 19, el PLC o controlador lógico programable es un instrumento electrónico, que emplea memoria programable para la ejecución de instrucciones de programas o bloque de funciones, en las cuales se involucran operaciones lógicas matemáticas, temporizadores, contadores, secuencias sugeridas y supervisión para el control mediante módulos de entradas y salidas analógicos o digitales sobre diferentes equipos o de procesos (Nieto Córdoba, 2006).

Proyecto como (Mariscal, 2010), utilizaron un PLC para el control de agua. Mediante la automatización se obtuvo como resultados poder trabajar de manera automática evitando derrame de agua y que las bombas trabajen más de las horas de las que deberían, por lo cual se evita que el consumo eléctrico baje considerablemente.

Además, al cambiar a un PLC para el control de agua este sistema mejoro y se evita tantos remplazos de equipos por fallas en el antigua sistema.

(Murillo, 2018) sostiene que en su proyecto en la estación de bombeo Yuyucocha el sistema de control es supervisado por un PLC Master M340 de la marca Schneider Electric. Obteniendo como resultados el control de los tres pozos de agua al mismo tiempo y así obtener una mejor administración del líquido vital.

Al ser un equipo de alta gama, los errores obtenidos fueron menos de dos por ciento con respecto a los cálculos estimados. Todos los estados de operación, niveles y sensores se reflejan en un HMI donde estará un operador para su operación y control.

En base al proyecto (Miranda, 2021), utiliza el mismo modelo de PLC que se presenta en este proyecto como es el M241 de la marca Schneider. Logrando realizar diseños y configuraciones que es capaz realizar nuestro PLC. De esta manera se comprueba lo eficaz, sostenible y robusto que puede ser.

Además, logra comunicación y configuración con un variador de frecuencia Altivar para realizar un lazo de control PID, mismo que se realiza en nuestros anexos como practica con la diferencia de hacerlo con un bloque de programación ya definido por el programa SoMachine.



Figura 19. Modicon 241 (Schneider Electric, 2021)

### 3.3.2. Modicon M241

El Modicon M241 es un controlador lógico de MachineStruxure como se ilustra en la figura 20. La NEXT generation de MachineStruxure™ de Schneider Electric es una solución para procesos industriales con todas las funciones necesarias para cualquier planta que necesite una mejora. Al contar con un puerto Ethernet se obtiene la posibilidad de comunicarse desde

cualquier sitio y hora para su funcionamiento y mantenimiento (Schneider Electric, 2021). Nuestro PLC estará en el área cuarto de bombas ubicado en el tablero de control.

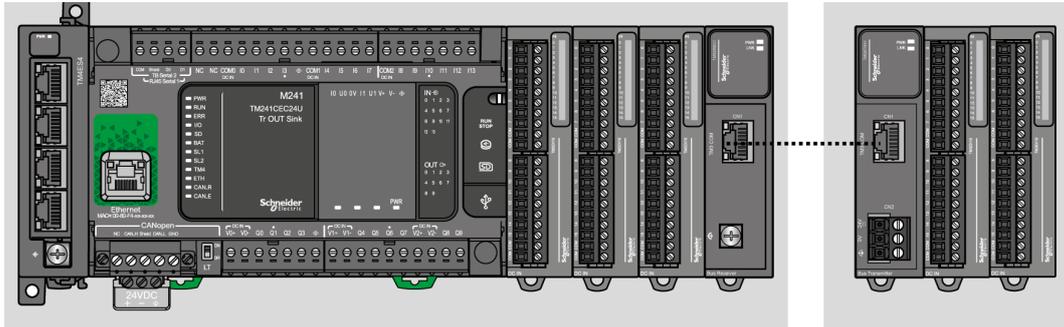


Figura 20. Modicon M241 (Schneider Electric, 2021)

### 3.3.3. Variador de frecuencia Altivar

Con el enorme incremento de la demanda de los usuarios industriales derivada de la digitalización de sus procesos de fabricación, los fabricantes de equipos originales necesitan soluciones industriales versátiles capaces de integrarse de manera sencilla en sistemas de automatización híbridos.

Altivar ATV320 representa seguridad, fiabilidad y simplicidad. Con sólidas normas de diseño y certificaciones de validez mundial, ATV320 es una solución excelente que puede ayudar a reducir los costes de instalación y a incrementar el rendimiento de la maquinaria. También permite que los usuarios prolongar la vida útil de las máquinas en lo relativo a instalación y mantenimiento (Schneider Electric, 2021)

El variador de frecuencia será una alternativa para nuestra propuesta ya que se podrá controlar su velocidad de rotación del motor y con esto cambiar el flujo del agua potable. Además, al ser de la misma marca que el PLC la comunicación entre ellos es mediante un bloque de modulo ya establecido por el programa EcoStruxure Machine Expert. El variador de frecuencia estará ubicado en el área cuarto de bombas ubicado en el tablero de control.



Figura 21. Altivar ATV320 (Schneider Electric, 2021)

#### 3.3.4. Arrancador suave

Los arrancadores suaves SIRIUS son la primera opción para un motor trifásico cuando la aplicación final necesita que la corriente nominal se regule de apoco esto evita que se produzcan danos mecánicos y eléctricos debido a una corriente nominal muy elevada, (Siemens, 2020). Para la propuesta de este proyecto se plantea usar arrancadores suaves y se ubica en el área de bombas en el tablero de control.



Figura 22. Arrancador Suave SIRIUS (Siemens, 2020)

#### 3.3.5. HMI

Una pantalla de tecnología LED que permite la visualización de datos a tiempo real. Cuenta con un puerto Ethernet integrado para todos los terminales. En la Interfaces cuenta con USB 2.0 y Tarjetas SD los que permiten la adquisición de datos mediante equipos informáticos. Para la propuesta de este proyecto se plantea usar una pantalla HMI que será operada por

personal capacitado para la estación de bombeo. En esta pantalla se logrará hacer maniobras tanto para su operación como mantenimiento. El HMI y se ubica en el área de bombas en el tablero de control.



Figura 23. HMI HMIGTO5310 (Schneider Electric, 2021)

### 3.3.6. Conexión del M241 Logic Controller a un PC

Para transferir, ejecutar y monitorizar la programación, se conecta el controlador a un equipo que tenga instalado EcoStruxure Machine Expert mediante una conexión Ethernet.

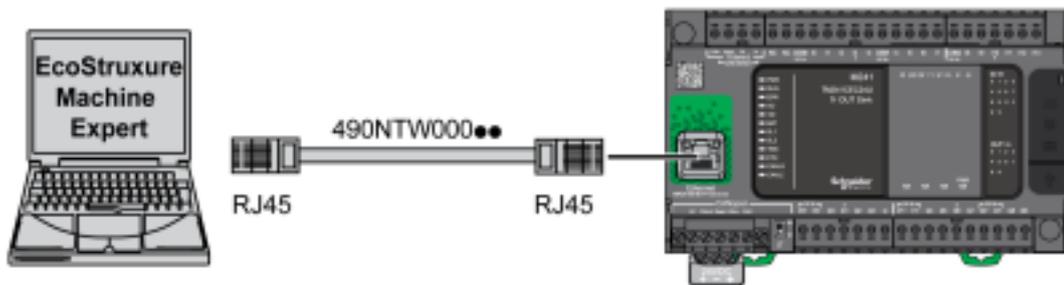


Figura 24. Conexión de ethernet a PC (Schneider Electric, 2021)

Tabla 2. Conexión al puerto Ethernet (Schneider Electric, 2021)

Paso	Acción
1	Conecte el cable Ethernet al PC
2	Conecte el cable Ethernet al puerto Ethernet del controlador.

### 3.4.Sensores de Nivel

Son dispositivos electrónicos, los cuales miden la altura de un líquido dentro de un tanque. Los sensores de nivel se clasifican en dos tipos, los cuales son:

#### 3.4.1. Sensor de nivel tipo capacitivo

Estos son sensores de nivel de punto, es un flotador magnético, el cual, se mueve en la superficie del líquido. Este sensor es uno de los más utilizados ya que minimiza el impacto, la presión y la vibración (FIAMA, 2022).



Figura 25. Sensor capacitivo (FIAMA, 2022)

#### 3.4.2. Sensor de nivel ultrasónicos sin contacto

Estos sensores tienen un procesador de señal analógica, un microprocesador y un circuito de salida del controlador. Este transmite los impulsos al microprocesador a la señal analógica del sensor, que envía un haz ultrasónico a la superficie del líquido. Este sensor utiliza un eco que detecta la superficie y lo envía de vuelta para conocer la distancia entre el sensor y el nivel de la superficie del líquido.



Figura 26. Sensor ultra sónico (Autor)

## 4. DESARROLLO DE PROPUESTA

### 4.1. Planos eléctricos de la propuesta

Como se muestra en la figura 27 tenemos el plano del tablero principal en su contenido se propone: una UA Controller, un controlador ICM, tres breakers para riel de 1x1 A, dos relés de 14 pines con base, cinco breakers de 2x2 A, dos transformadores secos de 250 VA a 440/220 V, una unidad de enclavamiento eléctrico con base IVE, un programador horario, una transferencia automática Compact NSX 160 NA, un breaker CVS 56/80 A, dos breakers CVS 112/160 A, un repartidor de voltaje de dos polos y tres borneras gris para cable #12. Para el banco de capacitores se propone: tres breakers CVS 22/32 A, tres contactores LC1D25 y tres condensadores de 5 kVAR.

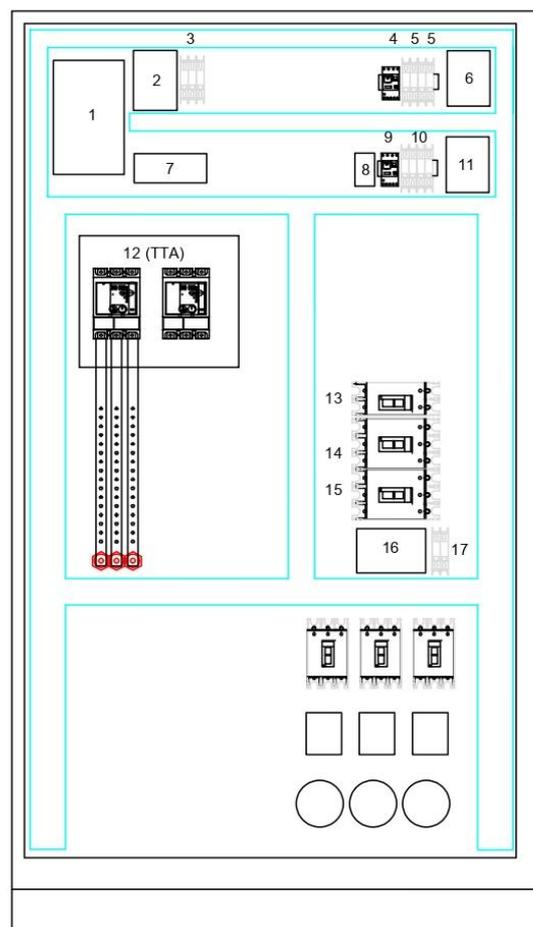


Figura 27. Plano de tablero principal (Autor)

En la figura 28 muestra el plano del tablero de control. Para la parte de control se propone: un transformador seco de 300 VA a 440/220 V, dos breakers de 2x2 A, una fuente de voltaje de 110/220 V a 24 Vcc de 2.5 A, un repartidor de voltaje de dos polos, un PLC Modicon 241, un

switch de comunicación, dos sensores de nivel y catorce borneras gris #12. Para la parte de fuerza de las bombas se propone: un breaker regulable de 56/80 A, un juego de barras de cobre con 300 A de ampacidad, tres breakers EasyPact 3x40 A, tres contactores LC1D32 y tres arrancadores suaves de 32 A.

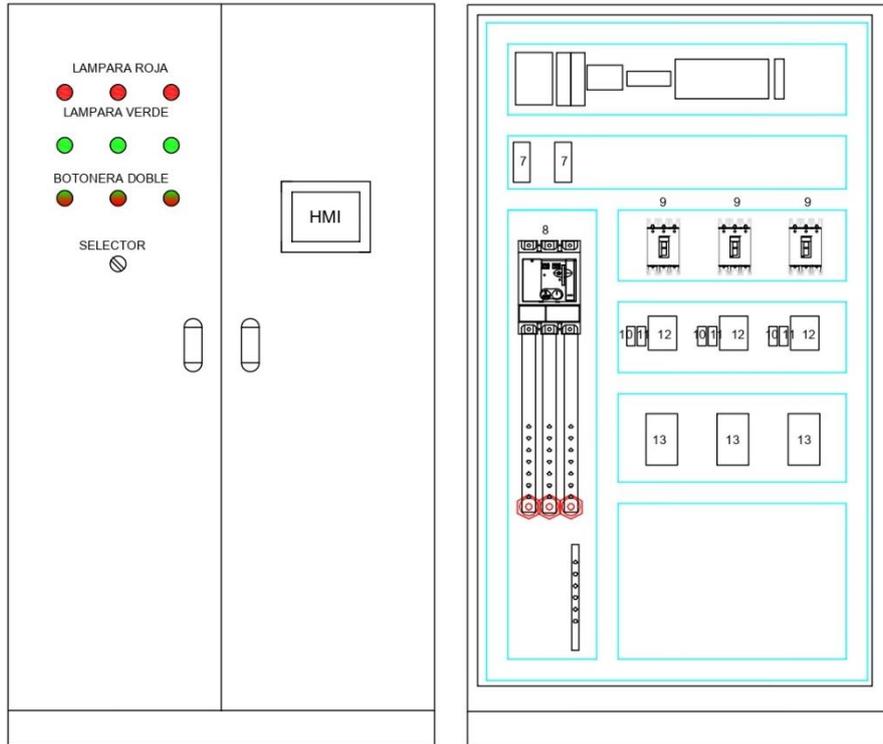


Figura 28. Plano Tablero de control (Autor)

En la figura 29 se muestra el diagrama de conexión de la transferencia automática. Con el objetivo de poder trabajar todos los días sin importar el corte de energía eléctrica proveniente de la empresa eléctrica, la transferencia automática cambiara inmediato y encendido del generador de emergencia. Además, con la ayuda de un programador horario se define un día de la semana para el encendido del generador por quince minutos para cumplir con el mantenimiento y no tener ninguna falla cuando realmente se lo vaya a usar.

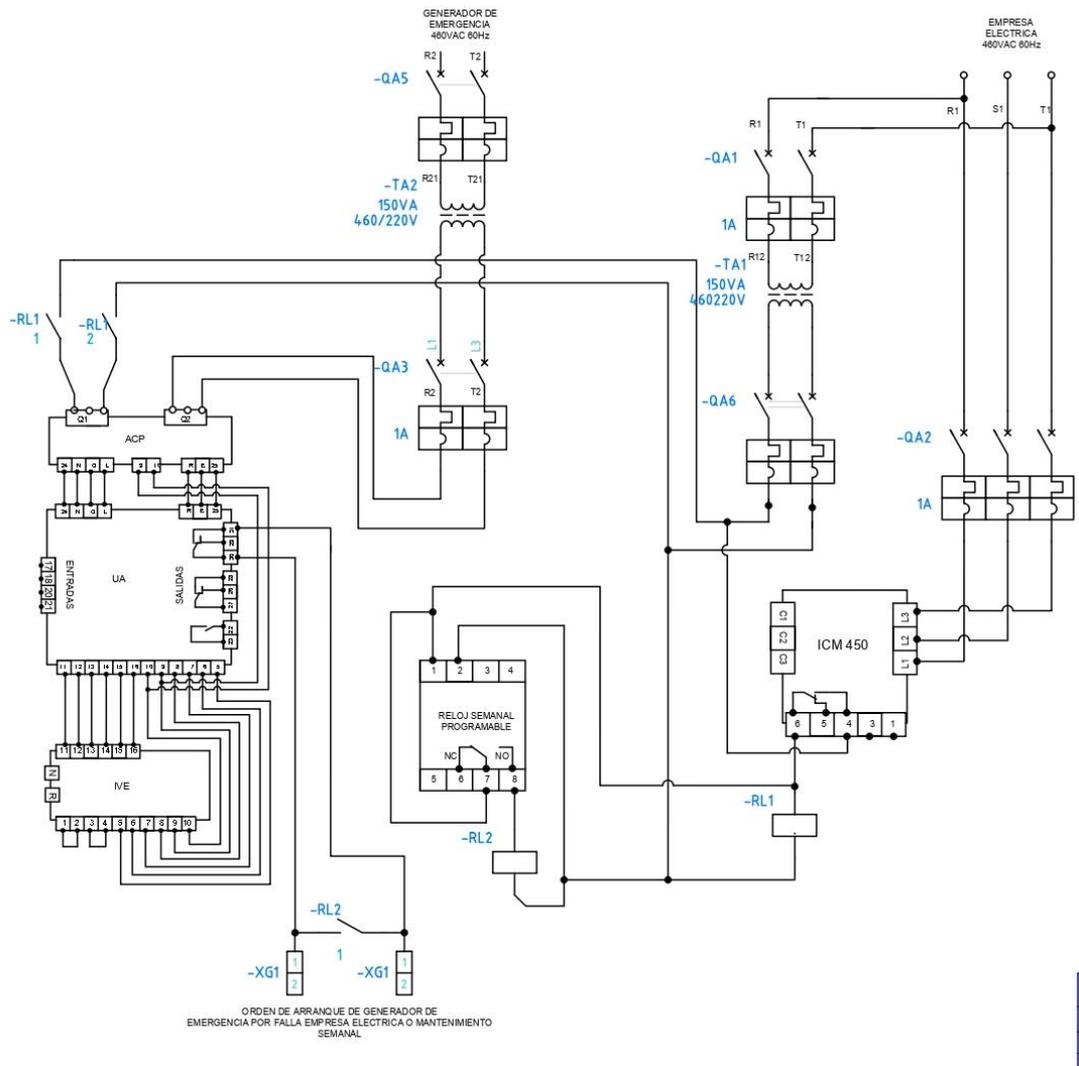


Figura 29. Plano del diagrama de control de transferencia automática (Autor)

En la figura 30 se plantea el diagrama de control de las bombas donde se encuentran las conexiones de las bobinas de 220 V de los supervisores de nivel bajo de cisterna, supervisor de nivel alto de tanque, flujómetro de salida y las tres bobinas de 220 V de los arrancadores suaves.

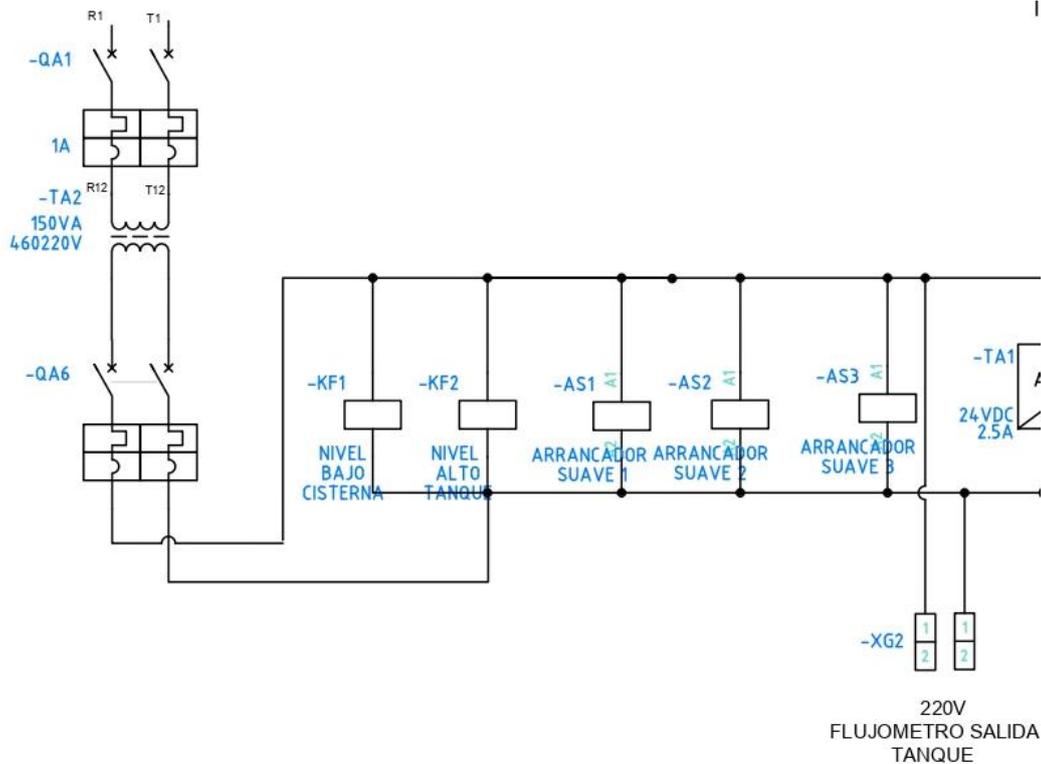


Figura 30. Plano control de bombas 1/2 (Autor)

En la figura 31 muestra la segunda parte de las conexiones del diagrama del control de bombas en la parte superior se encuentra los contactos normalmente abiertos de los relés de interfaz de “KA1(REMOTA)” y “KA2(LOCAL)” lo que permite que con cualquier tipo de arranque pueda cerrar el circuito. El contacto normalmente cerrado “AS1” con los terminales “95-96” permite que ante una falla detectada por el arrancador suave este contacto permita abrir el circuito y apagar la bomba. Por su parte el contacto normalmente abierto “AS1” con los terminales “95-98” al estar conectado en serie con un indicador LED color rojo permite al operador darse cuenta que existe una falla. Por último, se alimentarían las bobinas del contactor “K1” y del arrancador suave “AS1” esto permite que la bomba uno se encienda. Para que el operador conozca que la bomba esta encendida el contacto normalmente abierto de “KA1” con los terminales “13-14” estará en serie con un indicador LED color verde. Para las otras dos bombas se repite el mismo proceso.

En la parte inferior el circuito se presta a trabajar con un voltaje de 24 Vcc. Se muestra la parte “LOCAL” del selector donde conectara con los tres circuitos de enclavamiento con pulsadores marchó y paro.

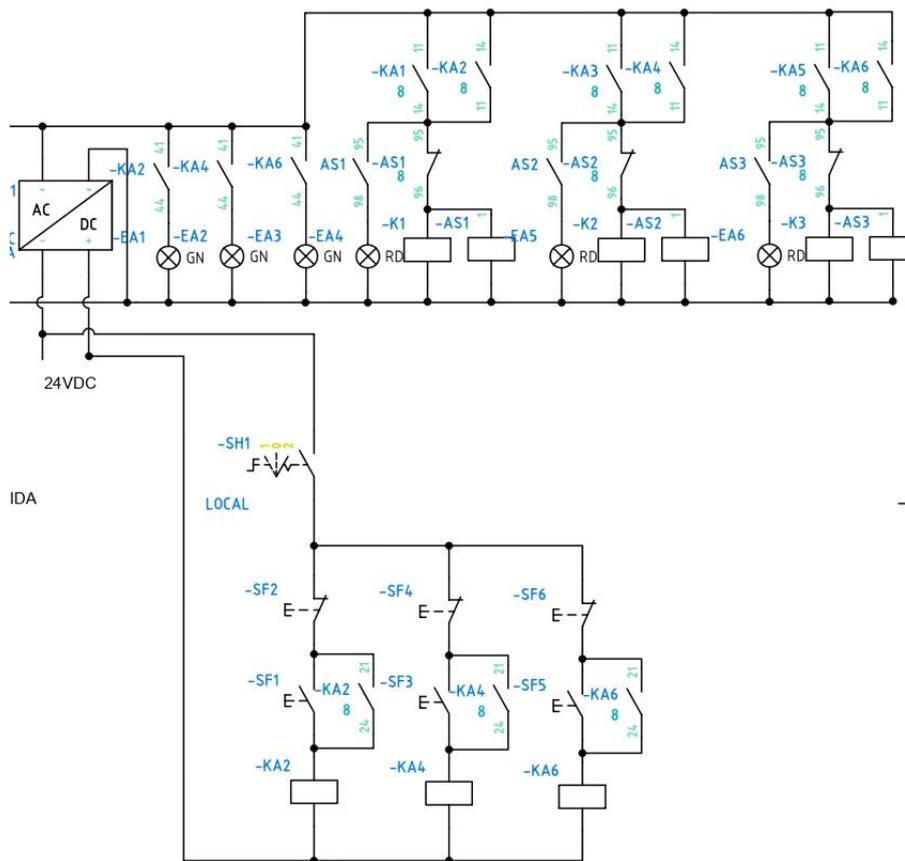


Figura 31. Plano control de bombas 2/2 (Autor)

En la figura 32 se aprecia las entradas y salidas digitales del PLC Modicon 241. El voltaje de las entradas y salidas son de 24 Vdc. En las entradas digitales están la otra parte del selector con la opción “REMOTO”, el contacto normalmente abierto del supervisor de nivel bajo de cisterna, el contacto normalmente abierto del supervisor de nivel alto de tanque y los tres contactos normalmente abiertos de los arrancadores suaves. En las salidas digitales están las bobinas de los tres relés de interfaz que permite el arranque en “REMOTO” de las bombas.

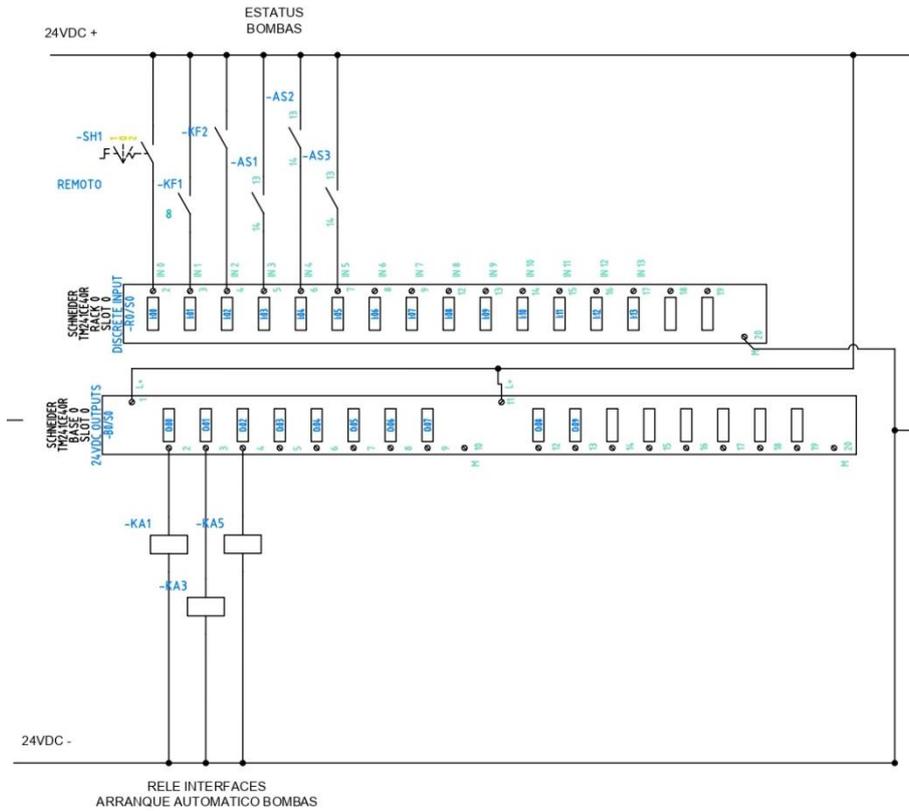


Figura 32. Plano de entradas y salidas digitales del PLC (Autor)

En la figura 33 está el módulo de entradas analógicas donde estará conectado el transmisor de nivel de cisterna, transmisor de nivel tanque y el flujómetro de salida del tanque.

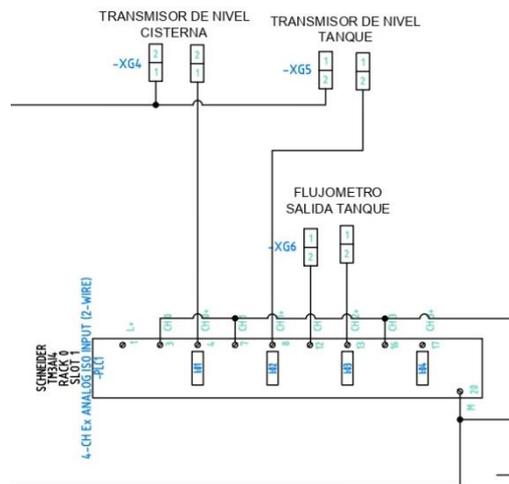


Figura 33. Plano del módulo de entradas analógicas (Autor)

## 4.2. Programación de la propuesta

A continuación, se describe paso a paso la programación del PLC y HMI. Desplegamos la pestaña controladora lógico y en esta nos muestra los tipos de PLC que cuenta la marca Schneider Electric para esta propuesta elegiremos el PLC M241 con el modelo TM241CE40R.

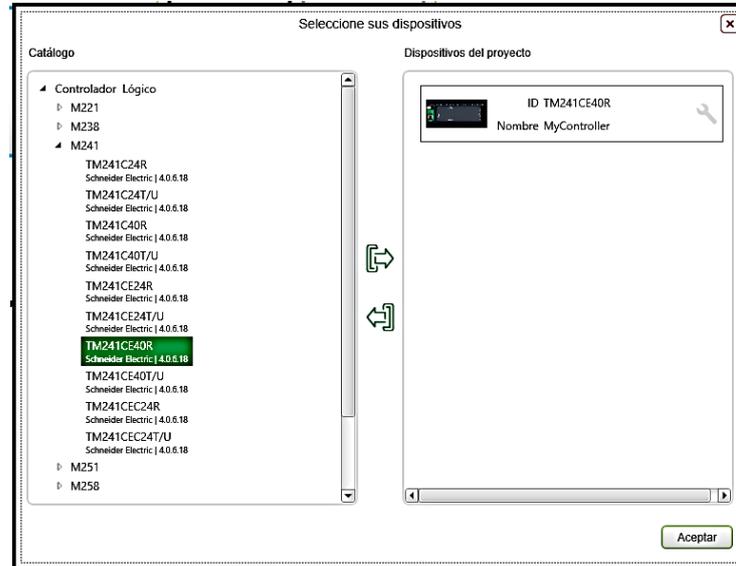


Figura 34. Selección de PLC Modicon (Autor)

Para la elección del HMI nos dirigimos a la pestaña Magelis HMI&iPC, Serie HMIGTO y elegimos el modelo HMIGTO5310/5315.

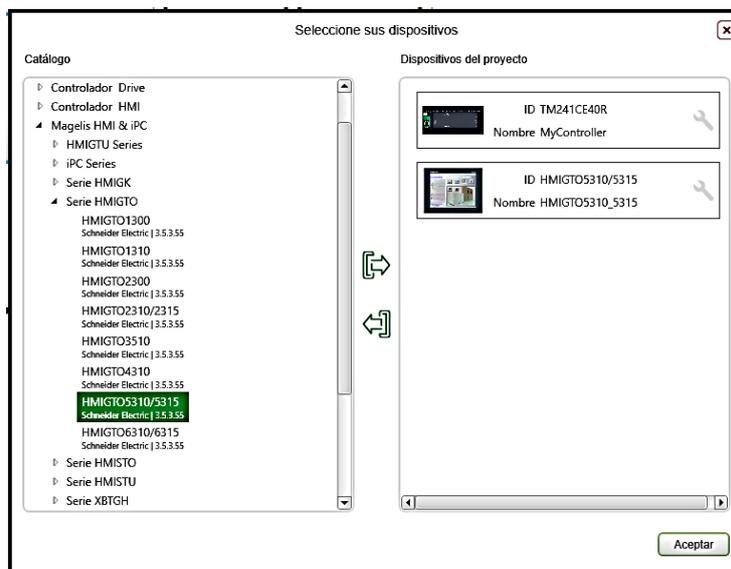


Figura 35. Selección de HMI Magelis (Autor)

En la ventana auxiliar "Dispositivos y módulos" desplegamos el submenú I/O Modules, Analog In, TM3 y TM3AI4/G y lo arrastramos hacia la ventana auxiliar "Dispositivos"

donde en “negrita” nos dirigirá para soltar el módulo analógico o cualquier modulo adicional que se quiera instalar

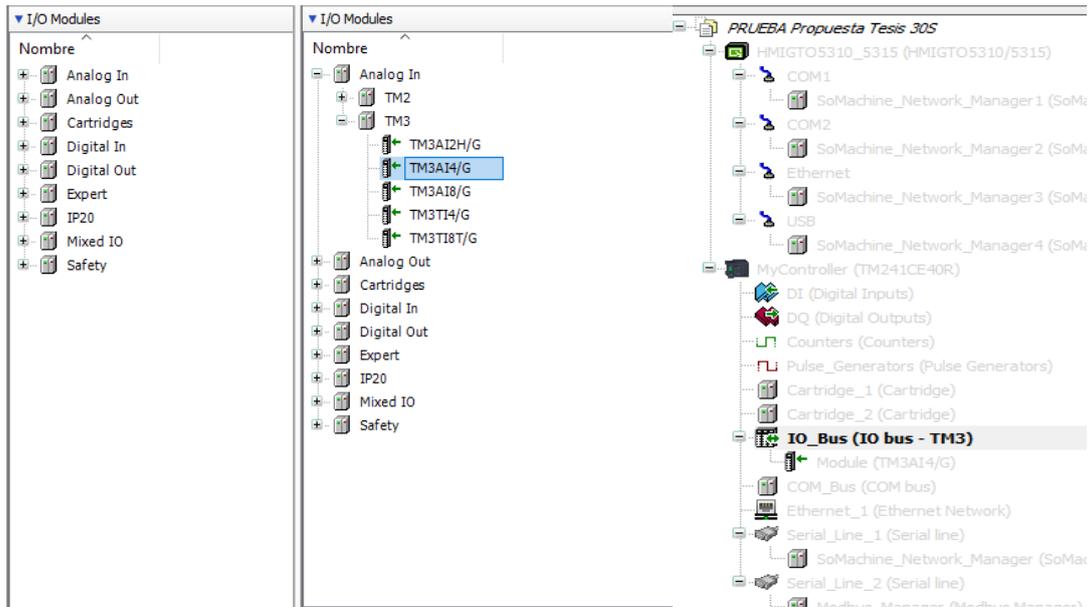


Figura 36. Configuración de modulo Analógico (Autor)

En la ventana auxiliar “Dispositivos” se encuentra los dispositivos que declaramos en los primeros pasos, para el HMI mostrara su modelo y para el PLC se mostrara como “MyController” y el nombre del modelo. Una vez desplegado el submenú del PLC tendremos DI (Digital Inputs) y DQ (Digital Outputs) donde declararemos las entradas y salidas de nuestro programa.

Variable	Asignación	Canal	Dirección	Tipo
<b>Entradas</b>				
idwDI_IDW0		IDW0	%ID0	DWORD
I_REMOTO		I0	%IX0.0	BOOL
I_NIV_BAJ_CI...		I1	%IX0.1	BOOL
I_NIV_ALTO_...		I2	%IX0.2	BOOL
I_B1_STAT		I3	%IX0.3	BOOL
I_B2_STAT		I4	%IX0.4	BOOL
I_B3_STAT		I5	%IX0.5	BOOL
		I6	%IX0.6	BOOL
		I7	%IX0.7	BOOL
		I8	%IX1.0	BOOL

Figura 37. Declaración de DI (Entradas Digitales) (Autor)

Variable	Asignación	Canal	Dirección
Salidas		QW0	%QW0
Q_B1		Q0	%QX0.0
Q_B2		Q1	%QX0.1
Q_B3		Q2	%QX0.2
		Q3	%QX0.3
		Q4	%QX0.4
		Q5	%QX0.5
		Q6	%QX0.6
		Q7	%QX0.7

Figura 38. Declaración de DQ (Salidas Digitales) (Autor)

Para declarar las del módulo analógico nos dirigimos en el submenú IO\_Bus (IO bus-TM3) y Module (TM3AI4/G). Una vez declarada las variables se procede a la habilitación de cada variable en la pestaña “E/S de configuración”, aquí se configuran el tipo de medición, máximos y mínimos depende de cada aplicación. Para nuestra propuesta se elegirá el tipo de 4-20 mA.

Variable	Asignación	Canal	Dirección	Tipo
Entradas				
SENSOR_NIV_CIS...		IW0	%IW3	INT
SENSOR_NIV_TA...		IW1	%IW4	INT
SENSOR_FLUJO		IW2	%IW5	INT
iiModule_IW3		IW3	%IW6	INT
Diagnóstico				

Figura 39. Declaración de entradas en el módulo analógico (Autor)

Parámetro	Tipo	Valor	Valor
Módulo opcional	Enumeration of BYTE	No	
Entradas			
IW0			
Type	Enumeration of BYTE	No se utiliza	
Minimum	INT(-32768...32766)	-32768	
Maximum	INT(-32767...32767)	32767	
InputFilter	INT(0...1000)	0	
Sampling	Enumeration of BYTE	1	
IW1			
Type	Enumeration of BYTE	No se utiliza	
Minimum	INT(-32768...19999)	-32768	
Maximum	INT(4001...32767)	20000	
InputFilter	INT(0...1000)	0	

Parámetro	Tipo	Valor	Valo
Módulo opcional	Enumeration of BYTE	No	
Entradas			
IW0			
Type	Enumeration of BYTE	4 - 20 mA	
Minimum	INT(-32768...19999)	4000	
Maximum	INT(4001...32767)	20000	
InputFilter	INT(0...1000)	0	
Sampling	Enumeration of BYTE	1	
IW1			
Type	Enumeration of BYTE	4 - 20 mA	
Minimum	INT(-32768...19999)	4000	
Maximum	INT(4001...32767)	20000	
InputFilter	INT(0...1000)	0	

Figura 40. Habilitación de entradas analógicas (Autor)

Para proceder con la programación se cambia al submenú “Aplicaciones” donde se encuentra el submenú “Application (MyController: TM241CE40R)” En él se definen todos los programas y bloques de programación.

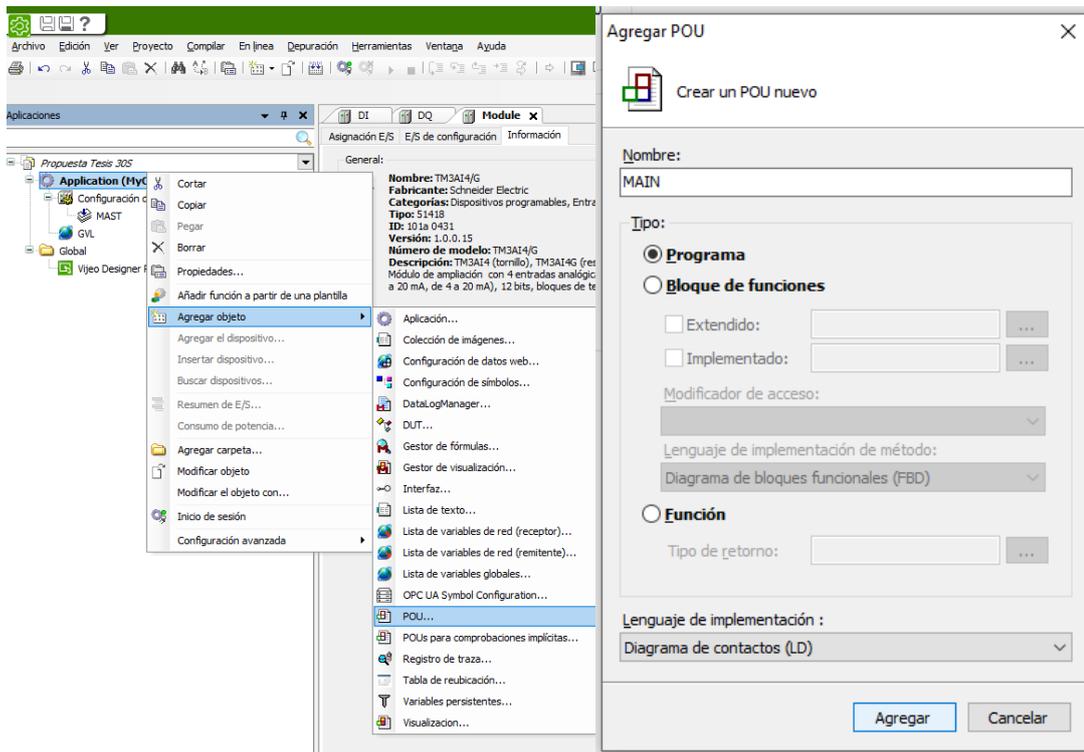


Figura 41. Agregar programas o bloques (Autor)

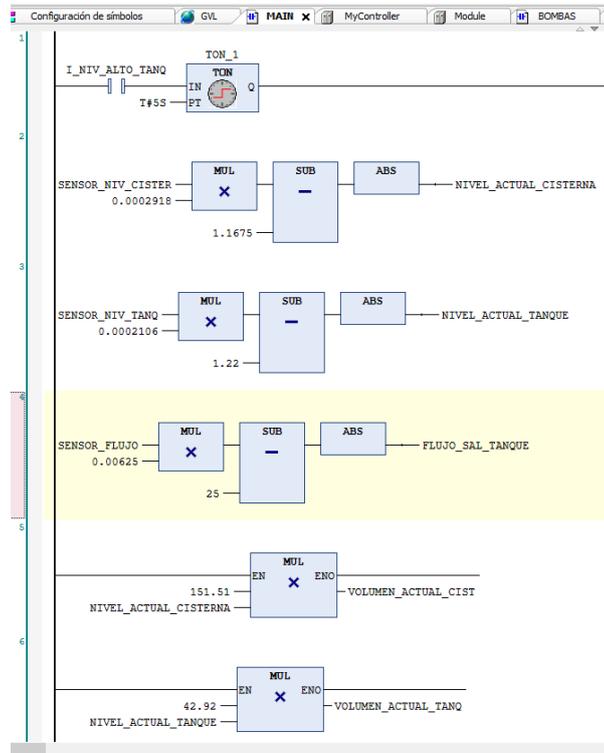


Figura 42. Programación de Leader (Autor)

Una vez creado los programas y bloques de programación se arrastra uno por uno en el submenú “MAST”, así se asegura que queden habilitados.

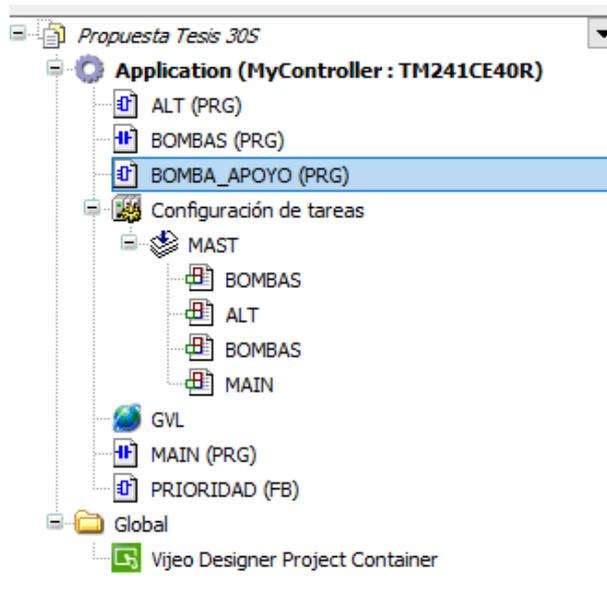


Figura 43. Programas activados en “Mast” (Autor)

En el submenú “GVL” se declaran todas las variables de manera global ya que, en cada programa y bloque de programación se deben declarar o una variable que va a ser llamada en otro programa o un “timer”, éstos se deben declarar en una ventana que se habilita mediante un sistema de flechas donde se llegan a ocultar o mostrar las variables.

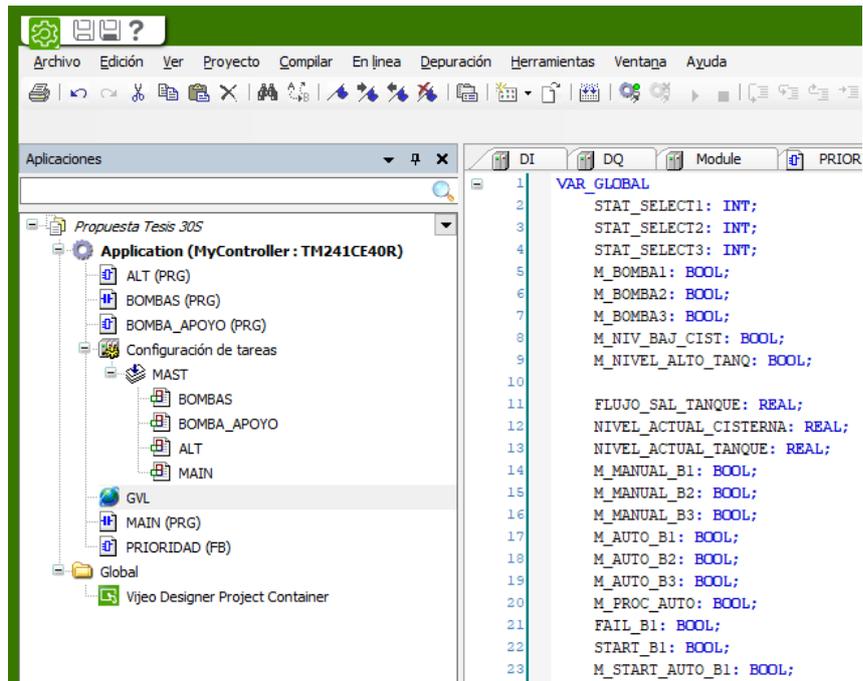


Figura 44. Declaración de variables global (Autor)

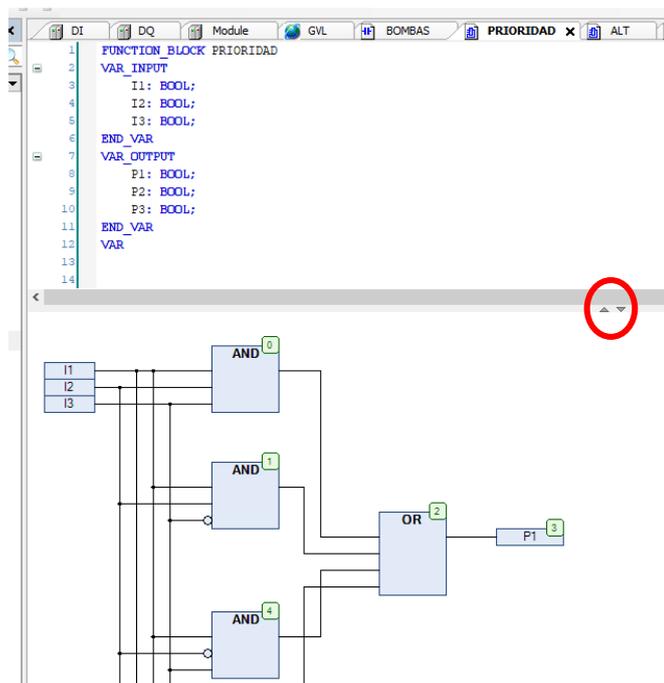


Figura 45. Declaración de variables por programas (Autor)

En el submenú “Herramientas” estará nuestro controlador y haremos clic derecho en el para la activación de “Configuración de símbolos...”. Ya en la ventana se dará clic en “Crear” esta procederá a compilar y se mostraran todas nuestras variables definidas. Se debe seleccionar que variables se van a compartir con el HMI.

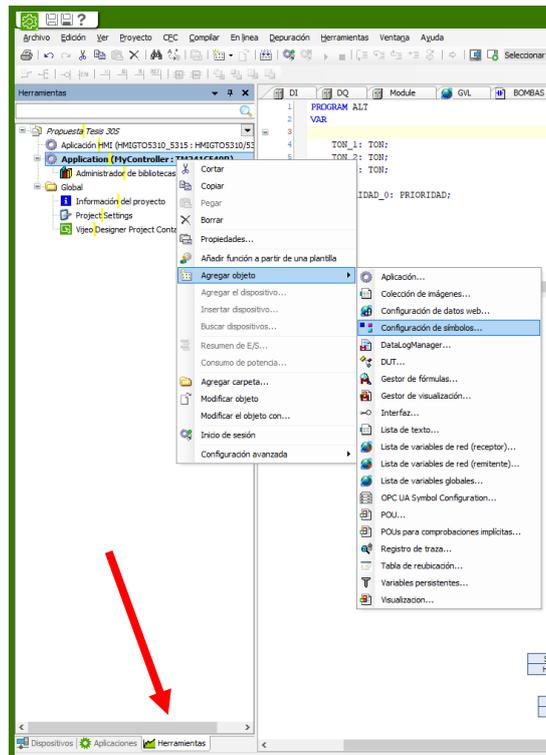


Figura 46. Activación de “Configuración de símbolos ...” (Autor)

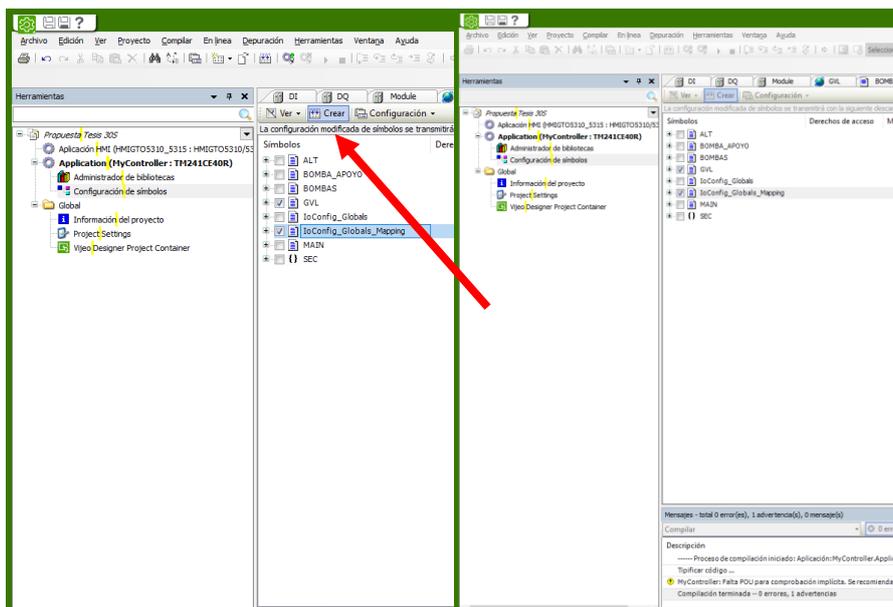


Figura 47. Sincronización y compilación de variables al HMI (Autor)

Al abrir el Vijeo inicialmente se procede a abrir la opción “Variables” que se encuentra en la ventana “Navegador”. Una vez abierta la ventana de las variables se mostrarán las variables anteriormente seleccionadas. Al aceptar se mostrarán todas las variables que podremos usar para la programación del HMI.

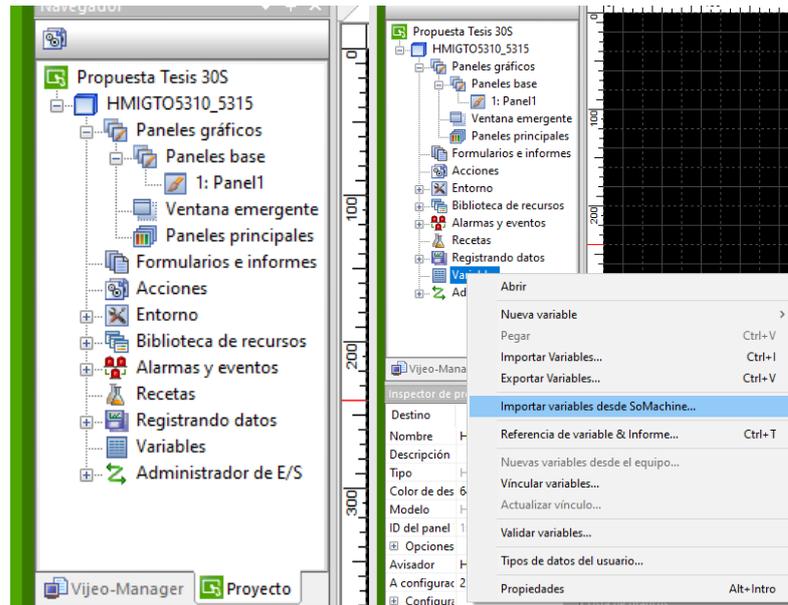


Figura 48. Llamado de variables al HMI (Autor)

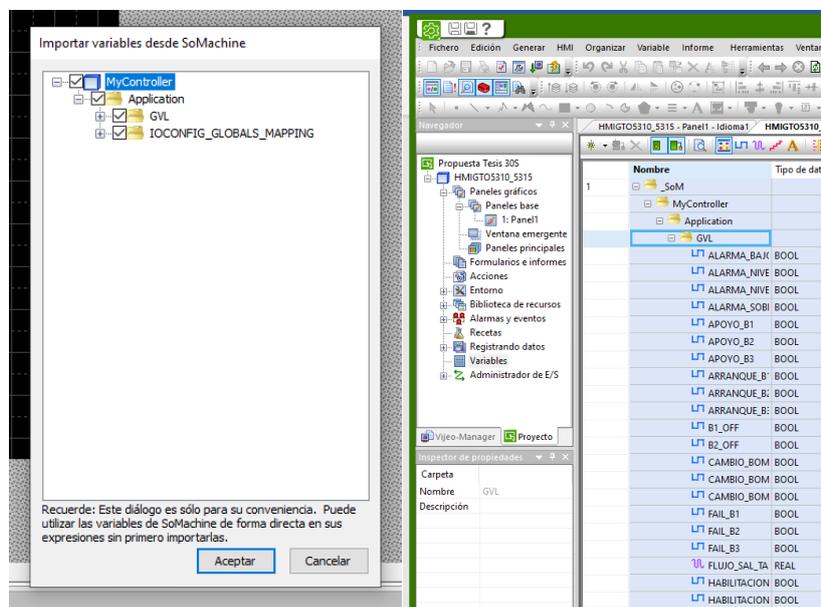


Figura 49. Variables enlazadas en HMI (Autor)

Lo primero a realizar es decidir el color del fondo de la pantalla y posteriormente definir un “Panel principal”, en el cual todo lo que se haga podrá ser replicado en cualquier otro panel evitando la repetición del acto de programar lo mismo.

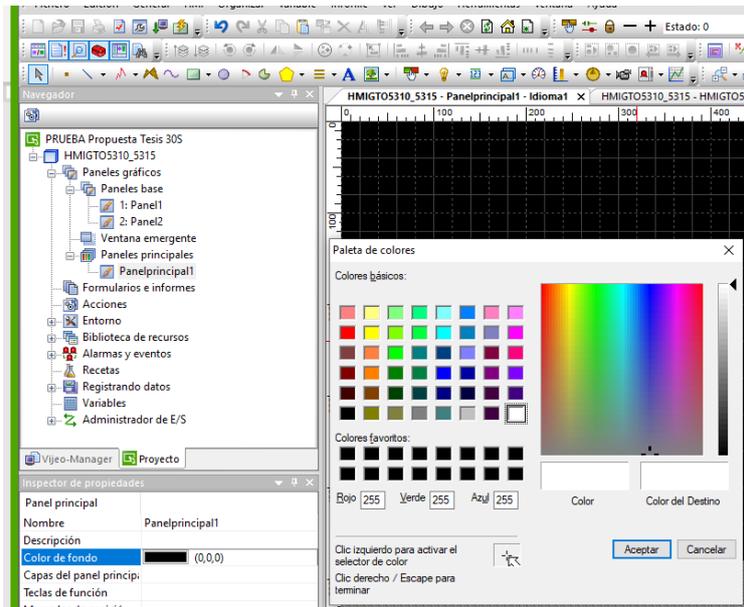


Figura 50. Cambiar color de fondo (Autor)

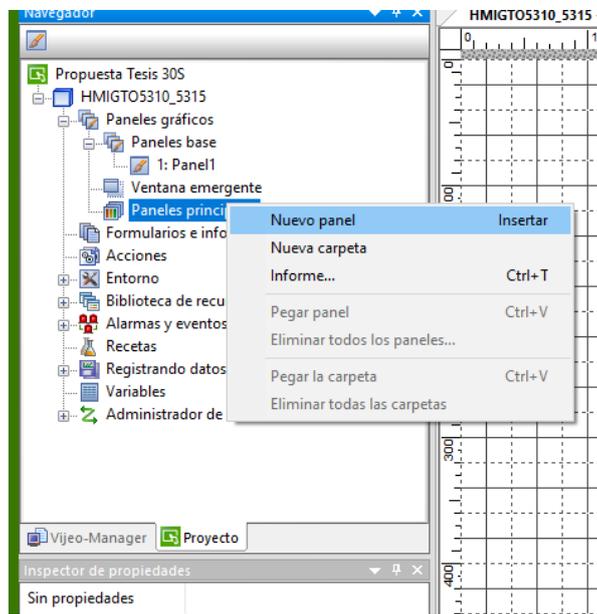


Figura 51. Crear un panel principal (Autor)

Para el panel principal se crean tres botones para abrir diferentes paneles y se realiza con interruptores. Además, se tendrá el nombre del proyecto y junto a éste el logo de la Universidad Politécnica Salesiana.

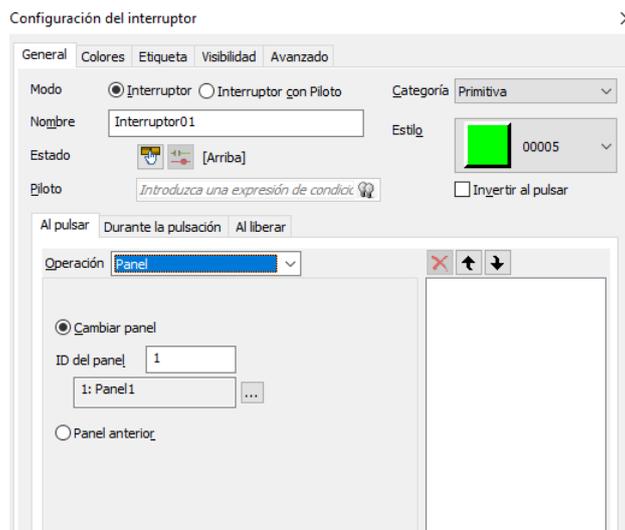
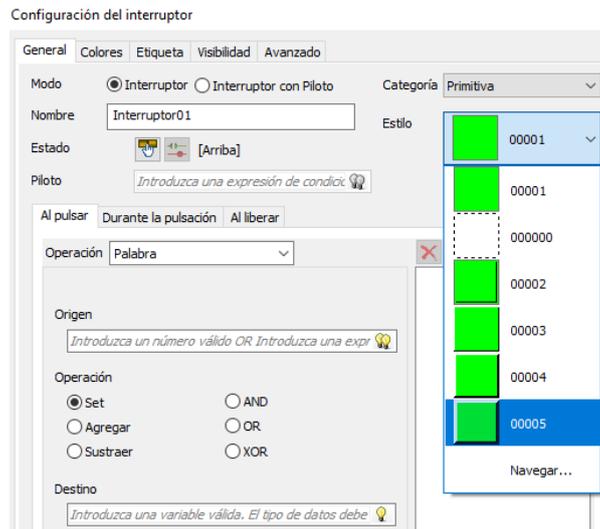


Figura 52. Definimos el modelo y formato de los botones (Autor)

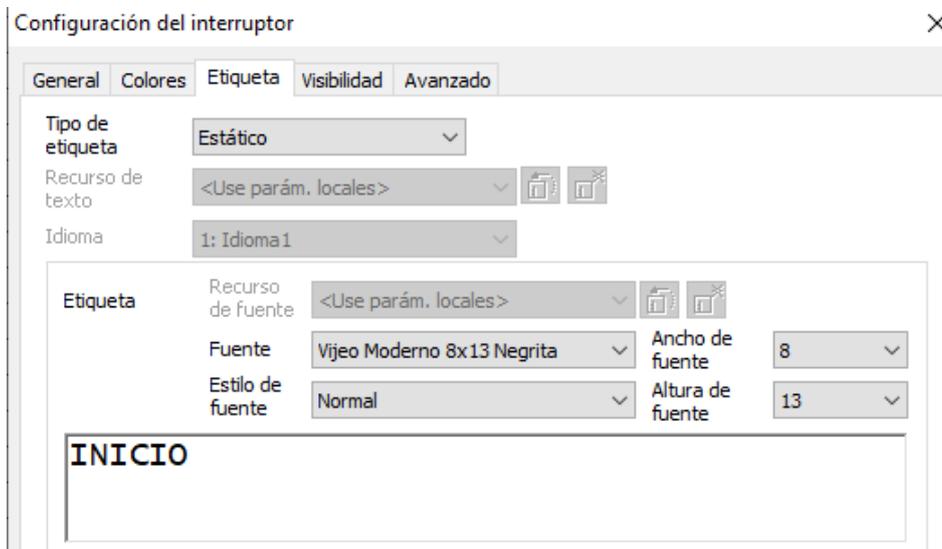


Figura 53. Configuración texto de los botones (Autor)

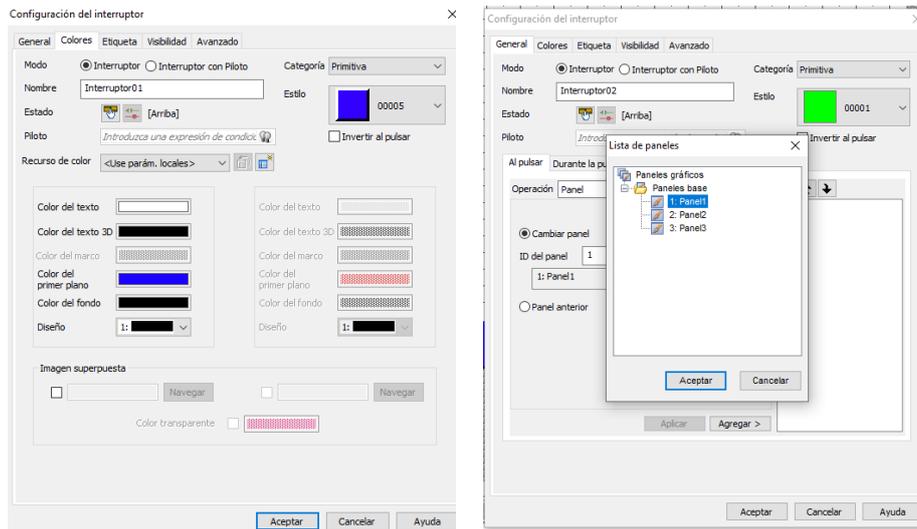


Figura 54. Definimos color de fondo y asignamos a que panel pertenecerá el botón  
(Autor)

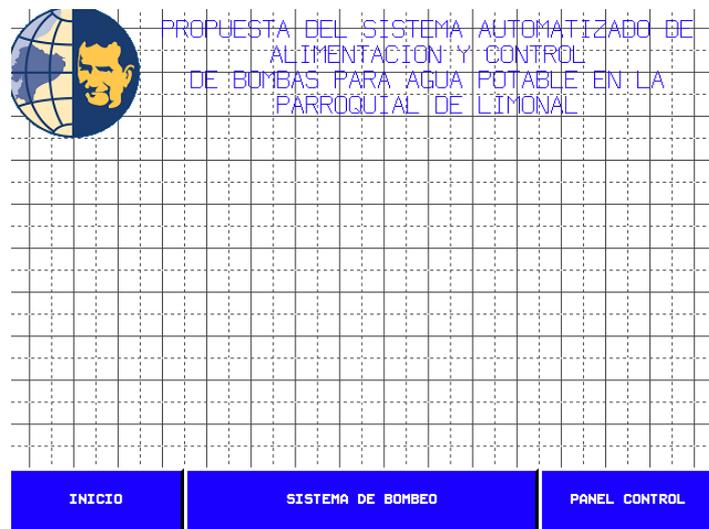


Figura 55. Definido el panel principal (Autor)

Para trabajar en el panel base 1, el primer procedimiento es habilitar el panel principal, ya definido. En este panel se tienen tres luces donde se indica el nivel bajo de agua en la cisterna (amarillo), nivel alto de agua en el tanque (azul) y bombas encendidas (verde)

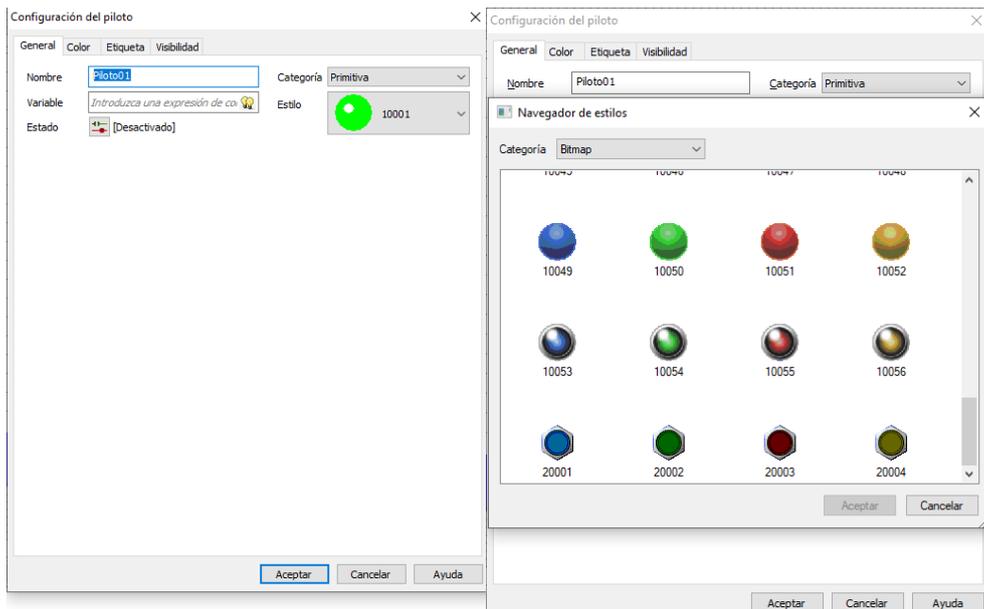


Figura 56. Definimos el modelo, formato y variable en cada luz piloto (Autor)

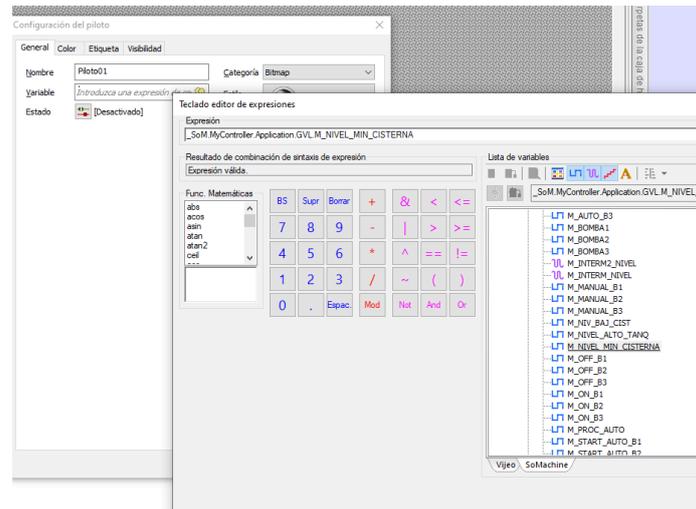


Figura 57. Selección de la variable y agregamos el texto que identifica cada luz piloto

(Autor)

Para el panel 2 se cambia el color del fondo de la pantalla y se activa el panel principal. En este panel se trabajará en la ventana auxiliar “Caja de Herramientas” y en la pestaña “Carpetas de la caja de herramientas” en ella se encuentran varias carpetas de gráficos que serán representativos de la cisterna, tanque, bombas, sensores y tuberías. Además de la representación gráfica se muestran datos en tiempo real con altura, volumen, flujo y estados de operación de las bombas.

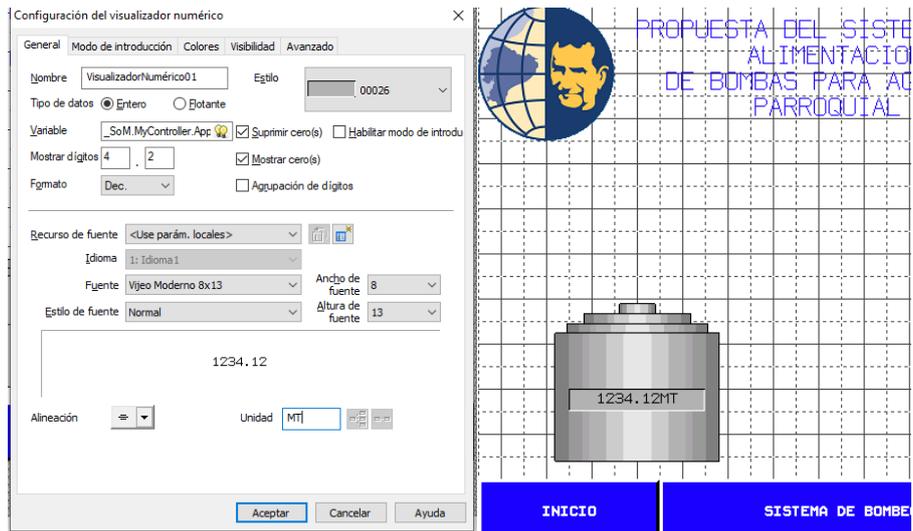


Figura 58. Gráficos que van a hacer representaos en el HMI y definimos las variables y rangos de cada gráfico. (Autor)

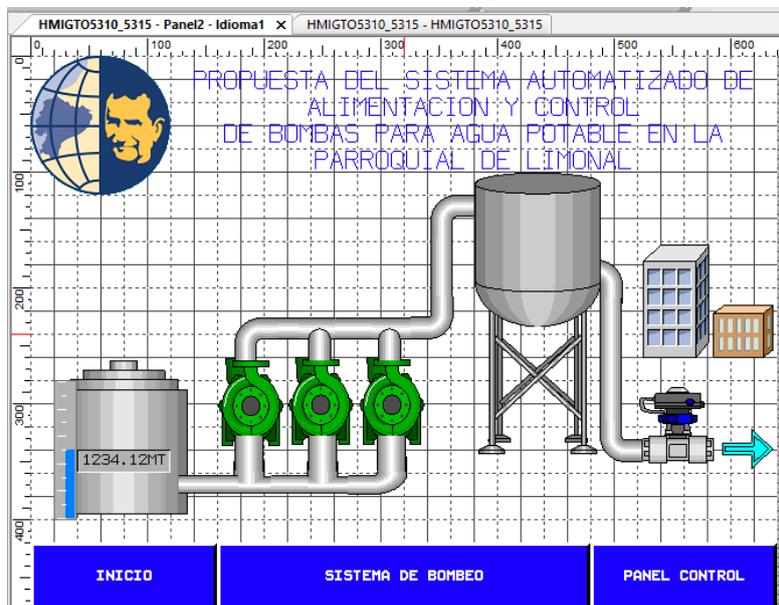


Figura 59. Gráficos de la estación en el HMI (Autor)

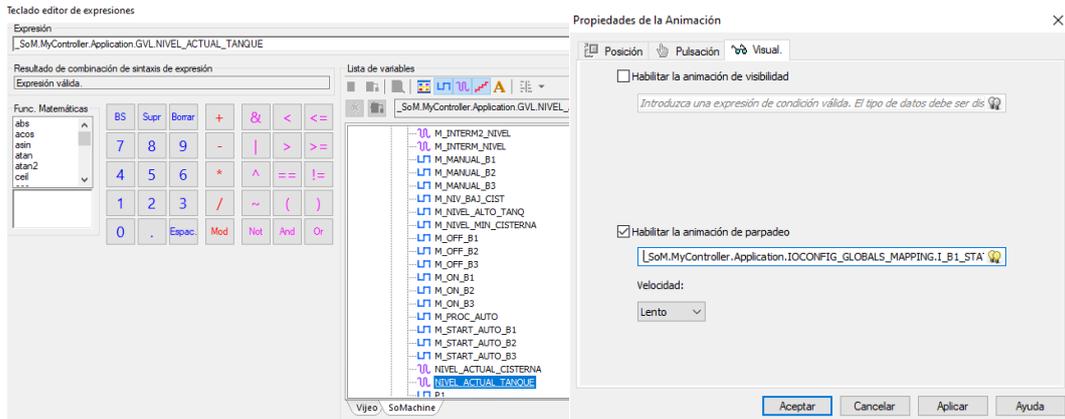


Figura 60. Configuración de luces pilotos, flujo de agua a la salida y volúmenes y niveles de cisterna y tanque. (Autor)

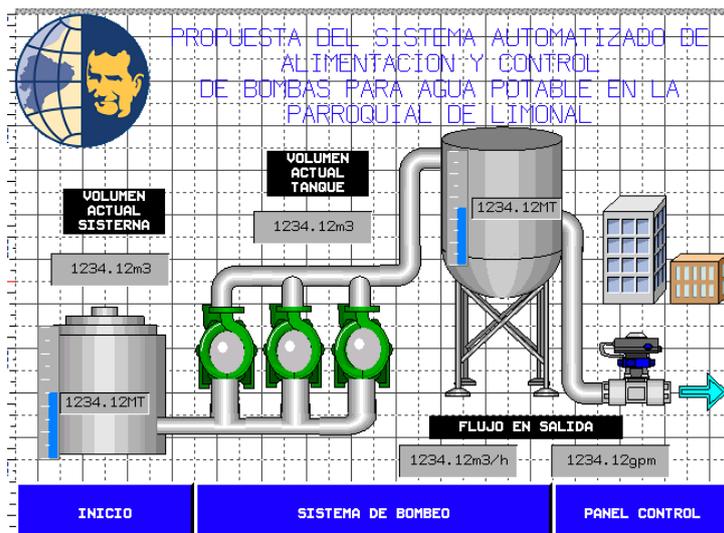


Figura 61. Configuración final del sistema de bombeo (Autor)

Para el panel tres se repiten los primeros pasos del panel uno y del panel dos como son: el cambio de color del fondo y activar el panel principal. Este panel contará con tres selectores de dos posiciones que indicarán el modo de trabajo de las bombas ya sea en “manual” o “auto”. Además, contará con un botón de encendido manual, los cuales serán utilizados durante los mantenimientos.

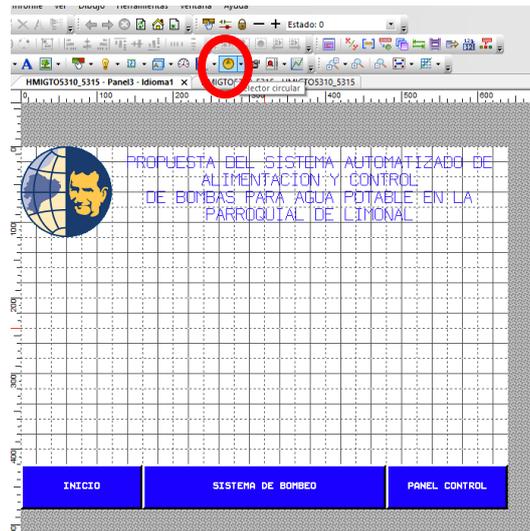


Figura 62. Elegimos “Selector circular” (Autor)

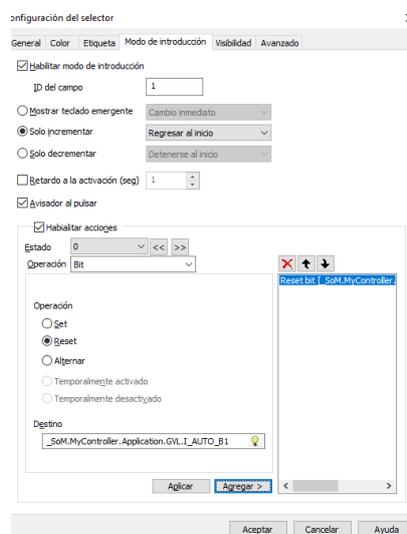
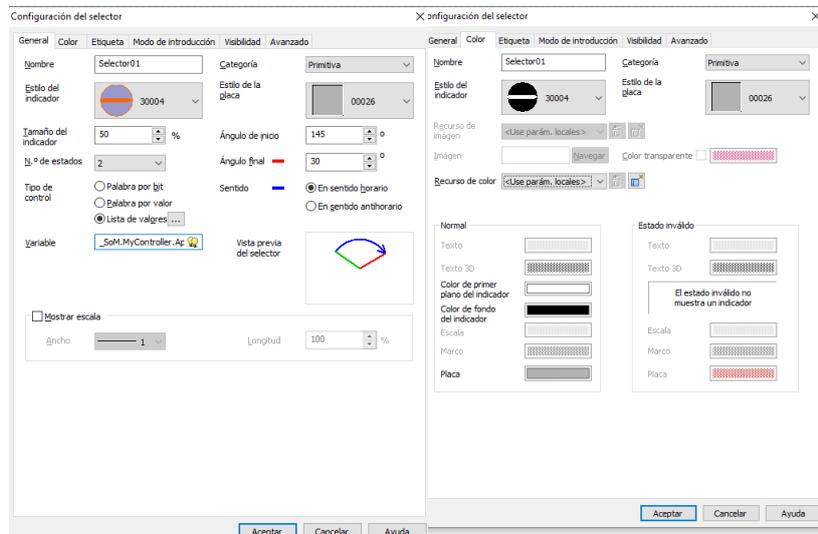


Figura 63. Configuramos del selector forma, ángulo de apertura y habilitación (Autor)

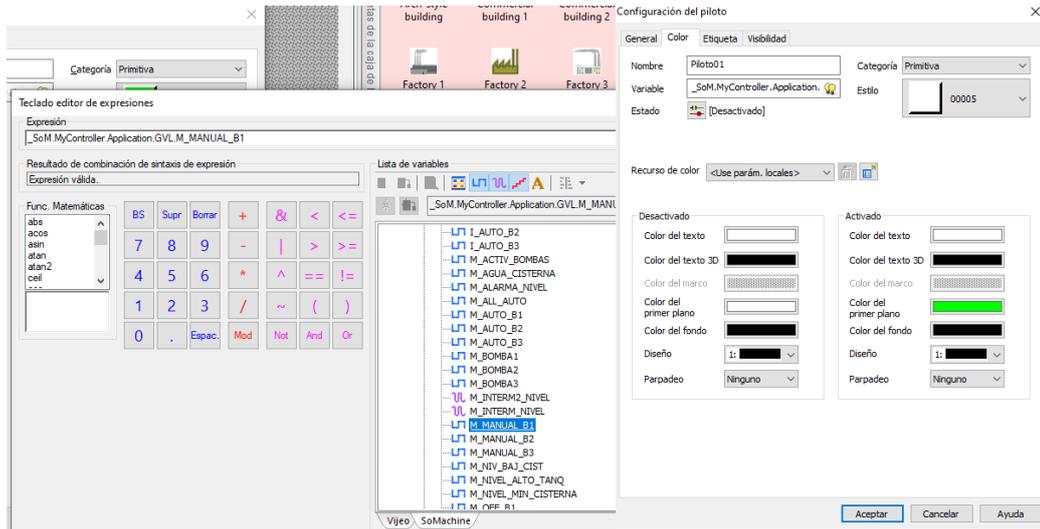


Figura 64. Configuramos como luz piloto la opción de “Manual” y “Auto” (Autor)

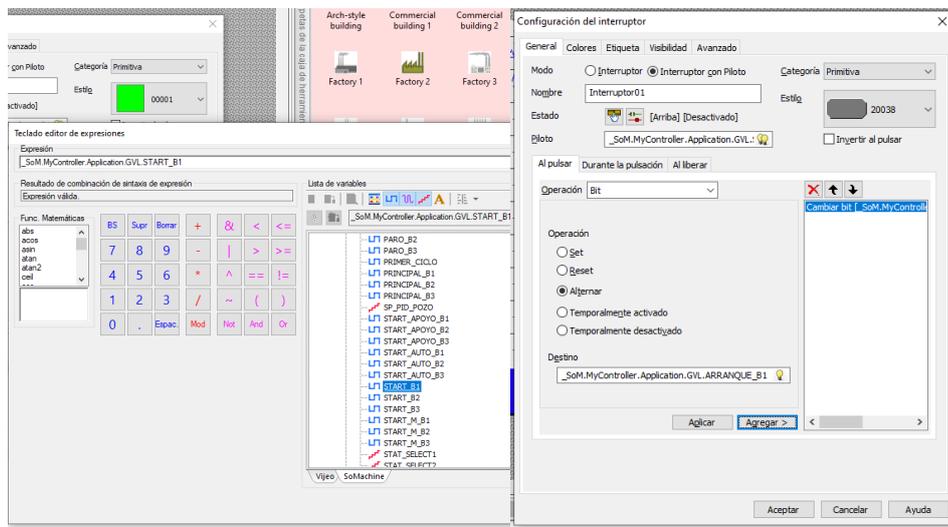


Figura 65. Configuramos el botón de encendido manual para las bombas (Autor)

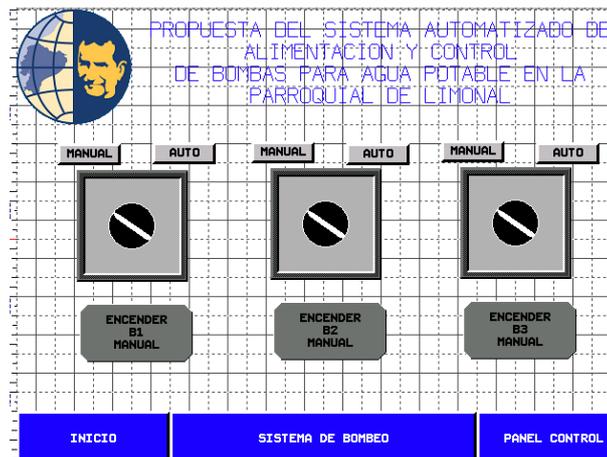
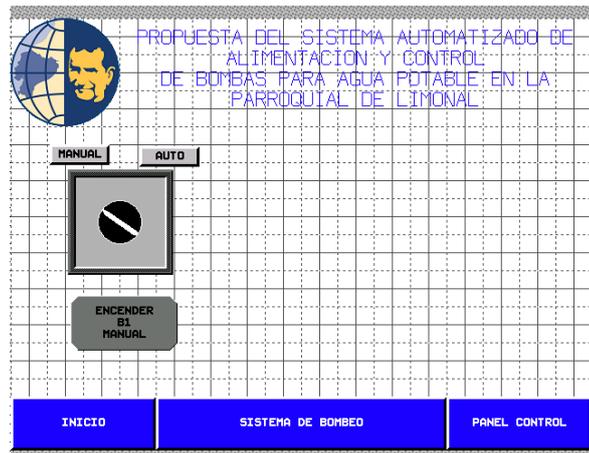


Figura 66. Procedemos a repetir lo realizado en el primer selector con los otros dos selectores (Autor)

Una vez realizado la programación del PLC y del HMI se procede a compilar cada programa y verificar si cuentan con algún error o mensaje de advertencia. Mediante la ayuda de un cable ethernet se descargan ambos programas en cada equipo, previamente hay que asegurar que ambos equipos estén bajo una misma subred para evitar errores a la hora de cargar los programas.

## **5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

Con la propuesta planteada se logró diseñar un sistema de bombeo para la parroquia el Limonal completo con la ayuda del PLC Modicon 241 y del HMI GTO5310. Con las condiciones propuesta se logra un control en la captación de agua potable en la estación y mejora su distribución. El principal beneficiado son los habitantes del Limonal ya que con estas mejoras el servicio de agua potable siempre estará disponible sin importar el horario o el día. No solo era beneficiado a los habitantes sino también al municipio de Daule al ahorrar dinero evitando gastos como alquiler de tanqueros, choferes, reparaciones de vehículos, personal para el control de la distribución de agua potable, gasolina, entre otros.

La propuesta consta de tres bombas de impulsión par el llenado del tanque elevado, estas tres bombas están debidamente protegidas con protecciones de cortocircuito y térmicas mediante el controlador ICM, los breakers, contactares y arrancador suave. Además, su cableado permite que en caso de falla este se abra de forma inmediata así evitando que las bombas se lleguen a dañar.

En la propuesta se plantea el uso de niveles ultra sónicos que estarán limitados a un nivel mínimo y máximo tanto la cisterna como tanque elevado. Los sensores de nivel permiten controlar los niveles de agua potable así se asegura que las bombas no trabajen en seco o que el tanque elevado rebose.

En la programación de la propuesta se plantea el uso de dos bombas en paralelo para el óptimo llenado del tanque debido a las horas picos que presenta la parroquia del Limonal. Además, el programa cuenta con un sistema de alternancia en caso que uno de las bombas llegue a estar dañada o en mantenimiento y así los habitantes del Limonal siempre cuenten con agua potable.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDER. (2019). *ESTUDIO Y DISEÑO DEFINITIVOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE INCLUYE RESERVA BAJA 300 M3 Y ALTA DE 100 M3 PARA LA CABECERA PARROQUIAL DE LIMONAL Y LOS RECINTOS SAN LORENZO, COLORADO, VALDIVIA, EL RECREO, LA ELVIRA Y PIÑAL DE ABAJO*. Daule.
- Allen-Bradley. (2019). *Ethernet. Reference Manual*, 10-17.
- FIAMA. (2022). Obtenido de <https://www.fiama.it/es/sensori-e-controlli-di-livello-capacitivi-e-induttivi/45/sc.html>
- Lasheras Romero, A. (2012). *Cálculo y diseño de un sistema de bombeo para una EDARU*. Universidad Carlos III de Madrid, Leganés.
- LGTSOLAR. (2015). *Dimensionamiento para Bombeo Solar de Agua*. Obtenido de [https://www.lgtsolar.com/bombeo-de-agua-\(d\).html](https://www.lgtsolar.com/bombeo-de-agua-(d).html)
- Mariscal, O. (2010). “*ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZADO CON PLC PARA BOMBAS DE AGUA DE UCSG - TELEMETRÍA*”. UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL, Guayaquil.
- Miranda, G. (2021). “*CONTROL DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA ALTIVAR 320 CON PLC MODICON M241 A TRAVÉS DE COMUNICACIÓN MODBUS RTU PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.*”. UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, GUAYAQUIL.
- Murillo, D. (2018). *DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO YUYUCOCHA DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA*. UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, QUITO.
- Nieto, E. C. (2006). *Manufactura y automatización. Ingeniería e Investigación Vol 26, No 3*, 120-128.
- QuimiNet. (5 de Marzo de 2012). *Características de las bombas centrífugas*. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-de-las-bombas-centrifugas-2701271.htm>

- Rodríguez, F. (2018). Automatización de una planta industrial de alimentación mediante control distribuido. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*, 10-15.
- Schneider Electric. (2021). Catálogo EcoStruxure Machine Expert - Un único entorno de software para automatizar máquinas.
- Siemens. (2020). *Arrancador Suave*. Obtenido de Siemens Mexico: <https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/controles-industriales/arrancadores-suaves-sirius.html>

## **7. ANEXOS**

### **7.1.Planteamiento de practicas**

#### **7.1.1. Practica N.º 1**

PRACTICA #1

Programación básica de PLC M241

#### **OBJETIVOS**

Conocer la interfaz del programa Ecostruxure, donde se realizará la programación

Realizar programación de arranque de un motor en estrella-triángulo

#### **MARCO TEÓRICO**

El PLC es un instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos

#### **ACTIVIDAD PREVIA**

Descargar e instalar programa Ecostruxure de la marca Schneider Electric

#### **PREGUNTAS DE REFLEXIÓN**

¿Qué ventajas podría tener el programa Ecostruxure siendo este un software libre?

¿Qué tan importante es aprender a programar en una nueva interfaz?

#### **DESARROLLO DE VALIDACIÓN**

#### **MATERIALES**

Una computadora portátil con el puerto ethernet funcionando correctamente.

Módulo de PLC y HMI

Patch Cord

#### **ACTIVIDAD**

La práctica se enfocará en las funciones básicas del programa Ecostruxure y su interfaz. Además, se procesadora a realizar una programación básica paso a paso. Mediante el módulo

de PLC y HMI se podrá interactuar con las entradas digitales y sus salidas mediante una luz piloto LED logrando simular acciones como contadores, “timers”, arranque estrella-triángulo, etc.

### **ACTIVIDAD COMPLEMENTARIA**

Leer datasheet del PLC M241

### **CONCLUSIONES**

Detallar paso a paso como lograr la correcta programación de un PLC de la marca Schneider Electric desde declarar una variable hasta establecer comunicación entre el PLC y PC.

### **BIBLIOGRAFÍA**

NEMA: [https://www.nema.org/docs/default-source/standards-document-library/ics-61131-1-2005\(r2013\)-contents-and-scope.pdf?sfvrsn=cf9fc601\\_2](https://www.nema.org/docs/default-source/standards-document-library/ics-61131-1-2005(r2013)-contents-and-scope.pdf?sfvrsn=cf9fc601_2)

### **7.1.2. Practica N.º 2**

#### **PRACTICA #2**

Adquisición de datos mediante maestro/esclavo entre el PLC y VDF

#### **OBJETIVOS**

Lograr comunicación entre el PLC y VDF

Usar bloques de función para uso del VDF

#### **MARCO TEÓRICO**

El protocolo Modbus intercambia información utilizando un mecanismo de solicitud-respuesta entre un maestro (cliente) y un esclavo (servidor). El principio maestro-esclavo es un modelo de protocolo de comunicaciones en, el cual un dispositivo (el maestro) controla uno o más dispositivos (los esclavos). En una red Modbus estándar, hay 1 maestro y hasta 31 esclavos. El principio maestro-esclavo presenta las siguientes características:

Sólo hay conectado un maestro a la red en cada momento.

Sólo el maestro puede iniciar la comunicación y enviar solicitudes a los esclavos.

El maestro puede dirigirse individualmente a cada esclavo utilizando su dirección específica a todos los esclavos simultáneamente utilizando la dirección 0.

Los esclavos sólo pueden enviar respuestas al maestro.

Los esclavos no pueden iniciar la comunicación, ni con el maestro ni con otros esclavos.

#### **ACTIVIDAD PREVIA**

Leer funciones de comunicaciones entre el PLC y VDF

Comprobar correcto funcionamiento de PLC M221

#### **PREGUNTAS DE REFLEXIÓN**

¿Cuáles son las ventajas de utilizar comunicación maestro esclavo?

¿En qué aplicaciones se podría utilizar el diseño de maestro-esclavo?

#### **DESARROLLO DE VALIDACIÓN**

#### **MATERIALES**

Una computadora portátil con el puerto ethernet funcionando correctamente.

Módulo de PLC y VDF

Patch Cord

### **ACTIVIDAD**

Esta practicara constara con establecer comunicación maestra–esclavo entre dos equipos diferentes de PLC de la marca Schneider Electric. El VDF y PLC al ser de la misma marca existen protocolos de comunicación que permiten mediante funciones adquirir y enviar datos

### **ACTIVIDAD COMPLEMENTARIA**

Leer los diferentes protocolos de comunicación industrial

### **CONCLUSIONES**

Validar las direcciones de las marcas de escritura y lectura con el principio maestro-esclavo de Modbus que utilizan los equipos de Schneider Electric.

### **BIBLIOGRAFÍA**

Schneider Electric: [https://product-help.schneider-electric.com/ED/ES\\_Power/MTZ\\_Modbus\\_Guide/EDMS/DOCA0105ES/DOCA0105xx/Master\\_NTX\\_NWX\\_Modbus\\_Protocol/Master\\_NTX\\_NWX\\_Modbus\\_Protocol-2.htm](https://product-help.schneider-electric.com/ED/ES_Power/MTZ_Modbus_Guide/EDMS/DOCA0105ES/DOCA0105xx/Master_NTX_NWX_Modbus_Protocol/Master_NTX_NWX_Modbus_Protocol-2.htm)

### **7.1.3. Practica N.º 3**

#### **PRACTICA #3**

Programación de HMI

#### **OBJETIVOS**

Conocer la interfaz del programa Vijeo, encargada de la programación del HMI

Realizar la programación de interfaz en el HMI

#### **MARCO TEÓRICO**

Los interfaces Hombre-Máquina proporcionan un interfaz de control y visualización entre un ser humano y una máquina, aplicación o proceso a nivel industrial. Existe una amplia gama de posibilidades y alcances para las HMI's, con aplicaciones que brindan eficiencia tanto al operador como al proceso

#### **ACTIVIDAD PREVIA**

Descargar e instalar programa Vijeo de la marca Schneider Electric

#### **PREGUNTAS DE REFLEXIÓN**

¿Qué ventajas considera usted trabajar con un HMI?

¿Cuáles son las principales características de un HMI para facilitar la interacción de un operador?

#### **DESARROLLO DE VALIDACIÓN**

#### **MATERIALES**

Una computadora portátil con el puerto ethernet funcionando correctamente.

Módulo de PLC y HMI

Patch Cord

#### **ACTIVIDAD**

La práctica estará enfocada en conocer la interfaz del programa Vijeo encargado de la programación de los HMI de la marca Schneider Electric. Además, se propondrá la programación de una interfaz, la cual estará complementada con el PLC M241 y la comunicación entre estos equipos y la computadora portátil.

#### **ACTIVIDAD COMPLEMENTARIA**

Leer datasheet del HMI del nuevo modulo

## **CONCLUSIONES**

Lograr generar una interfaz en el HMI de la marca Schneider Electric. Comprender como validar marcas, entradas y salidas con el HMI para su correcto funcionamiento.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ADICOM: <http://www.adicom.com.mx/automatizacion-desarrollo-de-interfaces-hombre-maquina.php>

## 7.2. Resolución de practicas

### 7.2.1. Practica N.º 1

Para iniciar la práctica se debe crear un nuevo proyecto vacío.

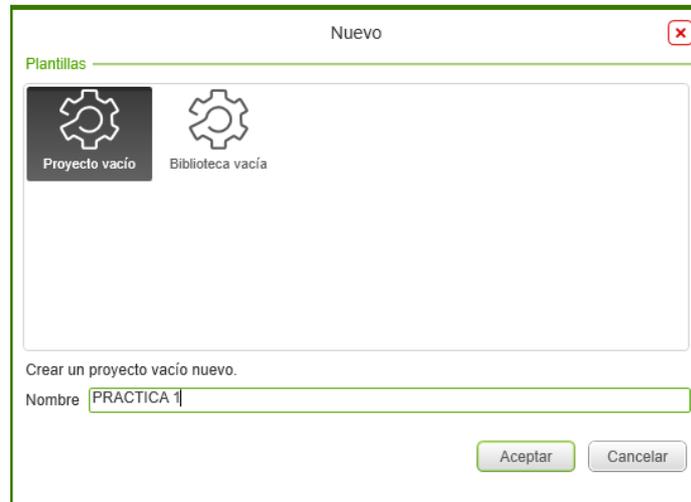


Figura Anexo 1. 1 Crear proyecto nuevo (Autor)

Una vez creado proyecto se procede a elegir el modelo del PLC y del HMI.

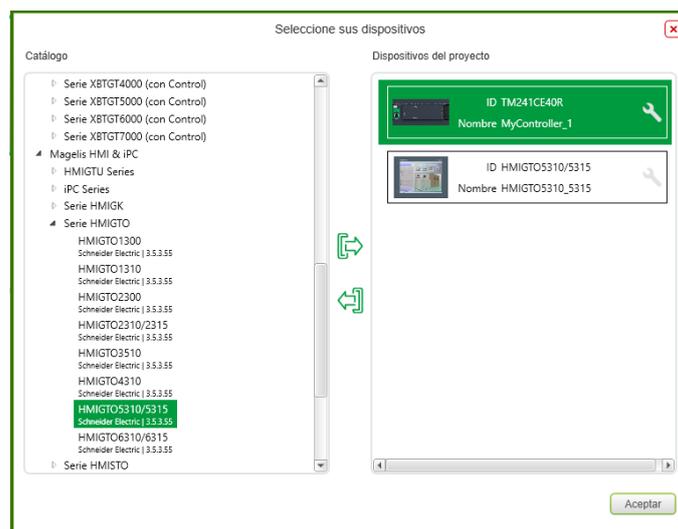


Figura Anexo 1. 2 Elección de modelos de PLC y HMI (Autor)

En la ventana “Dispositivos” se encuentra “DI (Digital Inputs)” en esta se declaran todas las entradas para el programa estrella-triángulo

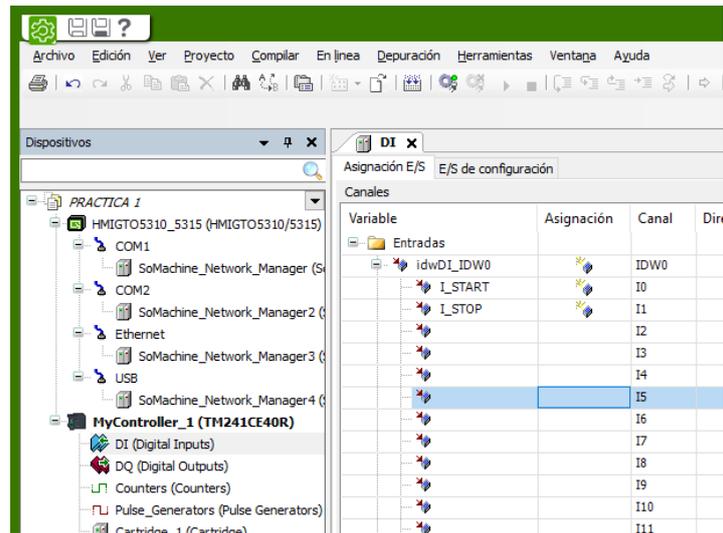


Figura Anexo 1. 3 Declaración de DI (Autor)

Para poder declarar las variables de las salidas digitales “DQ (Digital Output)” se debe borrar el nombre del módulo de salidas que se encuentra por defecto. Una vez se realiza ese paso se procede a declarar las variables del proyecto.

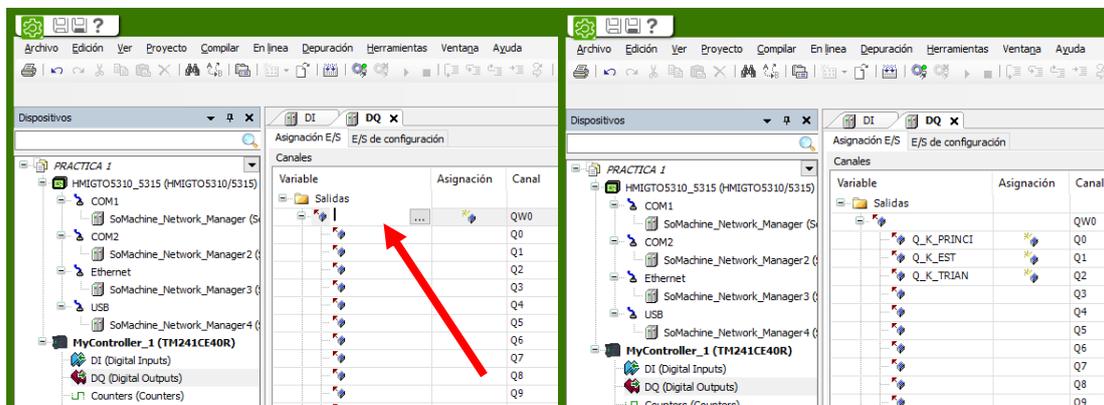


Figura Anexo 1. 4 Declaración de DQ (Autor)

Ya con las variables declaradas se debe crear un “POU”, el cual será el principal del programa y esta será en lenguaje “Leader (LD)”

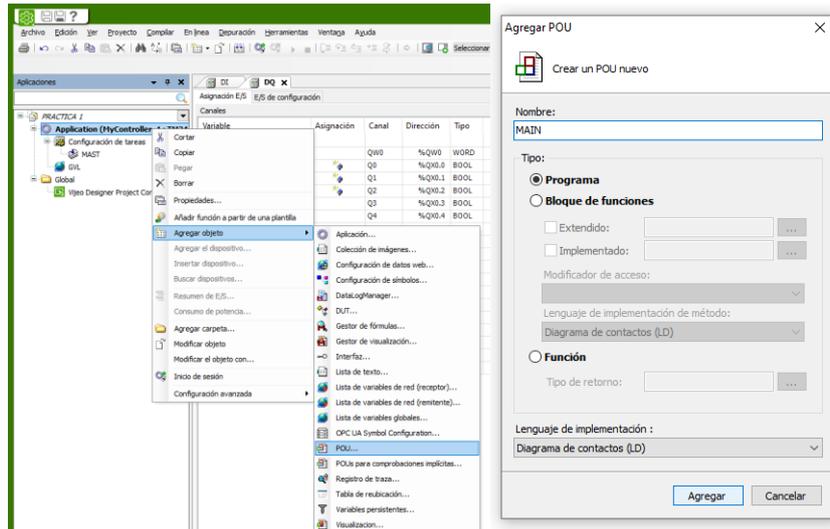


Figura Anexo 1. 5 Creación de POU (Autor)

En esta parte se realiza la programación para el arranque estrella-triángulo

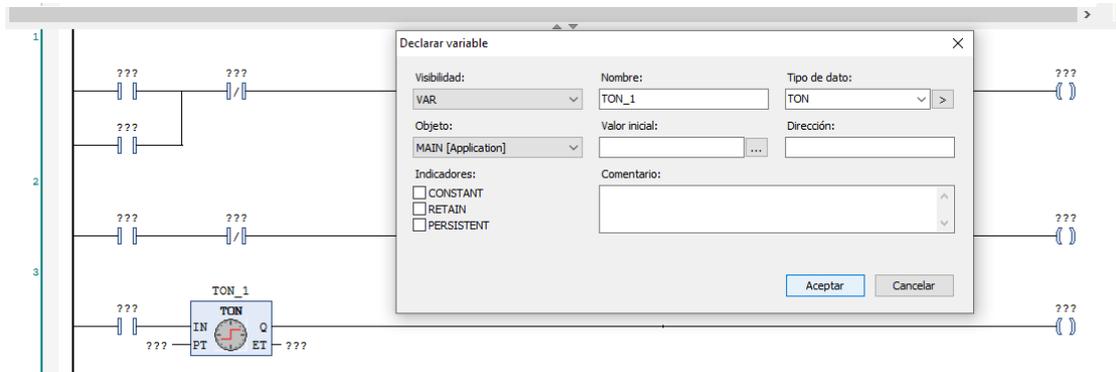


Figura Anexo 1. 6 Declaración de TON (Autor)

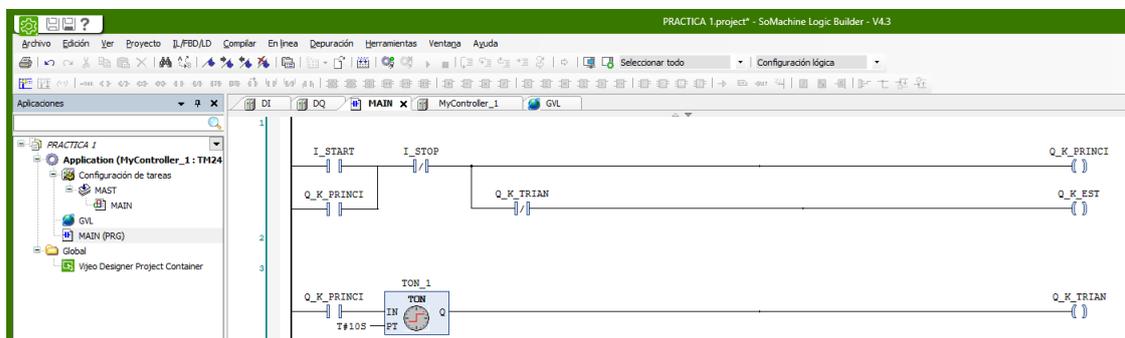


Figura Anexo 1. 7 Programa finalizado (Autor)

Una vez terminada la programación y para comprobar el correcto funcionamiento de nuestro programa se procede a ejecutar una “Simulación”

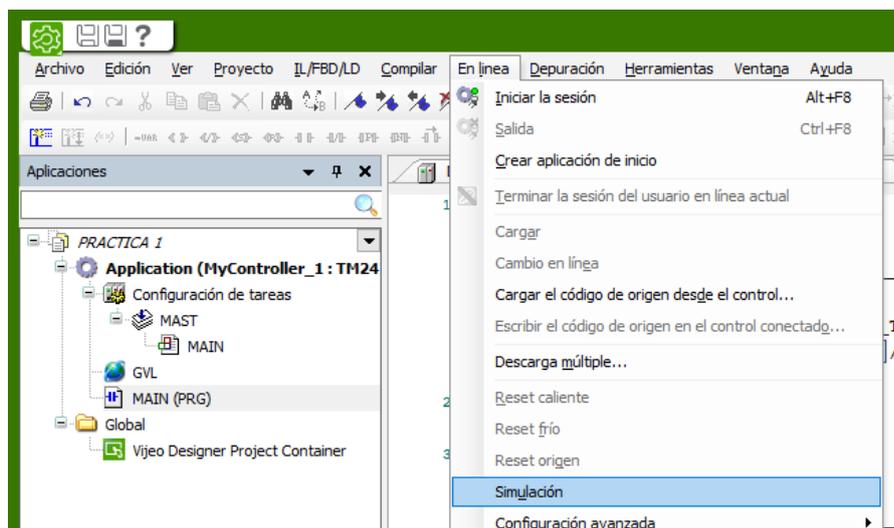


Figura Anexo 1. 8 Ejecución de simulación (Autor)

En la herramienta “En línea” tendrá la opción de “Inicio de Sesión” una vez ejecutada está preguntará si se quiere iniciar sesión como “Administrador”

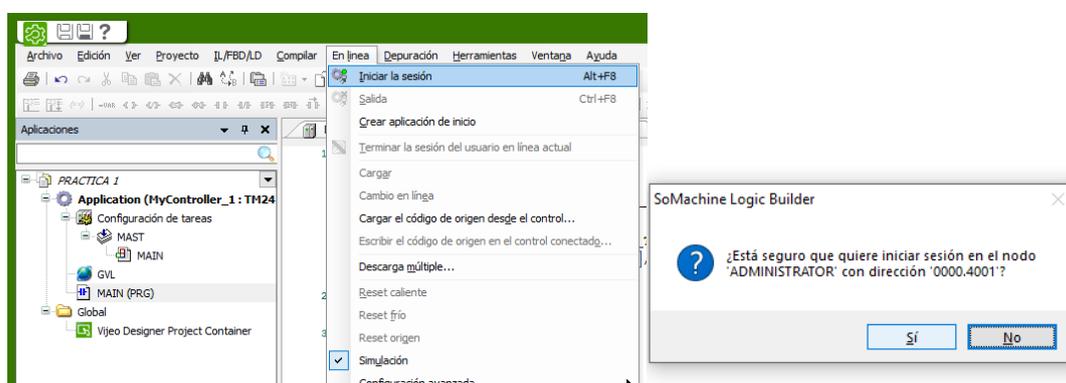


Figura Anexo 1. 9 Ejecución de Inicio de Sesión (Autor)

Para poder dar arranque a nuestro PLC se debe dar clic derecho en “Application (MyController: TM241CE40R)” y ejecutar “Inicio”

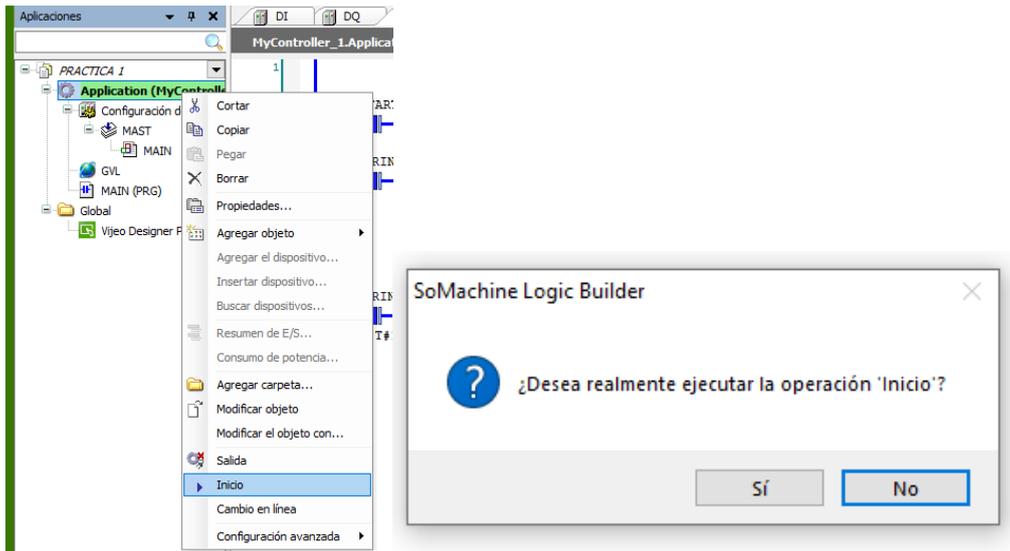


Figura Anexo 1. 10 Ejecución de Inicio (Autor)

Ya con el programa simulando y ejecutado se procederá a enlistar las variables que se quiera forzar el cambio de estado

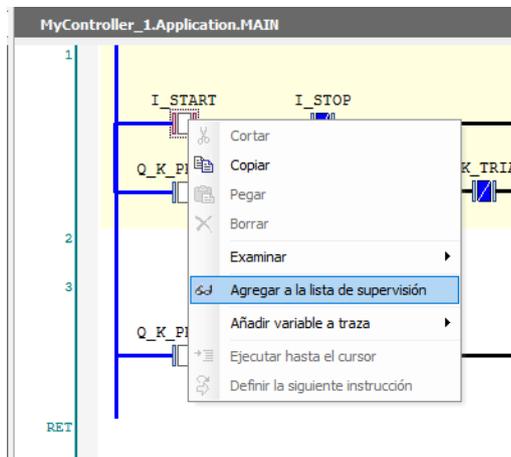


Figura Anexo 1. 11 Enlistando variables para supervisión (Autor)

Expresión	Tipo de datos	Valor
MyController_1.Application.I_START	BOOL	TRUE
MyController_1.Application.I_STOP	BOOL	FALSE
MyController_1.Application.Q_K_PRINCI	BOOL	TRUE
MyController_1.Application.Q_K_EST	BOOL	TRUE

Figura Anexo 1. 12 Estado de variables del programa simulado (Autor)

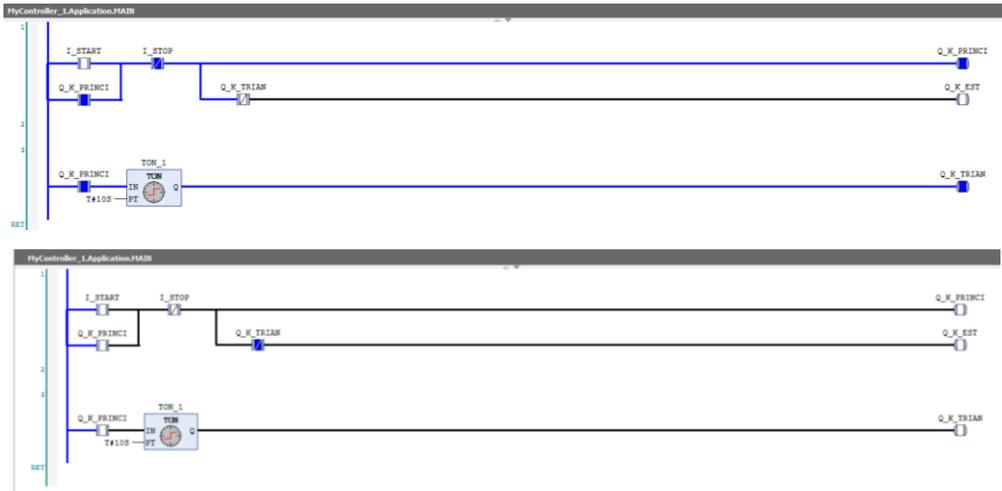


Figura Anexo 1. 13 Comprobación del programa (Autor)

## 7.2.2. Practica N.º 2

Para iniciar la práctica se debe crear un nuevo proyecto vacío.

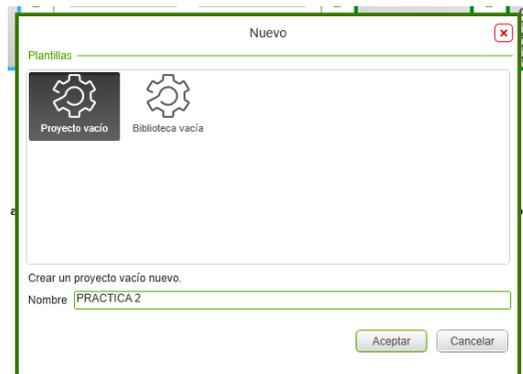


Figura Anexo 2. 1 Crear proyecto 2 (Autor)

Se procede a elegir los modelos de los equipos del PLC y HMI.



Figura Anexo 2. 2 Elección de modelos de PLC y HMI (Autor)

Se declara las variables de entrada DI y salida DQ

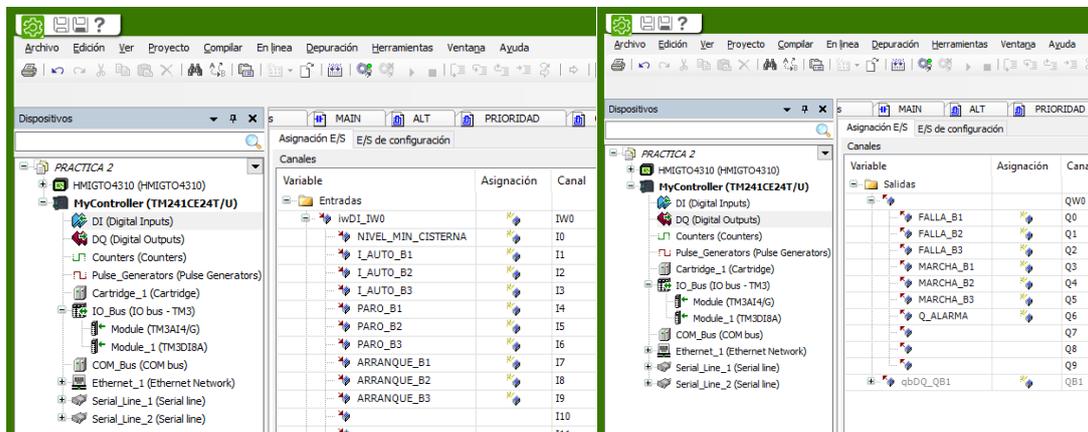


Figura Anexo 2. 3 Declaración de variables de entrada y salida. (Autor)

Para esta práctica se tomará en cuenta un módulo adicional de 8 entradas digitales.

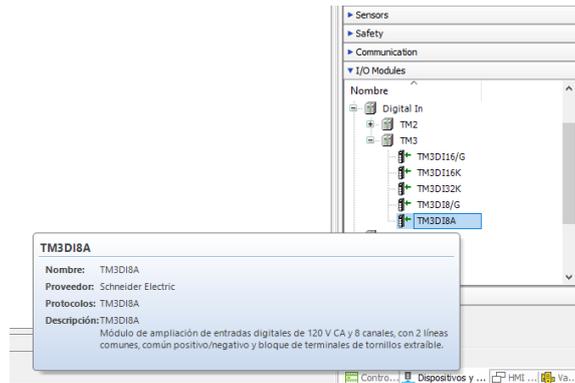


Figura Anexo 2. 4 Módulo adicional de entradas digitales (Autor)

Una vez elegido el módulo se procede a arrastrar el módulo (TM3DI8A) hacia IO\_Bus (IO Bus – TM3) y lo soltamos. Una vez ya activado se declaran las variables adicionales. El mismo procedimiento para el módulo analógico (TM3AI4/G).

Variable	Asignación	Canal	Dirección	Tipo	Va
ibModule_1_IB0		IB0	%IB16	BYTE	
RESET_B1		I0	%IX16.0	BOOL	
RESET_B2		I1	%IX16.1	BOOL	
RESET_B3		I2	%IX16.2	BOOL	
		I3	%IX16.3	BOOL	
		I4	%IX16.4	BOOL	
		I5	%IX16.5	BOOL	
		I6	%IX16.6	BOOL	
		I7	%IX16.7	BOOL	

Figura Anexo 2. 5 Declaración de variables adicionales (Autor)

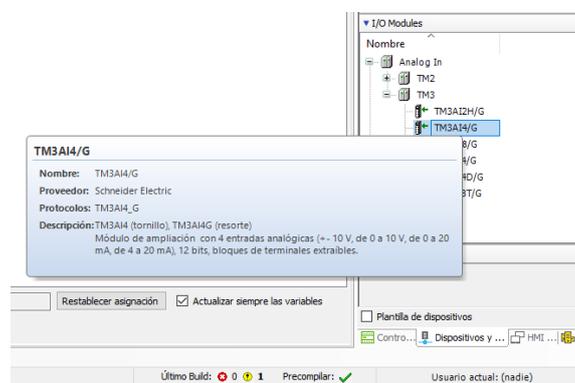


Figura Anexo 2. 6 Módulo analógico de entrada (Autor)

Variable	Asignación	Canal	Dirección	Tipo
FALLA_B1		QW0	%QW0	WORD
FALLA_B2		Q0	%QX0.0	BOOL
FALLA_B3		Q1	%QX0.1	BOOL
MARCHA_B1		Q2	%QX0.2	BOOL
MARCHA_B2		Q3	%QX0.3	BOOL
MARCHA_B3		Q4	%QX0.4	BOOL
Q_ALARMA		Q5	%QX0.5	BOOL
		Q6	%QX0.6	BOOL
		Q7	%QX0.7	BOOL
		Q8	%QX1.0	BOOL
		Q9	%QX1.1	BOOL
qbDQ_QB1		QB1	%QB2	BYTE

Figura Anexo 2. 7 Declaración de entradas analógicas. (Autor)

Una vez ya declaradas las variables de entradas y salidas, se procede a la creación de “POU” en lenguaje “Leader (LD)” para el programa principal de esta práctica.

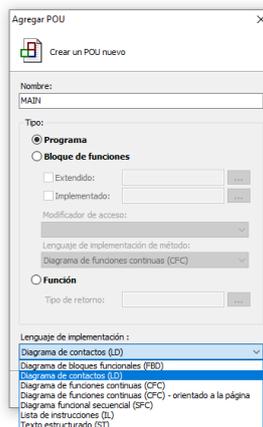


Figura Anexo 2. 8 Creación del programa "MAIN" (Autor)

Para la programación se utilizarán los módulos “LT”, “GT” y “IsFirstMastColdCycle”. El operador “LT” cuenta con dos entradas y una salida. La salida solo se activará cuando el valor 1 sea menor que el valor 2. Por su parte el operador “GT” es similar al “LT” con la diferencia que la salida se activara cuando el valor 1 sea mayor al valor 2. Mientras que “IsFirstMastColdCycle” es una función que devuelve TRUE durante el primer ciclo “MAST” después de un arranque en frío (primer ciclo tras la descarga o reset frío).

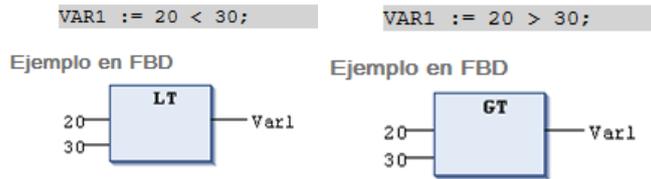


Figura Anexo 2. 9 Operador "LT" y "GT" (Autor)

Representación gráfica



Figura Anexo 2. 10 Función "IsFirstMastColdCycle" (Autor)

Una vez que se determina como se van a usar los operadores y función

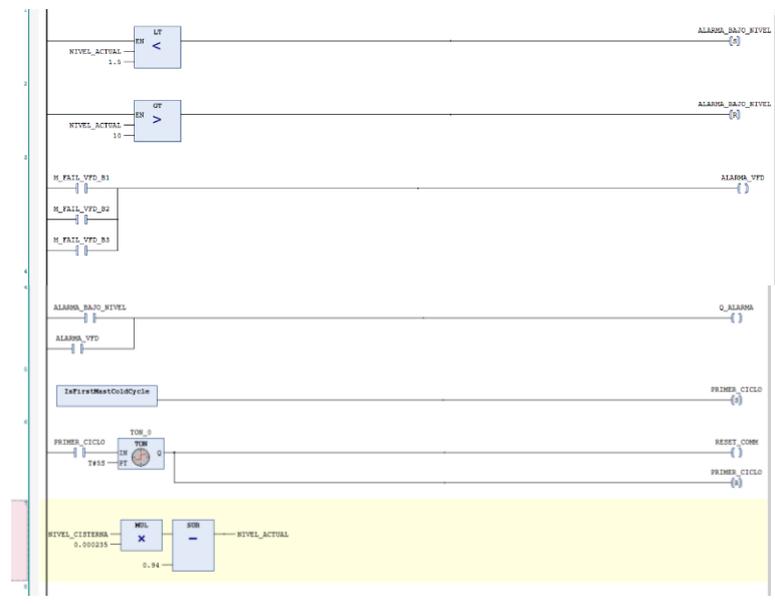


Figura Anexo 2. 11 Programa "MAIN" (Autor)

Una vez terminado el programa "MAIN", se procede a la creación de "POU" en lenguaje "Leader (LD)" con el nombre "BOMBAS" para el programa de las tres bombas de esta práctica.

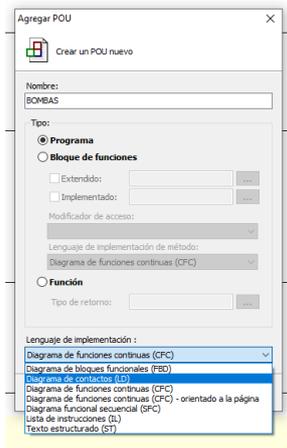


Figura Anexo 2. 12 Creación del programa "BOMBAS" (Autor)

La programación consta de un temporizador de 180 segundos, el cual se activará cuando el nivel mínimo de cisterna se haya activado, una vez pasado el tiempo podremos utilizar las bombas. Estas bombas tienen el funcionamiento de trabajar tanto en automático como en manual mediante botones físicos y entradas digitales mediante el HMI. Su funcionamiento en automático dependerá de un programa de habilitación que nos permite la alternabilidad de las tres bombas. La programación para la bomba 1 será igual para las otras dos bombas.

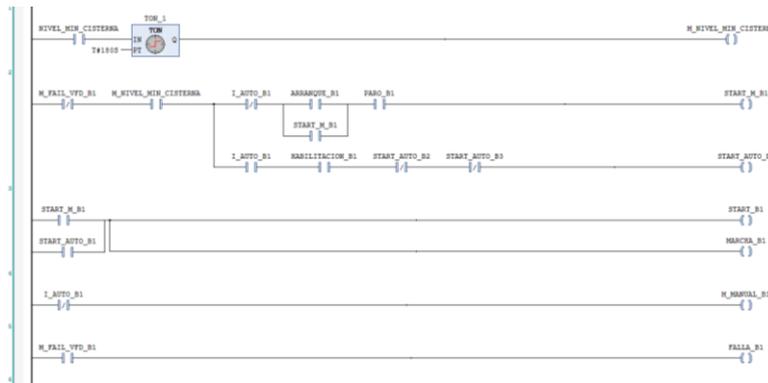


Figura Anexo 2. 13 Programación de bomba 1 (Autor)

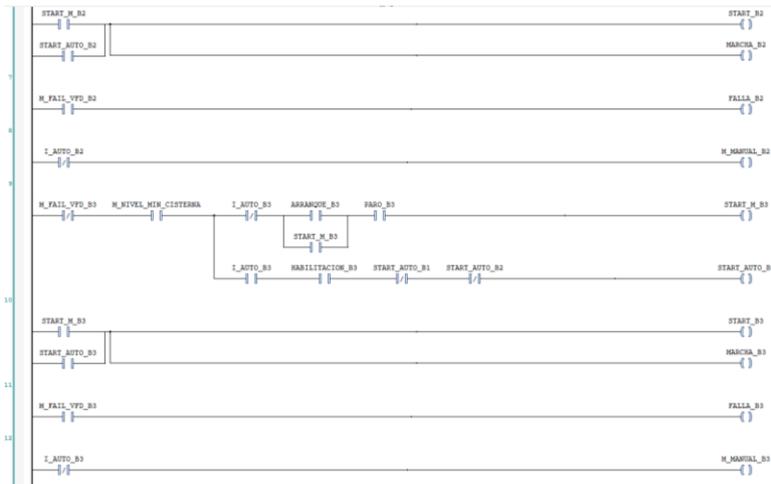


Figura Anexo 2. 14 Programación de bombas 2 y 3 (Autor)

Una vez terminado el programa “BOMBAS”, se procede a la creación de “POU” en lenguaje de funciones continuas con el nombre “PRIORIDAD” para designar la prioridad de cada bomba.

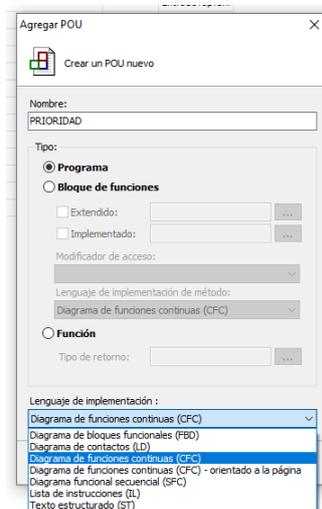


Figura Anexo 2. 15 Creación del programa "PRIORIDAD" (Autor)

Mediante el llamado de módulos se utilizará los operadores lógicos matemáticos como “OR” y “AND” para lograr la programación de una función de prioridad de tres bombas.

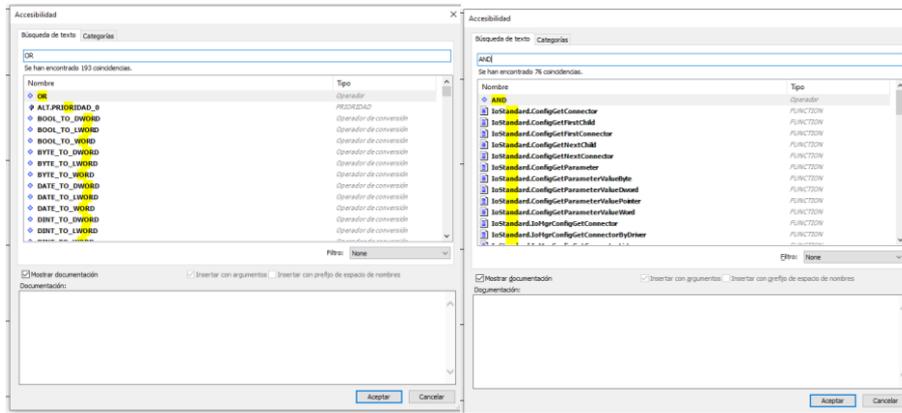


Figura Anexo 2. 16 Operador lógico "OR" y "AND" (Autor)

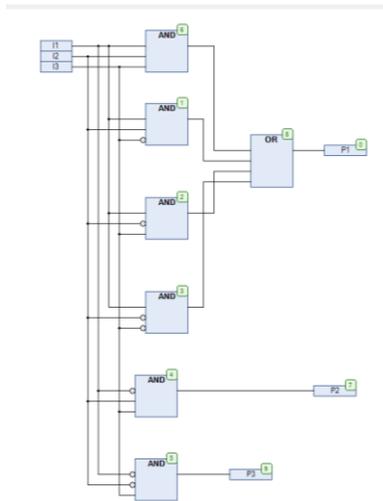


Figura Anexo 2. 17 Programa de "PRIORIDAD" (Autor)

Una vez terminado el programa “PRIORIDAD”, se procede a la creación de “POU” en lenguaje de bloques funcionales con el nombre “SP\_BOMBAS” para designar un set point de velocidad de forma manual o automática.

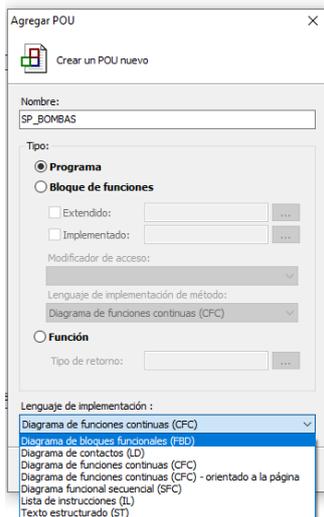


Figura Anexo 2. 18 Creación del programa "SP\_BOMBAS" (Autor)

Con el uso de módulos se llegará a usar el operador “MOVE”, el cual al activarse permite que el valor de la variable 1 pase a la variable 2. Además, se utilizará el controlador PID que ya está predefinida y para nuestra practica se utiliza los valores de entrada del “Actual”, “Set Point”, “KP”, “TN”, “TV”, “Y\_MIN” y “Y\_Max” y para el valor de salida en “Y” donde se transformará de real a entero para calcular el set point del PID.

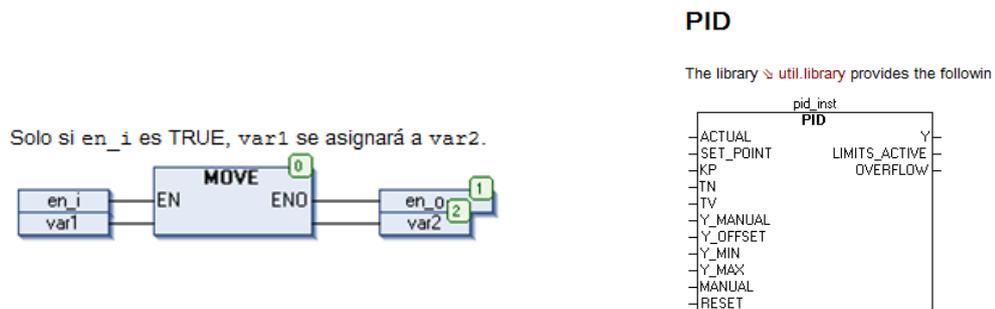


Figura Anexo 2. 19 Operador "MOVE" y bloque PID (Autor)

Tabla Anexo 2. 1 Entradas y salidas del bloque de funciones de PID (Schneider Electric, 2021)

Entradas del bloque de funciones		
Variable	Tipo de datos	Descripción
ACTUAL	REAL	Valor actual de la variable controlada
SET_POINT	REAL	Valor deseado, variable de comando
KP	REAL	Coefficiente de proporcionalidad, ganancia unitaria de la parte P. Este

		valor no debe ser 0, de lo contrario, el bloque de funciones no realizará ningún cálculo.
TN	REAL	Tiempo de reinicio, ganancia unitaria recíproca de la parte I. Dado en segundos, por ejemplo "0.5" para 500 ms. Este valor debe ser >0, de lo contrario, el bloque de funciones no realizará ningún cálculo. Cuanto menor es TN, más se incluye la parte integral en el valor de la variable manipulada. Cuanto más aumente TN, menor será este caso.
TV	REAL	Tiempo de acción derivada, ganancia unitaria de la parte D. Dado en segundos, por ejemplo "0.5" para 500 ms
Y_MANUAL	REAL	Define el valor de salida Y en caso de MANUAL = VERDADERO
Y_OFFSET	REAL	Compensación para la variable manipulada Y
Y_MIN, Y_MAX	REAL	Baja resp. límite superior para la variable manipulada Y. Si Y excede estos límites, la salida LIMITS_ACTIVE se establecerá en TRUE y se mantendrá dentro del rango prescrito. Este control solo funcionará si $Y\_MIN < Y\_MAX$
MANUAL	BOOL	Si es VERDADERO, la operación manual estará activa, es decir, el valor manipulado será definido por Y_MANUAL.
RESET	BOOL	TRUE reinicia el controlador; durante la reinicialización $Y = Y\_OFFSET$
Salidas del bloque de funciones		
Variable	Tipo de datos	Descripción

Y	REAL	Valor manipulado, calculado por el bloque de función (ver más abajo)
LIMITS_ACTIVE	BOOL	TRUE indica que Y ha excedido los límites dados (Y_MIN, Y_MAX).
OVERFLOW	BOOL	VERDADERO indica un desbordamiento (ver más abajo)

Ya con los valores definidos para el uso del bloque de función PID procedemos a la programación con la cual, tendremos los sets points de cada bomba.

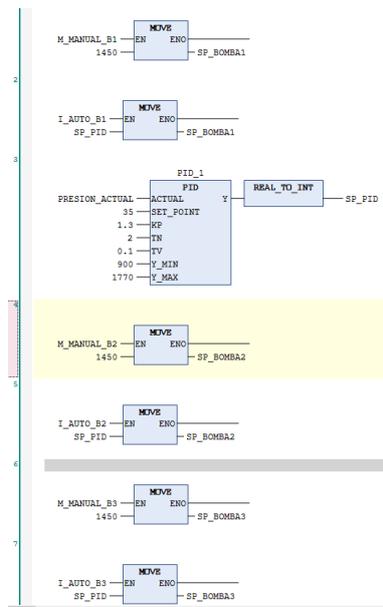


Figura Anexo 2. 20 Programa "SP\_BOMBA" (Autor)

Una vez terminado el programa "SP\_BOMBA", se procede a la creación de "POU" en lenguaje de funciones continuas con el nombre "COMM" para configurar la comunicación y valore de velocidad de los variadores de velocidad Altivar 6xx.

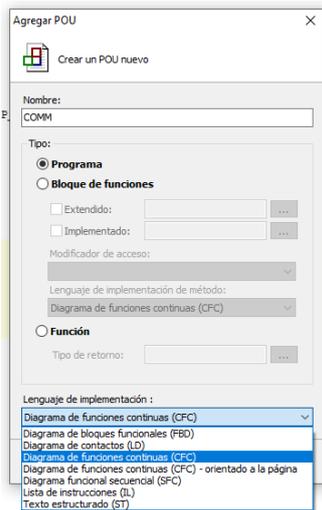


Figura Anexo 2. 21 Creación del programa "COMM" (Autor)

Con el uso de módulos se llegará a usar la función "GIATV.Control\_ATV", la cual permite la comunicación entre el PLC Modicon 241 y el variador de frecuencia Altivar. En esta función cuenta con entradas, salidas y mixta. Para la variable mixta "Axis" se pondrá el modelo del Altivar para esta práctica será "Altivar\_6xx\_1" el último dígito indica el número de variador que se usarán. Para el resto de las variables dependerá de las condiciones del usuario final y su uso.

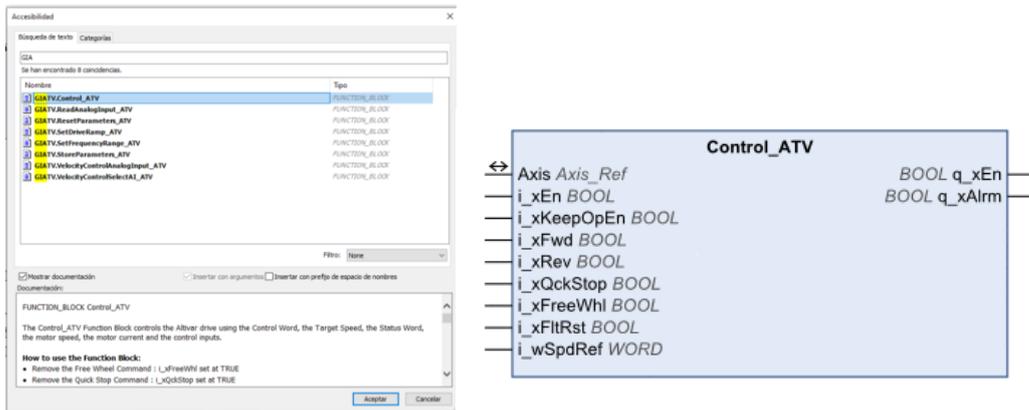


Figura Anexo 2. 22 Función "Control\_ATV" (Autor)

Tabla Anexo 2. 2 Variables de la función "Control\_ATV" (Schneider Electric, 2021)

ENTRADAS		
Entrada	Tipo de datos	Descripción
i_xEn	BOOL	Rango de valores: FALSE, TRUE. Valor predeterminado: FALSE.

		<p>Comando para activar o desactivar el bloque de funciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• FALSE: desactivar bloque de funciones.</li> <li>• TRUE: activar bloque de funciones.</li> </ul>
i_xKeepOpEn	BOOL	<p>Rango de valores: FALSE, TRUE. Valor predeterminado: FALSE.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• FALSE: la fase de arranque se deshabilita si no hay ningún comando activo.</li> <li>• TRUE: la fase de arranque permanece habilitada si no hay ningún comando activo.</li> </ul>
i_xFwd	BOOL	<p>Rango de valores: FALSE, TRUE. Valor predeterminado: FALSE.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• FALSE: se detiene un movimiento en dirección positiva.</li> <li>• TRUE: si la unidad está en el estado de funcionamiento "Switched On" y no hay ningún forzado local activo, se inicia un movimiento en dirección negativa (Reverse) con el valor de referencia de velocidad i_wSpdRef. Se activa el comando "Reverse" con un flanco ascendente. El movimiento se detiene cuando el nivel es FALSE.</li> </ul>

i_xRev	BOOL	<p>Rango de valores: FALSE, TRUE.  Valor predeterminado: FALSE.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• FALSE: se detiene un movimiento en dirección negativa.</li> <li>• TRUE: si la unidad está en el estado de funcionamiento "Switched On" y no hay ningún forzado local activo, se inicia un movimiento en dirección positiva (Forward) con el valor de referencia de velocidad i_wSpdRef. Se activa el comando "Forward" con un flanco ascendente. El movimiento se detiene cuando el nivel es FALSE.</li> </ul>
i_xQckStop	BOOL	<p>Rango de valores: FALSE, TRUE.  Valor predeterminado: FALSE.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• FALSE: si hay un movimiento del motor, la unidad desencadena una parada de emergencia.</li> <li>• TRUE: no se desencadena ninguna parada de emergencia. Tras una parada de emergencia, la unidad cambia automáticamente al estado de funcionamiento "Switched On" cuando los valores</li> </ul>

		de velocidad y corriente reales han alcanzado un valor cero y si los comandos Forward y Reverse son FALSE. La parada de emergencia debe desactivarse (establezca i_xQckStop en TRUE) para reiniciar el movimiento.
i_xFreeWhl	BOOL	Rango de valores: FALSE, TRUE. Valor predeterminado: FALSE. <ul style="list-style-type: none"> <li>• FALSE: si hay un movimiento del motor, la unidad desencadena una parada en rueda libre.</li> <li>• TRUE: no se desencadena ninguna parada en rueda libre.</li> </ul>
i_xFltRst	BOOL	Rango de valores: FALSE, TRUE. Valor predeterminado: FALSE. <ul style="list-style-type: none"> <li>• FALSE: no se desencadena ningún rearme tras fallo.</li> <li>• TRUE: la unidad desencadena un rearme tras fallo</li> </ul>
i_wSpdRef		Rango de valores: Valor predeterminado: 0 Velocidad de referencia para la unidad.
<b>Salidas</b>		
<b>Salida</b>	<b>Tipo de datos</b>	<b>Descripción</b>
q_xEn	BOOL	Rango de valores: FALSE, TRUE. Valor predeterminado: FALSE.

		Bloque de funciones activado/desactivado. Copia directa de i_xEn.
q_xAlrm	BOOL	Rango de valores: FALSE, TRUE. Valor predeterminado: FALSE. Se establece en FALSE cuando el bloque de funciones está desactivado y cuando la unidad pasa al estado de funcionamiento "Switch On Disabled". Se establece en TRUE cuando la unidad detecta un error (bit 3 de la palabra de estado).
Entradas/salidas		
Entrada/Salida	Tipo de datos	Descripción
Axis	Axis_Ref	Consulte el eje (instancia) para el que se ejecutará el bloque de funciones (corresponde al nombre del eje). El nombre de eje debe estar definido en el árbol de Dispositivos de SoMachine.

Con la ayuda de otro modulo se procede a ejecutar la función “MC\_ReadActualVelocity”, la cual esta enlazada con el variador de frecuencia. Así como en la función anterior se debe declarar el modelo del VDF Altivar. Para esta práctica solo se usará la salida “Velocity” y para su lectura en pantalla se debe transformar a un valor entero.

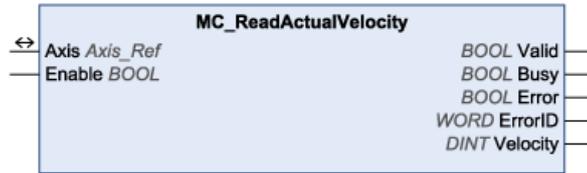
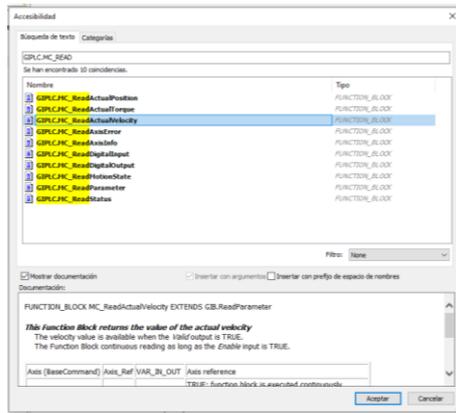


Figura Anexo 2. 23 Función "MC\_ReadActualVelocity" (Autor)

Tabla Anexo 2. 3 Variables de función "MC\_ReadActualVelocity" (Schneider Electric, 2021)

	Tipo	Inicialización	Descripción
VAR_IN_OUT			
Axis	AXIS_REF		Referencia al eje
VAR_INPUT			
Enable	BOOL	FALSE	Mientras es TRUE, los valores de los parámetros se leen continuamente
VAR_OUTPUT			
Valid	BOOL	FALSE	TRUE, si hay salidas válidas disponibles
Busy	BOOL	FALSE	TRUE, si la ejecución del bloque de funciones no finaliza
Error	BOOL	FALSE	Indica que se ha producido un error dentro del bloque de función
ErrorID	SMC_ERROR	0	Error de identificación
Velocity	LREAL	0	Valor de la velocidad real (en la unidad del eje [u/s])

Ya con las funciones debidamente modificadas se procederá a la programación final de comunicación del Altivar con las demás variables del programa de esta práctica. Una vez programada para la primera bomba se repetirá para las otras dos bombas restantes.

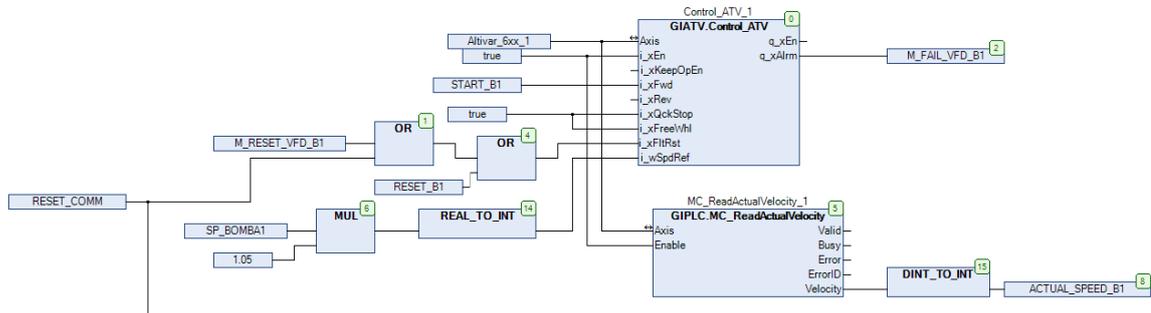


Figura Anexo 2. 24 Permisivos para funcionamiento del VDF (Autor)

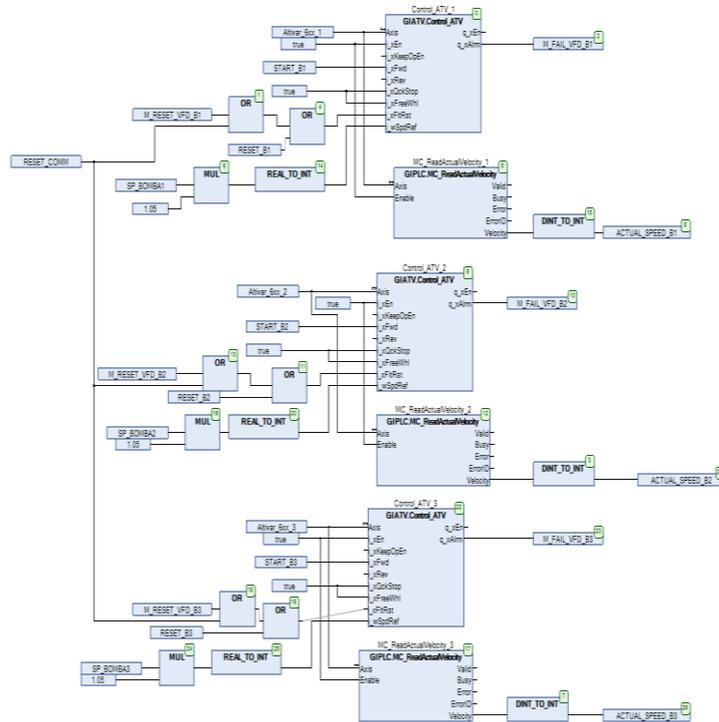


Figura Anexo 2. 25 Programación de "COMM" (Autor)

Una vez ya finalizado todas la funciones y programas se procede a dar por finalizada la programación en el Modicon 241

### 7.2.3. Practica N.º 3

Se procederá con el enlace de variables entre el PLC y HMI mediante el submenú “Herramientas”, “Agregar objetos” y “Configuración de símbolos”. Al hacer clic en la opción “Crear” el programa compilara y mostrara todas nuestras variables. Para finalizar se debe seleccionar las variables que se deben compartir con el HMI.

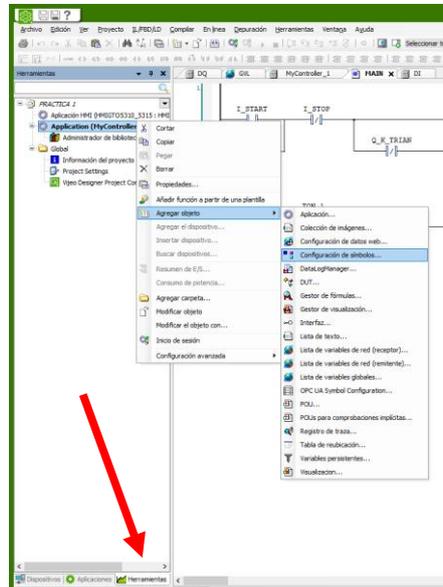


Figura Anexo 3. 1 Activación de “Configuración de símbolos ...” (Autor)

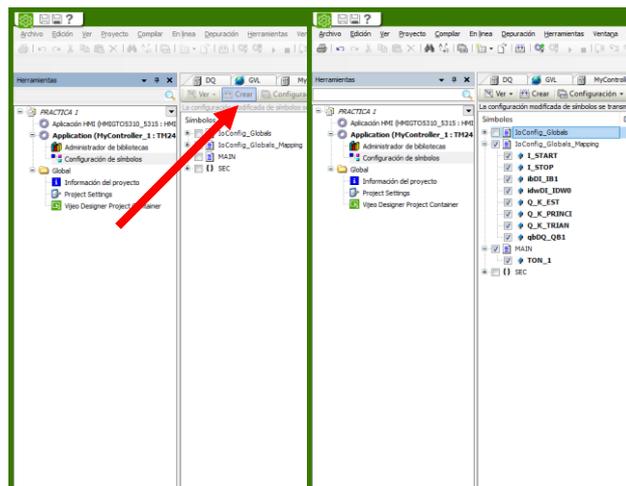


Figura Anexo 3. 2 Sincronización y compilación de variables al HMI (Autor)

Al abrir el programa Vijeo la primera acción a realizar es dar clic derecho en “Variables” y habilitar la importación de variable desde SoMachine.

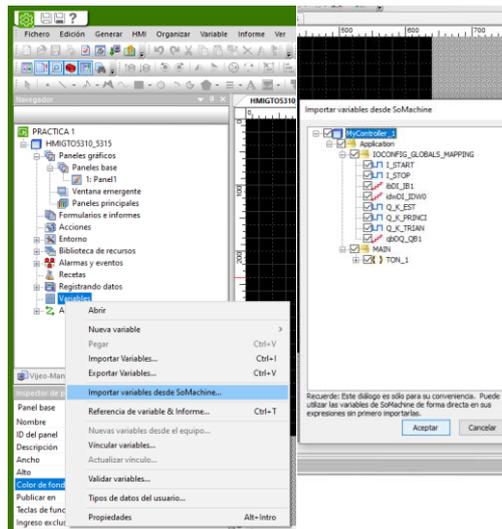


Figura Anexo 3. 3 Importación de variables del PLC a HMI (Autor)

Los primeros pasos para realizar en los gráficos son cambiar el fondo de la pantalla e insertar los gráficos y textos que solicita la práctica.

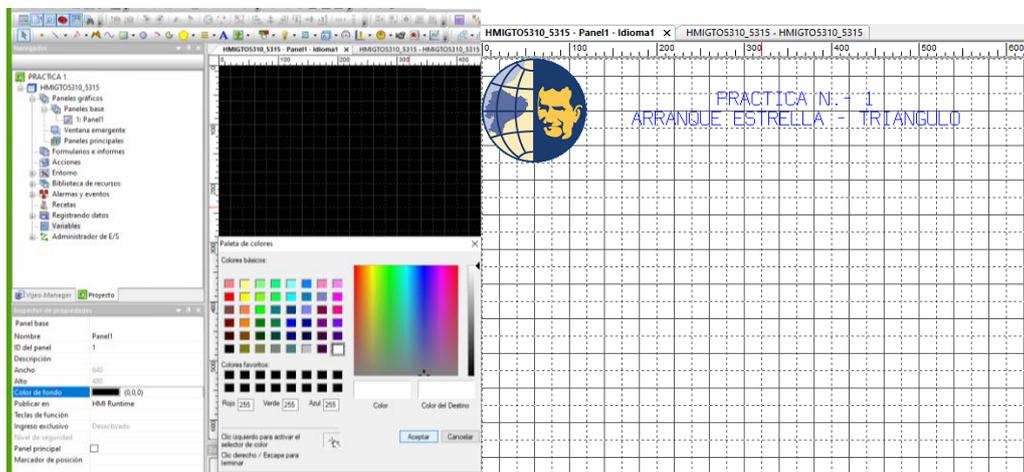


Figura Anexo 3. 4 Cambio de fondo de pantalla y panel base (Autor)

La práctica cuenta con una botonera doble de arranque y paro como entradas digitales y los contactores como el principal, estrella y triangulo como salidas, estos serán representados con luces pilotos.

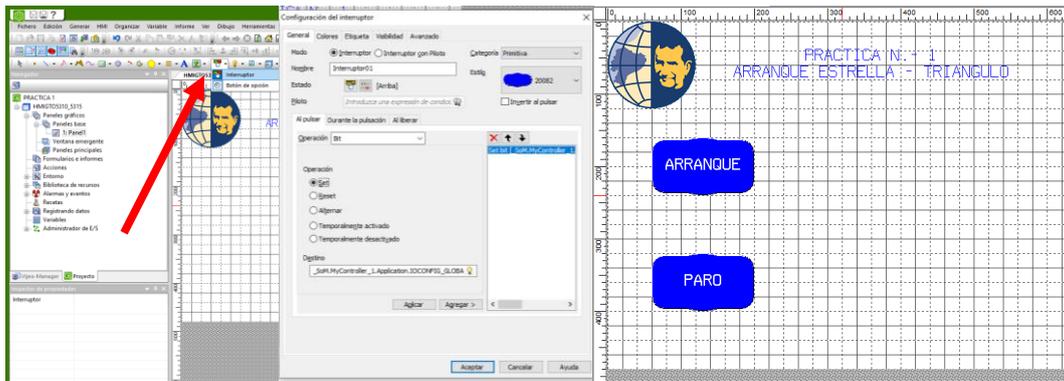


Figura Anexo 3. 5 Configuración de pulsadores (Autor)

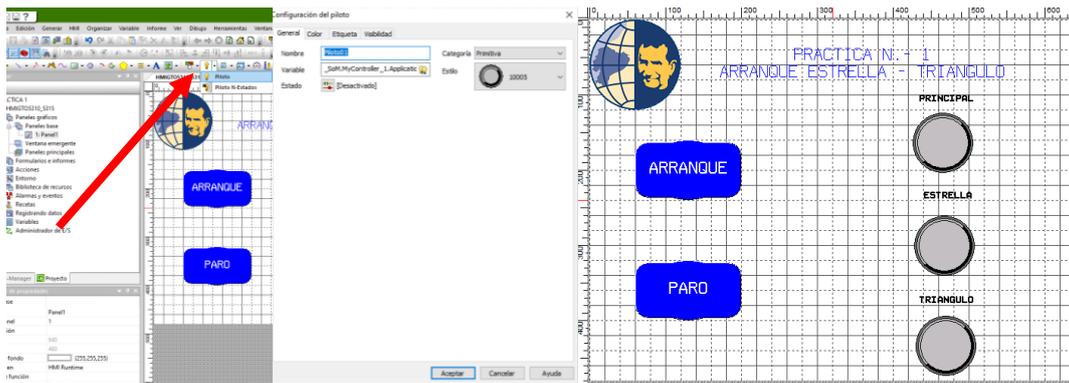


Figura Anexo 3. 6 Configuración de luces pilotos (Autor)

Para la práctica 2 se procede a repetir los primeros pasos realizados en la práctica 1 tales como: configuración de símbolos, seleccionar las variables que serán compartidas entre el PLC y HMI y por último la importación de las variables desde el SoMachine al Vijeo.

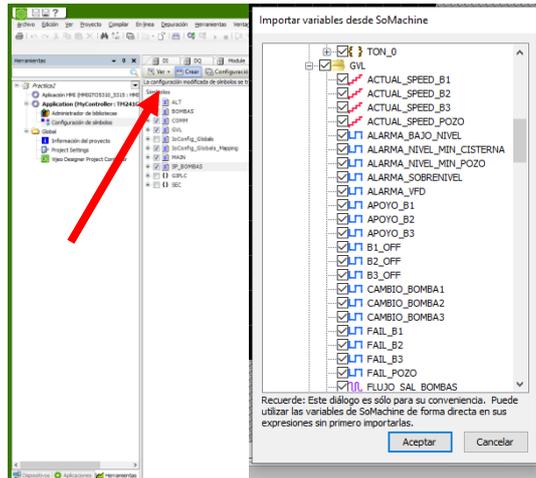


Figura Anexo 3. 7 Importación de variables al HMI (Autor)

Esta práctica contará con un panel principal y cuatro paneles bases que se activarán mediante botones. Lo que se llegue a programar en el panel principal se replicará en los otros paneles.

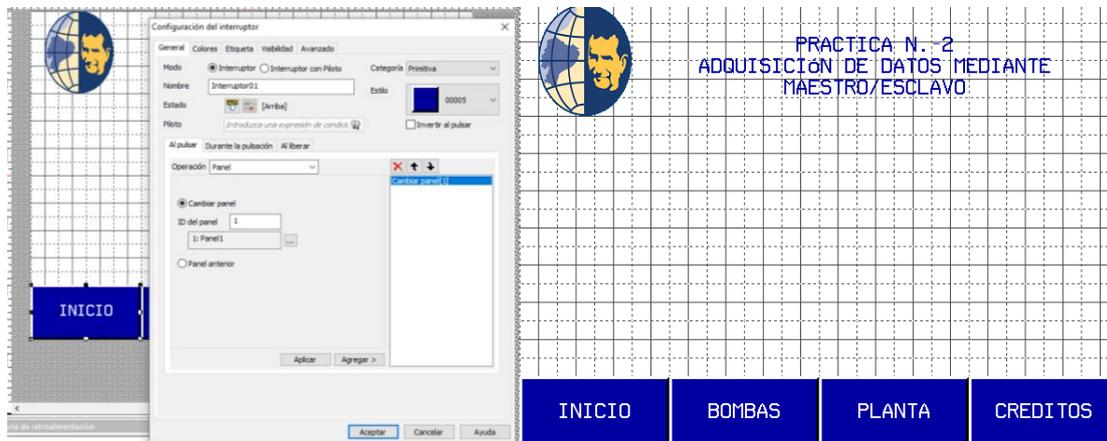


Figura Anexo 3. 8 Panel principal (Autor)

Para el panel “Inicio” se procederá a mostrar luces pilotos que indicarán los estados ya sean apagadas o encendidas de las tres bombas.

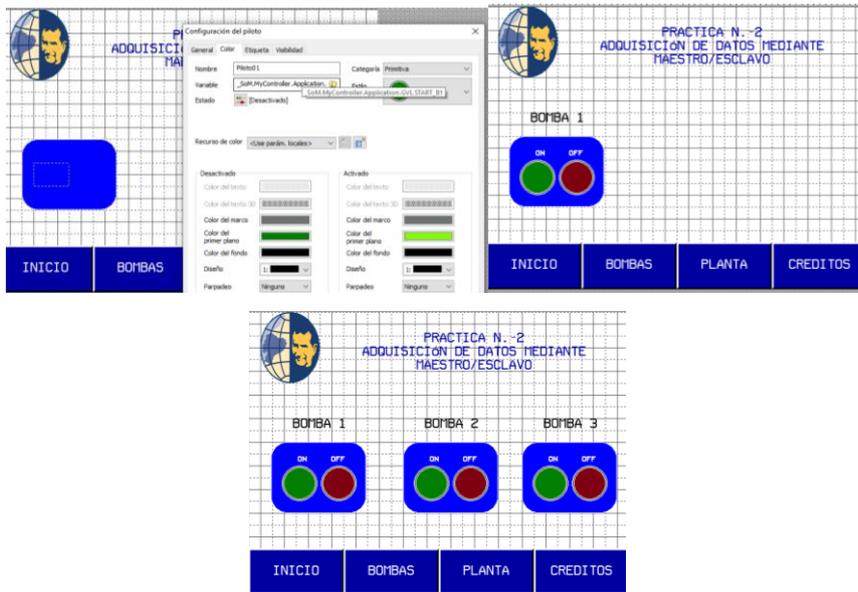


Figura Anexo 3. 9 Elaboración de Panel "INICIO" (Autor)

En el panel “Bombas” se implementará el uso de selectores para definir si las bombas trabajan de forma “Manual” o “Automática” y tendrán un indicador lumínico para saber su estado de operación. Además, contará con pulsadores de encendido, paro y reset (en caso de que llegue a tener una falla el VDF) para cada una de las tres bombas.



Figura Anexo 3. 10 Configuración de paneles lumínicos y selectores (Autor)

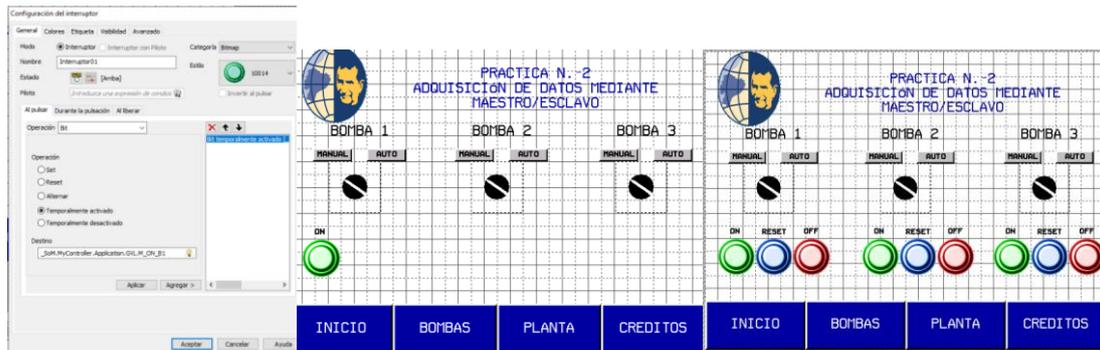


Figura Anexo 3. 11 Configuración de botones digitales (Autor)

Para el panel “Planta” contará con gráficos representativos y se mostrará información en tiempo real de manera gráfica y en texto. Con la ayuda de la biblioteca de gráficos de Vijeo podremos representar una cisterna y la salida del agua potable. Además, se llegará a observar el nivel de una cisterna de manera de barra y texto, así también se observará la presión y flujo del agua potable.

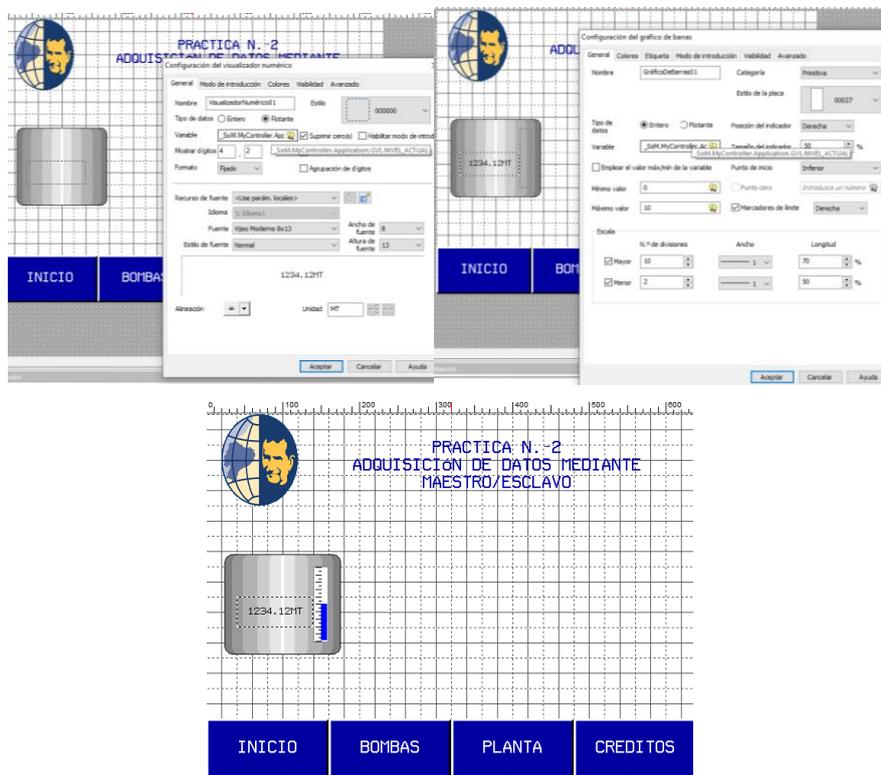


Figura Anexo 3. 12 Configuración de nivel de cisterna (Autor)

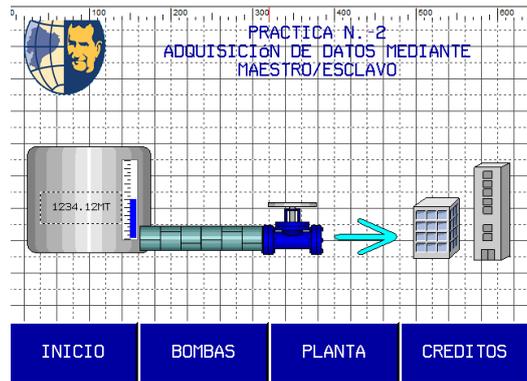


Figura Anexo 3. 13 Representación gráfica de la salida del agua potable (Autor)

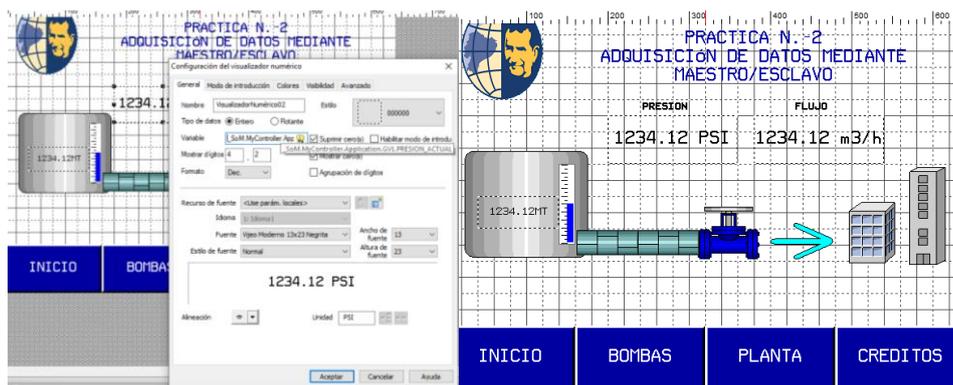


Figura Anexo 3. 14 Configuración de medidas en tiempo actual (Autor)

Por último, en el panel “Créditos” solo se incluirá el texto del nombre del proyecto, el autor y tutor.

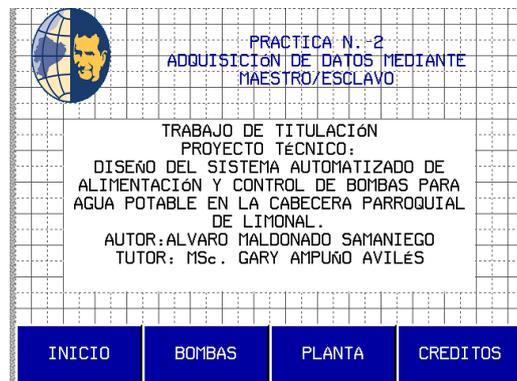


Figura Anexo 3. 15 Panel "Créditos" (Autor)

### 7.3. Gráficas de caudal

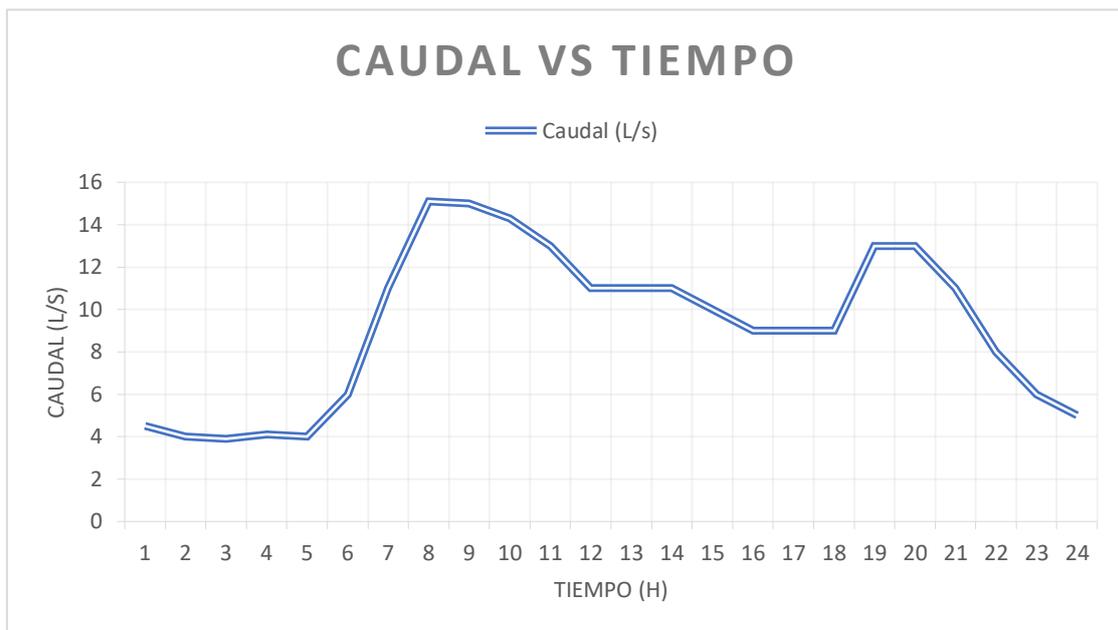


Gráfico Anexo 1. Caudal vs Tiempo del cantón Limonal 2022 (Autor)