



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN PROCESOS DE AUTOMATIZACIÓN

Tema:

“AUTOMATIZACIÓN DEL BOMBEO DE AGUA A TRAVÉS DEL CONTROL DE NIVEL DE LA CISTERNA DE LA ESTACIÓN MIRAFLORES EP-EMAPA”

Trabajo de Graduación. Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero Industrial en Procesos de Automatización.

Sublínea de Investigación: Sistemas de control automatizado e instrumentación virtual para procesos industriales de baja y alta potencia.

AUTOR: Jácome López Lourdes Viviana

TUTOR: Ing. López Gordon William Griswold

Ambato - Ecuador
Julio - 2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema: “Automatización del bombeo de agua a través del control de nivel de la cisterna de la estación Miraflores EP-EMAPA”, elaborado por la señorita Lourdes Viviana Jácome López, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Julio 2015

EL TUTOR

Ing. William López Gordon

AUTORÍA

El presente proyecto de investigación titulado: “AUTOMATIZACIÓN DEL BOMBEO DE AGUA A TRAVÉS DEL CONTROL DE NIVEL DE LA CISTERNA DE LA ESTACIÓN MIRAFLORES EP-EMAPA” es absolutamente original, autentico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Julio 2015

EL AUTOR

Lourdes Viviana Jácome López

C.I. 180429313-0

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato Julio, 2015

Lourdes Viviana Jácome López
C.I. 180429313-0

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Vicente Morales, Presidente y los señores Miembros del Tribunal de Calificación Ing. Edwin Morales e In. Estefanía Almache, revisó y aprobó el informe Final del trabajo de graduación titulado “Automatización del bombeo de agua a través del control de nivel de la cisterna de la estación Miraflores EP-EMAPA”, presentado por la señorita Lourdes Viviana Jácome López de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Vicente Morales
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Edwin Morales
DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Estefanía Almache
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

A:

El creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón pude emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios.

Anthony Josué tu afecto y cariño son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de buscar lo mejor para ti. Aun a tu corta edad, me has enseñado y me sigues enseñando muchas cosas de esta vida.

Te dedico este proyecto de tesis, a ti mi adorado hijo por ayudarme a encontrar el lado dulce y no amargo de la vida. Eres mi motivación más grande.

Tu madre

Viviana Jácome

AGRADECIMIENTO

A:

Dios todopoderoso por brindarme la oportunidad de alcanzar un nuevo éxito personal, y darme salud, sabiduría, y entendimiento para lograr esta meta.

Mi familia por apoyarme siempre a salir adelante.

Mi querida madre Cecilia Jácome por brindarme su apoyo y ayuda con el cuidado de mi hijo. Gracias por tus cuidados que Dios te bendiga siempre.

Mi hijo Anthony Josué por ser un niño responsable, comprensivo y el impulso para terminar este proyecto. Que Dios te bendiga mi niño.

La Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización, por haber sido mi casa dura cinco años llenos de conocimientos y aprendizaje.

Las Autoridades, personal Administrativo y de oficina por su dedicación y atención incondicionales, muchas gracias por todo.

Los docentes por los conocimientos compartidos y de manera especial a quienes brindaron su apoyo, colaboración y valiosa amistad.

Mis amigos y compañeros de estudio, gracias por su amistad y compañerismo, de manera especial a Israel Araujo, amigo, confidente y apoyo incondicional, Dios te bendiga siempre.

Mi persona, por todo el esfuerzo, voluntad, esmero, ganas y perseverancia en alcanzar este logro significativo; a pesar de los sacrificios e inconvenientes que suelen presentarse.

Dios les pague a todos y todas aquellas personas que han contribuido conmigo.

Viviana Jácome

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido

| | |
|--|-------|
| APROBACIÓN DEL TUTOR | ii |
| AUTORÍA | iii |
| APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA | v |
| DEDICATORIA | vi |
| AGRADECIMIENTO | vii |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xi |
| ÍNDICE DE TABLAS | xiii |
| ÍNDICE DE ECUACIONES | xiv |
| RESUMEN EJECUTIVO | xv |
| ABSTRACT | xvi |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS | xvii |
| INTRODUCCIÓN | xviii |
| CAPITULO 1 | 1 |
| EL PROBLEMA | 1 |
| 1.1. Tema | 1 |
| 1.2. Planteamiento del problema | 1 |
| 1.3. Delimitación | 3 |
| 1.4. Justificación | 4 |
| 1.5. Objetivos | 5 |
| CAPITULO 2 | 6 |
| MARCO TEÓRICO | 6 |
| 2.1. Antecedentes Investigativos | 6 |
| 2.2. Fundamentación teórica | 8 |
| 2.2.1. Estaciones de bombeo.- | 8 |
| 2.2.2. Elementos de las estaciones de bombeo.- | 8 |
| 2.2.3. Pirámide de Automatización.- | 17 |
| 2.3. Propuesta de Solución | 33 |
| CAPITULO 3 | 34 |
| METODOLOGÍA | 34 |

| | | |
|----------------------------------|--|----|
| 3.1. | Modalidad de la investigación | 34 |
| 3.2. | Población y muestra | 35 |
| 3.3. | Recolección de la información..... | 35 |
| 3.4. | Procesamiento y análisis de datos | 39 |
| 3.5. | Desarrollo del proyecto | 39 |
| CAPITULO 4..... | | 40 |
| DESARROLLO DE LA PROPUESTA | | 40 |
| 4.1. | Instalaciones de la empresa..... | 40 |
| 4.1.1. | Plantas de tratamiento | 41 |
| 4.1.2. | Estaciones de bombeo..... | 41 |
| 4.1.3. | Tanque de almacenamiento | 42 |
| 4.2. | Área de trabajo | 42 |
| 4.3. | Área de tesis | 43 |
| 4.4. | Equipo de trabajo | 45 |
| 4.4.1. | Bomba de suministro de agua..... | 45 |
| 4.5. | Funcionamiento de la estación de bombeo Miraflores..... | 47 |
| 4.6. | Planteamiento de propuesta..... | 48 |
| 4.6.1. | Sistema de control a implementar..... | 48 |
| 4.6.2. | Medición de nivel | 49 |
| 4.6.3. | Sensor ultrasónico..... | 49 |
| 4.6.4. | Aspectos para seleccionar el PLC..... | 50 |
| 4.6.5. | Procesamiento de datos..... | 55 |
| 4.7. | Análisis de factibilidad..... | 56 |
| 4.7.1. | Factibilidad tecnológica..... | 56 |
| 4.7.2. | Factibilidad económica – financiera..... | 57 |
| 4.7.3. | Toma de decisión..... | 59 |
| 4.7.4. | Factibilidad organizacional..... | 59 |
| 4.8. | Escalonamiento | 59 |
| 4.8.1. | Tratamiento de las señales análogas | 60 |
| 4.8.2. | Adaptación de rangos estándar para entradas y salidas en programadores | 60 |
| 4.9. | Diagramas de procesos e instrumentación (P&ID)..... | 66 |

| | | |
|--|--|-----|
| 4.10. | Programación del PLC y Variadores | 68 |
| 4.10.1. | Programación del PLC | 68 |
| 4.10.2. | Software TIA Portal..... | 69 |
| 4.10.3. | Programación de los variadores | 81 |
| 4.11. | Diseño de los planos eléctricos del sistema a automatizarse..... | 89 |
| 4.12. | Pruebas de simulación del proceso implementado..... | 93 |
| CAPITULO 5..... | | 96 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 96 |
| 5.1. | Conclusiones | 96 |
| 5.2. | Recomendaciones..... | 97 |
| BIBLIOGRAFÍA O REFERENCIAS | | 98 |
| ANEXOS | | 100 |
| ANEXO 1. Fotografías de los sistemas de agua potable | | 101 |
| ANEXO 2. Planos de la Cisterna ubicada en la estación Miraflores..... | | 107 |
| ANEXO 3. Diagrama P&ID | | 109 |
| ANEXO 4. Diagrama de control de los variadores..... | | 112 |
| ANEXO 5. Circuito de potencia de variadores..... | | 114 |
| ANEXO 6. Diagrama de flujo del funcionamiento de la Estación de Bombeo Miraflores | | 116 |
| ANEXO 7. Data Sheet del Sensor Senix <i>TSPC-30S</i> | | 117 |
| ANEXO 8. Conexión del transductor | | 120 |
| ANEXO 9. Entradas de PLC | | 122 |
| ANEXO 10. Conexión de salida del PLC..... | | 124 |
| ANEXO 11. Programación | | 126 |
| ANEXO 12. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de control de nivel para la cisterna de la Estación Miraflores..... | | 140 |
| ANEXO 13. Conexión del variador Mitsubishi al PLC | | 142 |
| ANEXO 14. Conexión general del variador Mitsubishi FR-F700 | | 144 |
| ANEXO 15. Conexión general del variador Allen Bradley Power Flex F700s | | 146 |
| ANEXO 16. Tablero de Control..... | | 147 |
| ANEXO 17. Simulación del Sistema HMI en Intouch..... | | 149 |
| ANEXO 18. Fotografías de la Implementación..... | | 153 |
| ANEXO 19. Programa de Mantenimiento Preventivo | | 158 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1:Esquema típico de una estación de Bombeo | 9 |
| Figura 2: Bomba centrífuga de succión positiva | 11 |
| Figura 3: Bomba centrífuga de succión negativa..... | 11 |
| Figura 4: Bomba centrífuga de eje vertical..... | 13 |
| Figura 5: Niveles de la Pirámide de Automatización | 17 |
| Figura 6: Motor sincrónico | 18 |
| Figura 7: PLC Siemens S7-1200 | 21 |
| Figura 8: Estructura de Hardware del PLC..... | 22 |
| Figura 9: Señales de operación del Variador | 24 |
| Figura 10: Diagrama en bloques de un Variador..... | 25 |
| Figura 11: Variador Mitsubishi F700 | 28 |
| Figura 12: Variador Allen Bradley Power Flex 700s | 30 |
| Figura 13: Regulación en lazo abierto | 31 |
| Figura 14: Regulación en lazo cerrado | 31 |
| Figura 15: Control de Nivel | 36 |
| Figura 16: Edificio Matriz EP-EMAPA | 40 |
| Figura 17: Esquema del Área de Trabajo | 42 |
| Figura 18: Cuarto de Máquinas en la estación de bombeo Miraflores | 43 |
| Figura 19: Dimensiones de la cisterna Miraflores | 44 |
| Figura 20: Curva de capacidad de la cisterna Miraflores | 44 |
| Figura 21: Curva de operación de bombas Miraflores - La Floresta | 45 |
| Figura 22: Conexión variador motor | 46 |
| Figura 23: Diagrama de flujo del proceso | 47 |
| Figura 24: Diagrama de bloques general de la planta..... | 49 |
| Figura 25: Sensor Senix | 50 |
| Figura 26: Funcionamiento del sistema del control para el proceso..... | 54 |
| Figura 27: Pines del conector BD9 | 55 |
| Figura 28: Escalonamiento | 60 |

| | |
|---|----|
| Figura 29: Bloque conversor..... | 62 |
| Figura 30: Rango de operación de transmisor SENIX TSPC-30S1 | 64 |
| Figura 31: Lazos de control diagrama P&ID | 67 |
| Figura 32: Ventana principal del TIA Portal | 69 |
| Figura 33: Creación del proyecto..... | 70 |
| Figura 34: Selección del dispositivo. | 70 |
| Figura 35: Identificación de la IP del PLC | 71 |
| Figura 36: Selección de tarjetas externas..... | 71 |
| Figura 37: Selección de la tarjeta de comunicación..... | 72 |
| Figura 38: Ubicación de la tarjeta de comunicación..... | 72 |
| Figura 39: Selección del bloque de programación..... | 73 |
| Figura 40: Bloque Main de programación | 73 |
| Figura 41: Bloque de programación. | 74 |
| Figura 42: Tags utilizadas..... | 74 |
| Figura 43: Diagrama de flujo del sistema de control de nivel para la estación Miraflores | 78 |
| Figura 44: Bloque de programación Modo Automático | 79 |
| Figura 45: Bloque de programación modo manual | 79 |
| Figura 46: Compilación de la programación | 80 |
| Figura 47: Adición del módulo de comunicación CM 124 | 80 |
| Figura 48: Cargar el programa en el dispositivo..... | 81 |
| Figura 49: Diagrama general de la red..... | 81 |
| Figura 50: Selección Bloques de comunicación | 82 |
| Figura 51: Configuración bloque MODBUS..... | 82 |
| Figura 52: Bloque MODBUS | 83 |
| Figura 53: Bloque Maestro | 83 |
| Figura 54: Configuración del bloque maestro de MODBUS | 84 |
| Figura 55: Diagrama general de conexión variador Mitsubishi F700s..... | 86 |
| Figura 56: Lista Lineal..... | 87 |
| Figura 57: Parámetros de programación..... | 87 |
| Figura 58: Diagrama general de conexión variador Allen Bradley Power Flex 700..... | 88 |
| Figura 59: Conexión esquemática entre el PLC y sus dispositivos. | 89 |

| | |
|---|----|
| Figura 60: Representación esquemática del variador con sus dispositivos | 90 |
| Figura 61: Esquema de conexión completa | 91 |
| Figura 62: Diagrama esquemático del armario | 92 |
| Figura 63: Pantalla del Proceso General | 93 |
| Figura 64: Pantalla de Estación Miraflores..... | 94 |
| Figura 65: Pantalla de Estación Troya | 95 |
| Figura 66: Pantalla de Controles..... | 95 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Valores altura de líquido vs. Señal de voltaje de sensor | 38 |
| Tabla 2: Tabla de capacidad de la Cisterna Miraflores..... | 44 |
| Tabla 3: Datos de operación de las Bombas | 45 |
| Tabla 4: Características de la bomba | 46 |
| Tabla 5: Especificaciones del sensor Senix | 50 |
| Tabla 6: Comparación de PLC..... | 54 |
| Tabla 7: Funciones de los pines del conector DB9..... | 55 |
| Tabla 8: Costos de los equipos de control automático..... | 57 |
| Tabla 9: Codificación de Colores Diagramas P&ID..... | 66 |
| Tabla 10: Características del PLC S7-1200 | 68 |
| Tabla 11: Tags definidos en el OB1 | 75 |
| Tabla 12. Tags del bloque principal..... | 77 |
| Tabla 13: Parámetros para programar el variador Mitsubishi F700 | 85 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1: Ecuación del Caudal de salida..... | 35 |
| Ecuación 2: Modelo del proceso de Nivel en un tanque..... | 36 |
| Ecuación 3: Función no lineal..... | 36 |
| Ecuación 4: Expansión de series de Taylor..... | 37 |
| Ecuación 5: Modelo de Nivel del tanque linealizada..... | 37 |
| Ecuación 6: condición aplicada a la ecuación 5..... | 37 |
| Ecuación 7: Artificio aplicado en la ecuación 6..... | 37 |
| Ecuación 8: Constante de tiempo..... | 37 |
| Ecuación 9: Ganancia de estado estable..... | 38 |
| Ecuación 10: Función de transferencia..... | 38 |
| Ecuación 11: Función matemática de la recta..... | 61 |
| Ecuación 12: Ecuación de la pendiente..... | 61 |
| Ecuación 13: Ecuación del desplazamiento..... | 61 |
| Ecuación 14: Ecuación de la recta | 62 |
| Ecuación 15: Voltaje de referencia mediante regla de tres..... | 63 |

RESUMEN EJECUTIVO

Adaptar el agua de fuentes naturales como ríos para el consumo, fue una labor que ha ido creciendo gradualmente a través del tiempo y la demanda de quienes habitamos la Provincia de Tungurahua, sin embargo distribuir el agua potable ya sea en tanques de almacenamiento o directamente para el consumo, requiere de un proceso que debe ser controlado y monitoreado a distancia para evitar pérdidas y daños de recursos como son el agua potable, equipos de bombeo, tableros de control e infraestructura.

Es por esta razón el presente proyecto de graduación tiene como finalidad realizar un control de nivel de la cisterna de la estación de bombeo Miraflores de la Empresa Pública - Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato.

Para alcanzar este objetivo es necesaria la ayuda del sensor TSPC-30S1 de marca SENIX, así como también de los variadores Allen Bradley F700s y Mitsubishi Power Flex 700 los mismos que serán controlados por el PLC S7-1200, el mismo que es programado a través de una computadora con la ayuda del software TIA PORTAL (Totally Integrated Automation Portal), para controlar y monitorear los equipos de bombeo así como también para mantener la comunicación mediante Modbus.

ABSTRACT

Adapting water from natural sources such as rivers for drinking, was a task that has been growing gradually over time and demand of those who inhabit the province of Tungurahua, however distribute drinking water either in storage tanks or directly to consumption, requires a process that must be controlled and monitored remotely to prevent loss or damage of resources such as clean water, pumping equipment, dashboards and infrastructure.

It is for this reason this graduation final work aims to implement a tank level control system for the Miraflores pumping station, which belong to the Ambato city water and sewer network.

To achieve this goal is necessary support TSPC-30S1 brand Senix sensor, as well as inverters Mitsubishi Allen Bradley Power Flex F700s and 700 thereof to be controlled by the S7-1200 PLC, the same that is programmed through a computer with the help of TIA PORTAL (Totally Integrated Automation Portal) software to control and monitor pumping equipment as well as to maintain Modbus communication.

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

EP-EMAPA: Empresa Municipal de Agua Potable de Ambato

SCADA: Supervisión, Control y Adquisición de Datos

TIA PORTAL: Totally Integrated Automation Portal

PLC: Controlador lógico programable

P&ID: Diagramas de Proceso e Instrumentación

HMI: Interfaz Hombre Máquina

MMI: Multi Media Interface

MODBUS: es un protocolo de comunicaciones situado en el nivel 7 del Modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo

CM: Módulo de comunicación

LAN: Local Area Network- Redes de Área Local

PORT: Es el puerto de comunicación.

BAUD: Es la velocidad de comunicación por defecto es 9600.

PARITY: paridad.

MB_DB: indica el módulo de instancia del maestro para así definir el módulo de comunicación.

MB_ADDR: indica la dirección de la estación RTU de MODBUS con la que se ha de comunicar.

MODE: Ajusta el sentido de transmisión

DATA_ADDR y DATA_LEN: indica la dirección de inicio MODBUS y la longitud de los datos.

DATA_PTR: Configura la zona de envío y recepción local del maestro.

BJT (Bipolar Junction Transistor): transistor de unión bipolar es un dispositivo eléctrico de estado sólido que permite controlar el paso de corriente.

CMOS (Complementary metal-oxide-semiconductor): El semiconductor complementario de óxido metálico es una de las familias lógicas empleadas en la fabricación de circuitos integrados.

PWM (pulse-width modulation): La modulación por ancho de pulsos.

INTRODUCCIÓN

Mediante los avances tecnológicos que año a año se van presentando, la automatización de procesos industriales se vuelve imprescindible al momento de controlar y monitorear los sistemas. El presente proyecto tiene como tema automatización del bombeo de agua a través del control de nivel de la cisterna de la estación Miraflores EP-EMAPA.

El objetivo principal de este proyecto es automatizar el bombeo de agua a través del control de nivel de la cisterna, para lo cual se analiza los datos relacionados a la capacidad de la cisterna, que permitan definir las características que debe cumplir el dispositivo para conjuntamente llevar a cabo los diagramas de procesos e instrumentación (P&ID) y planos eléctricos del sistema.

Una vez realizado los objetivos planteados se realizara las pruebas y evaluación de funcionamiento del sistema previo a su implementación.

CAPITULO 1

EL PROBLEMA

1.1. Tema

AUTOMATIZACIÓN DEL BOMBEO DE AGUA A TRAVÉS DEL CONTROL DE NIVEL DE LA CISTERNA DE LA ESTACIÓN MIRAFLORES EP-EMAPA

1.2. Planteamiento del problema

“El agua es el alma azul de este planeta y también la vida de los pueblos que lo habitamos”, pero el diagnóstico general se centra en la escasez de agua potable. Sin embargo nuestro instinto natural nos ha llevado a colocar nuestras casas cerca de ríos, lagos o pozos de los que podemos obtener agua potable que todos necesitamos para vivir. [1]

Con respecto al diagnóstico general, Ecuador presenta una escasez del 94%, mismo que engloba la escasez por provincias como es el caso de Tungurahua con un 22.4%, con respecto al 100% de su cobertura.

Además el censo realizado en el 2013 expone un 18.3% de escasez de agua potable en el cantón Ambato. [2]

El uso del agua en Ambato fue desarrollado bien entrada la época colonial y más ampliamente en la época republicana. En la historia de la conquista no se señala la presencia de explotaciones hídricas significativas.

En su primer asentamiento, en el sector de Cashapamba, los hambatus transportaban el agua y la mantenían fresca en pundos de arcilla. Los desechos y excretas no tenían sitios fijos de acumulación y se depositaban en terrenos de cultivo o se los evacuaba al mismo río aguas abajo. [3]

Acequias y canales, aguas venidas del Carihuairazo, del Casahuala y vertientes de otros cerros, algunas de ellas trabajadas por los incas, fueron aprovechadas para servicio de irrigación. Esos canales, que ya atendían a Mocha y Santa Rosa fueron –en su momento- prolongado hasta El Socavón, Huachi y otras zonas.

Fue la “sociedad de irrigación”, formada el 26 de abril de 1698, entre el padre jesuita José Maugeri y un sargento de nombre Miguel Ruiz González, la que sacó una acequia para que sirviera al colegio Jesuita, cuyas propiedades se ubicaban al sur de la ciudad, y para regar el predio de Miraflores. [4]

El abastecimiento de agua se hizo realidad alrededor de 1745, por gestión de Miguel Ruiz y el corregidor Alfonso López Naranjo, quienes rehabilitaron la acequia de los Jesuitas. El agua era filtrada en tinajas de piedra pómez (que se conseguía en Latacunga) y servía para el consumo humano. [4]

Para cumplir con el suministro de agua potable y alcantarillado en condiciones apropiadas, el Ilustre Municipio de Ambato se propuso, en 1967, metas claras y bien definidas para garantizar la administración, operación y funcionamiento de todos los sistemas de agua potable de ese entonces que brindaban una cobertura muy limitada a la ciudad. En la década de los 20, los concejos cantonales de Ambato y Pelileo concretaron los sistemas de agua potable y en Ambato se inició el tratamiento de las aguas de acuerdo a normas europeas. [4]

Posteriormente, con la idea clara de la importancia de los servicios básicos para el desarrollo de la ciudad y para precautelar la salud de sus habitantes, teniendo como base la experiencia obtenida al transcurrir de los años, se inició una serie de estudios, planes y proyectos para extender estos servicios concomitantemente al crecimiento poblacional. [4]

En el año 2000, EMAPA empieza a tomar acciones correctivas y preventivas para mejorar esos sistemas. Al momento existe un servicio permanente, con un mejor estándar, que se ha alcanzado poniendo orden en la infraestructura e instalaciones.

Sin lugar a dudas EP-EMAPA-A ha evolucionado, tanto en el servicio que brindan como en la adquisición de modernos equipos de automatización que ayudan de gran forma al control en las plantas de tratamiento y estaciones de bombeo, tomando en cuenta que la planta de tratamiento cuenta con un sistema SCADA que permite monitorear el proceso a distancia, controlar variables y registrar datos, también es cierto que no todas las estaciones de bombeo cuentan con sistemas de control que les permitan minimizar la pérdida de caudal producida por el desbordamiento de los tanques o cisternas existentes en ellas, una de estas es la estación de bombeo Miraflores, la cual presenta un ineficiente control de nivel en la cisterna que es llenada a través de la descarga Aguaján, la misma es parte de una serie de tanques que conforman el sistema de bombeo, este sistema cuenta con un PLC Siemens S7-1200, dos variadores de frecuencia Mitsubishi y Allen Bradley respectivamente y dos equipos de bombeo de similares características, que en conjunto realizan el bombeo de agua hacia la planta de tratamiento ubicada en el Casigana; sin embargo en la estación Miraflores no cuenta con un sistema que le permita controlar el desbordamiento y desperdicio de agua que se produce ocasionalmente por la descarga que llega a la cisterna. Por tanto es necesario corregir la problemática que ocasiona el ineficiente control de nivel que se produce en la cisterna ubicada en la estación de bombeo Miraflores EP-EMAPA en la ciudad de Ambato.

1.3. Delimitación

ÁREA ACADÉMICA: Electrónica

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Automatización

SUBLÍNEA: Sistemas de control automatizados e instrumentación virtual para procesos industriales de baja y alta potencia.

DELIMITACIÓN ESPACIAL: Se realizará en las instalaciones de empresa pública – empresa municipal de agua potable de la ciudad de Ambato.

DELIMITACIÓN TEMPORAL: El desarrollo del presente proyecto se realiza previo a la aprobación del perfil en un lapso aproximado de seis meses.

1.4. Justificación

La Empresa Pública – Empresa Municipal de Agua Potable de la ciudad de Ambato, requiere de forma urgente implementar un sistema automático en la estación de bombeo Miraflores, que permita controlar el nivel de la cisterna, evitando las desbordamiento y desperdicios de agua producidas como consecuencia de la variable descarga Aguaján.

Esta investigación propone minimizar los riesgos y el factor de error humano, agilizando y controlando la operación de los equipos para el buen funcionamiento de dichos procesos dentro de la estación de bombeo.

Mediante la automatización de procesos industriales se proyecta conseguir la aplicación de nuevas tecnologías, las mismas que nos permiten encadenar operaciones mecánicas, informáticas y electrónicas.

Optimizando el control y adquisición de datos necesarios para el mejoramiento continuo de la estación, por tanto se planea diseñar y programar un sistema en lazo cerrado, que permita controlar el nivel de la cisterna mediante un sensor ultrasónico para mantener el correcto bombeo por medio del monitoreo de sus variadores.

Esta investigación brindara un estudio completo y detallado a la persona encargada del área de automatización en la EP-EMAPA, el mismo que se entregara semanalmente mediante informes, los mismo que expresaran el avance en la investigación, estos constaran de diagramas, planos, cotización y programación para los equipos a utilizarse.

Su factibilidad radica en que la EP-EMAPA cuenta con los equipos, materiales y apoyo tecnológico que nos permitirá desarrollarlo con éxito, además se cuenta con el aval de la empresa para acceder a las instalaciones, así como a la información requerida.

Realizar el control del nivel de la cisterna de la estación, genera múltiples ventajas para la empresa y la ciudadanía, por tanto se proyecta diseñar, programar e implementar un

sistema de control, que permitirá automatizar el bombeo desde la estación Miraflores, así como también tener acceso a los datos mediante la red modbus RS485.

1.5. Objetivos

Objetivo general:

- Automatizar el sistema de bombeo de agua a través del control de nivel de la cisterna de la estación Miraflores EP-EMAPA.

Objetivos Específicos:

- Analizar datos relacionados a la capacidad de la cisterna ubicada en la estación de bombeo Miraflores.
- Definir las características que debe cumplir el dispositivo para el control de nivel que será parte de la automatización de bombeo de agua.
- Realizar los diagramas de procesos e instrumentación (P&ID) y planos eléctricos del sistema a automatizarse.
- Realizar las pruebas y evaluación de funcionamiento del sistema previo a su implementación.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Investigativos

El presente estado revisa algunos ejemplos relevantes de la bibliografía disponible, que permita identificar en forma general la atención investigativa y analítica que está teniendo en las dos décadas recientes el tema de la automatización del bombeo de agua. Ante la imposibilidad de ser una revisión exhaustiva de la bibliografía disponible, se ha extraído los aspectos relevantes que resultaron ser puntos de confluencia conceptual e investigativa de la situación desde diversas perspectivas, y por ende que pueden servir como fulcros para pesquisas y trabajos posteriores.

Frente a los cambios tecnológicos que avanzan día a día, las empresas han visto la necesidad de incorporar en los procesos industriales funciones de control y supervisión, favoreciendo el surgimiento de aplicaciones de software que permiten monitorear, adquirir datos y controlar las funciones del proceso. Los sistemas de gráfica tales como pantallas, HMI, MMI, SCADA, paneles de operador son parte de las aplicaciones más simples en la actualidad. [5]

Dentro de la medición fiable del caudal de líquidos de la más diversa consistencia así como de gases y vapores juega un papel muy importante la automatización de procesos. El sistema SCADA permite verificar la efectividad del algoritmo que controla el llenado automático de los tanques para el proceso de tratamiento de agua cruda, también indica a los operadores y a la supervisión el estado en que se encuentra el proceso de dosificación. Además de constatar el correcto funcionamiento de todo el sistema de control y supervisión. [6]

Dichos sistemas deben entregar datos para poder llevar un registro de cómo trabaja y funciona la estación de bombeo de agua, permitiendo así la optimización de tiempo en los operadores y previene el desperdicio innecesario de agua.

Uno de los elementos que permite el control de agua en las cisternas es el uso de rejillas automatizadas que han logrado disminuir el paro de las bombas por obstrucción de material sólido en los rodetes y sobre cargas en los motores eléctricos, manteniendo así constante y sin interrupciones el proceso de bombeo. [7]

Tomando en consideración que el sistema de bombeo representa hasta un 95 % del consumo de energía en estos sistemas, se indica que la aplicación de mejores prácticas en la operación debe hacerse con un sentido integral, para que se tengan resultados concretos que no solo buscan un menor consumo de energía, sino que mejoran la operación del sistema de bombeo en una forma completa en todas sus componentes. [7]

Se conoce también que el correcto diseño, una buena selección y una adecuada calibración del equipo de bombeo permitirán que el proyecto se desarrolle óptimamente, para desempeñar el trabajo requerido.

Se sugiere aplicar la instalación de dos equipos de bombeo de iguales características, de manera que se instalen dos bombas, una operativa y una de reserva, la misma que funcionará cuando exista alguna anomalía en una de las bombas o cuando se le realice el respectivo mantenimiento preventivo.

Se debe realizar pruebas preliminares de bombeo en las condiciones normales y críticas de operación con el fin de detectar posibles errores y tomar las medidas correctivas. [8]

El mantenimiento de todo el equipo debe ser de carácter preventivo y debe llevarse un registro de las actividades de mantenimiento realizadas, que incluya el tipo de daño presentado, las posibles fallas, repuestos utilizados, tiempo de reparación y medidas preventivas tomadas para disminuir su ocurrencia. [8]

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1. Estaciones de bombeo.-

Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución. [9]

2.2.2. Elementos de las estaciones de bombeo.-

Los componentes básicos de una estación de bombeo de agua potable son los siguientes:

- Caseta de bombeo.
- Cisterna de bombeo.
- Equipo de bombeo.
- Grupo generador de energía y fuerza motriz.
- Tubería de succión.
- Tubería de impulsión.
- Válvulas de regulación y control.
- Interruptores de máximo y mínimo nivel.
- Tableros de protección y control eléctrico.
- Área para el personal de operación.
- Cerco de protección para la caseta de bombeo.

2.2.2.1. Caseta de bombeo.-

La caseta de bombeo debe ser adecuado para albergar el total de los equipos necesarios para la elevación del agua. Cuando fuese necesario, la caseta albergará los dispositivos de maniobra y desinfección. Debe permitir facilidad de movimientos, mantenimiento, montaje, desmontaje, entrada y salida de los equipos. [9]

La **Figura 1** muestra un esquema típico de una caseta de bombeo empleado en el área rural, constituido por bombas centrifugas de eje horizontal. Sin embargo, esta configuración puede variar de acuerdo a las condiciones particulares de cada proyecto.

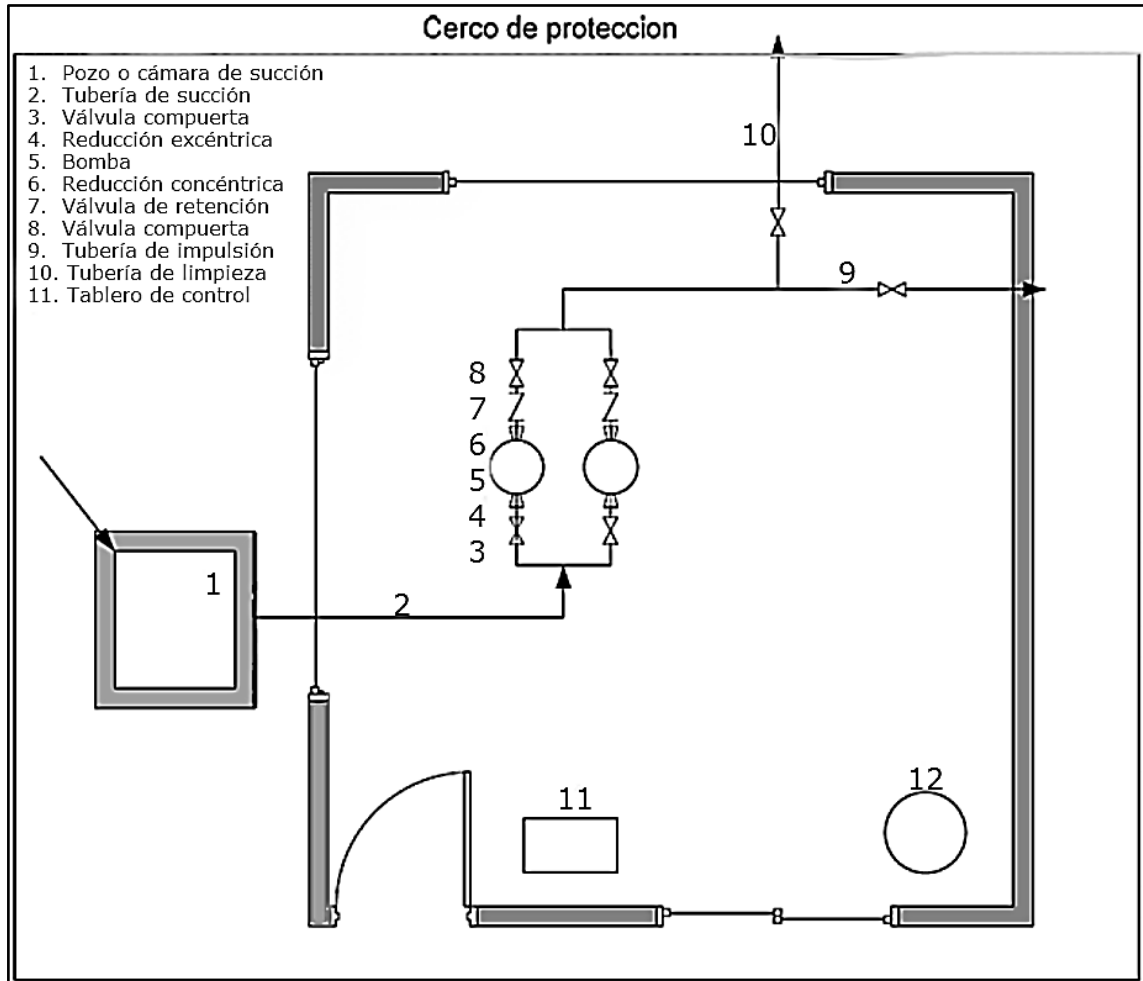


Figura 1: Esquema típico de una estación de Bombeo

Fuente: [9]

2.2.2.2. Cisterna de bombeo.-

Una cisterna es un depósito subterráneo que se utiliza para recoger y guardar agua de lluvia (aljibe) o procedente de un río o manantial. También se denomina cisterna a los receptáculos usados para contener líquidos, generalmente agua. Su capacidad va desde unos litros a miles de metros cúbicos.

Garantiza el funcionamiento hidráulico del sistema y el mantenimiento de un servicio eficiente, en función a las necesidades de agua proyectadas y el rendimiento admisible de la fuente. [10]

2.2.2.3. Sistemas de bombeo.-

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos. [11]

Número de unidades de bombeo.-

Depende del caudal de bombeo y de sus variaciones, además, de la necesidad de contar de equipos de reserva para atender situaciones de emergencia.

En situaciones donde se requiere solo un equipo de bombeo, es recomendable instalar uno idéntico de reserva, estableciendo un coeficiente de seguridad del 200%; pero si el tamaño de los equipos resulta muy grande, es recomendable incrementar el número de ellos, estableciendo coeficientes de seguridad menores, pero mayores alternativas y menores costos de operación. En tales casos puede admitirse hasta 150% como coeficiente de seguridad de los equipos. [9]

2.2.2.4. Tipos de bombas.-

Las bombas más frecuentemente usadas en el abastecimiento de agua son las bombas centrífugas, horizontales y verticales, y las bombas sumergibles.

Bombas centrífugas horizontales.-

Son equipos que tienen el eje de transmisión de la bomba en forma horizontal. Tienen la ventaja de poder ser instaladas en un lugar distinto de la fuente de abastecimiento, lo cual permite ubicarlas en lugares secos, protegidos de inundaciones, ventilados, de fácil acceso, etc. [9]

Este tipo de bomba se debe emplear en cisternas, fuentes superficiales y embalses. Por su facilidad de operación y mantenimiento es apropiado para el medio rural. Su bajo costo de operación y mantenimiento es una ventaja adicional.

Se pueden clasificar, de acuerdo a la posición del eje de la bomba con respecto al nivel del agua en la cisterna de bombeo, en bombas de succión positiva (**Figura 2**) y bombas

de succión negativa (**Figura 3**). Si la posición del eje está sobre la superficie del agua, la succión es positiva y en la situación inversa la succión es negativa.

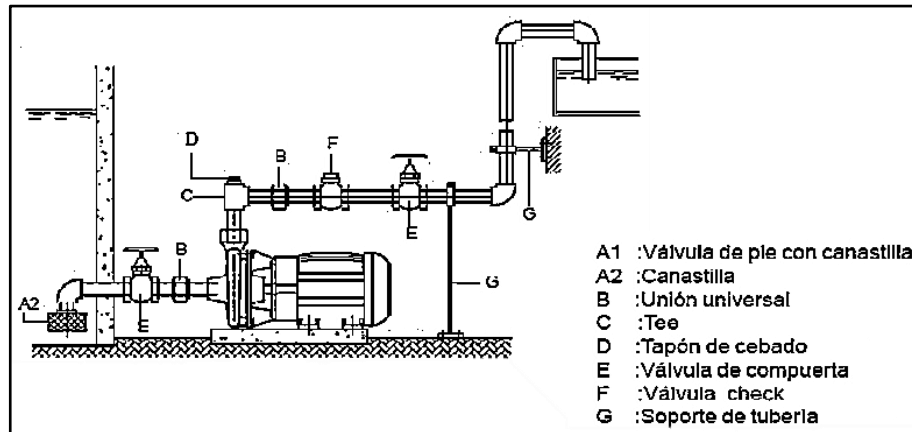


Figura 2: Bomba centrífuga de succión positiva

Fuente: [9]

La mayor desventaja que presentan estas bombas es la limitación en la carga de succión, ya que el valor máximo teórico que alcanza es el de la presión atmosférica del lugar (10,33 m. a la altura del mar), sin embargo, cuando la altura de succión es de 7 metros la bomba ya muestra deficiencias de funcionamiento.

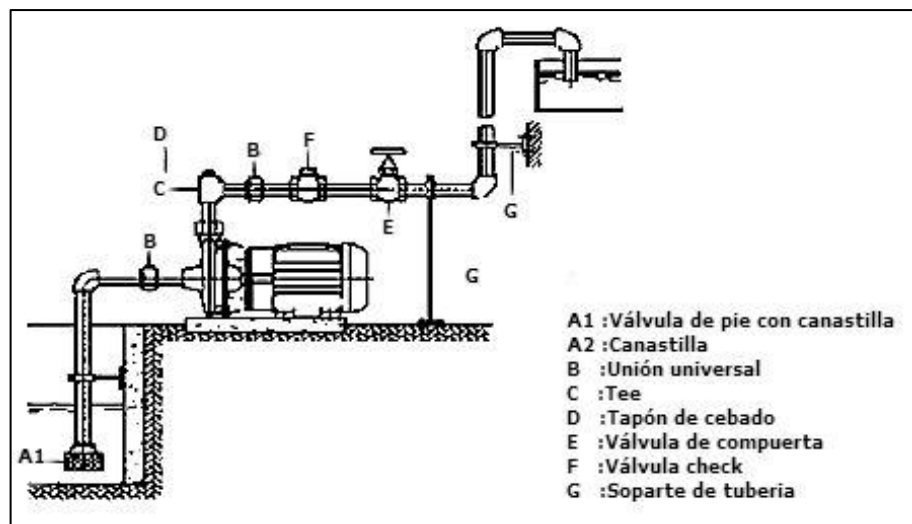


Figura 3: Bomba centrífuga de succión negativa

Fuente: [9]

De acuerdo a las variantes constructivas, estos equipos se pueden clasificar en los siguientes:

Bombas Monobloc.-

Son equipos sencillos que forman un conjunto compacto con su electromotor. Tienen una caja compacta integral, en los tamaños pequeños, y/o partida verticalmente en los de gran tamaño. La succión es axial y la descarga tangencial. Los modelos pequeños tienen conexión de succión y descarga roscada y los modelos más grandes, a bridas. Tienen dos impulsores cerrados que pueden trabajar en serie o en paralelo. Este tipo de bombas es adecuado para pequeñas instalaciones, cuya potencia no sea mayor a 10 HP.

Bombas de silla.-

Son equipos algo más complicados porque tienen cuatro partes distintas:

- a) La carcasa de la bomba, sujeta en voladizo a un soporte especial o silla, que a su vez sirve de soporte al eje de la bomba.
- b) Un motor eléctrico.
- c) Una base metálica común.
- d) Un acoplamiento elástico para los ejes.

Estas bombas también tienen dos impulsores, que pueden ser iguales o diferentes y trabajar en serie o en paralelo.

Bombas de caja partida horizontal.-

En estos equipos la caja de la bomba está dividida en dos partes según un plano horizontal que pasa por el eje de la misma. Generalmente son construidas de tamaño grande. Pueden tener dos o más impulsores, pero por lo general tienen solo uno de gran tamaño y de doble entrada, lo que obliga a bifurcar tanto la conexión de la succión como la descarga. Este tipo de bombas es adecuado para emplearlas en medias y grandes casetas de bombeo.

Bombas centrifugas verticales.-

Son equipos que tienen el eje transmisión de la bomba en forma vertical sobre el cual se apoya un determinado número de impulsores que elevan el agua por etapas. Deben ubicarse directamente sobre el punto de captación, por lo cual casi se limita su uso a pozos profundos.

Estas bombas se construyen de diámetros pequeños, a fin de poder introducirlas en las perforaciones de los pozos, los cuales exigen diámetros pequeños por razones de costo.

Una unidad de bombeo de un pozo consta seis partes principales (**figura 4**), que son:

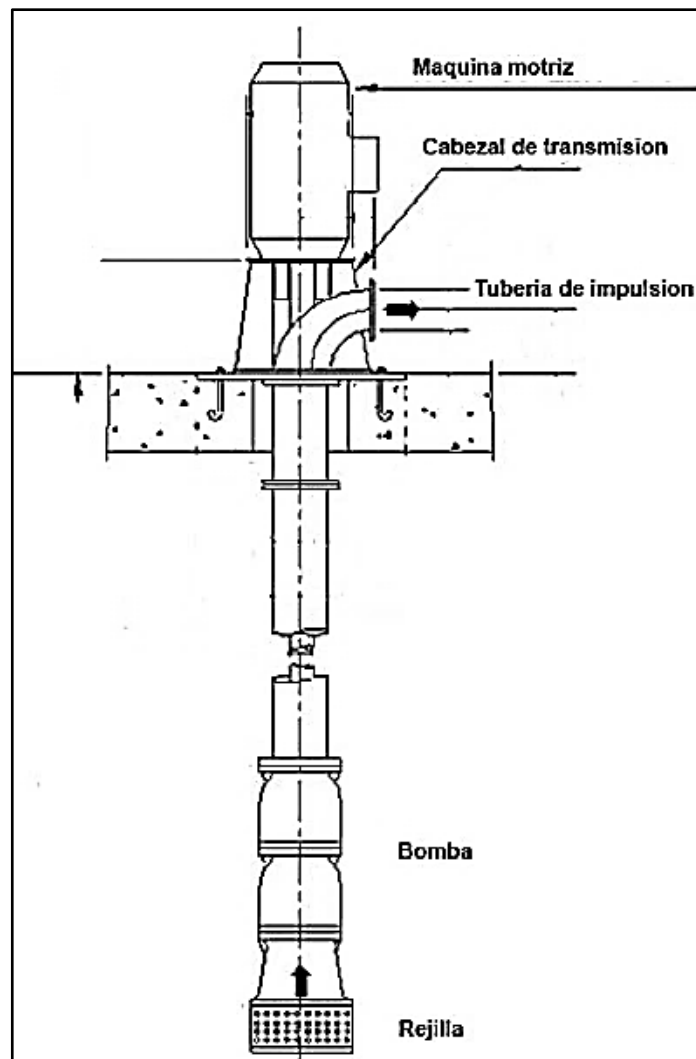


Figura 4: Bomba centrífuga de eje vertical

Fuente: [9]

- a) la máquina motriz,
- b) el cabezal de transmisión,
- c) eje de transmisión,
- d) la columna o tubería de impulsión,
- e) la bomba, y
- f) la tubería de succión (ver **Figura 4**).

Bombas sumergibles.-

Son equipos que tienen la bomba y motor acoplados en forma compacta, de modo que ambos funcionan sumergidos en el punto de captación; se emplean casi exclusivamente en pozos muy profundos, donde tienen ventajas frente al uso de bombas de eje vertical.

2.2.2.5. Tubería y accesorios de succión.-

La tubería de succión debe ser la más corta posible, evitándose al máximo, piezas especiales como curvas, codos, etc. y siempre ascendente hasta alcanzar la bomba. Se pueden admitir pequeños tramos perfectamente horizontales.

2.2.2.6. Válvulas.-

Las válvulas son una parte muy importante del diseño de sistemas de tuberías. Sus funciones principales son el cierre y la regulación. [8]

La selección de la válvula más adecuada en cada caso puede llegar a ser bastante complicada, debido a la gran variedad de modelos y precios que existen en el mercado. [11]

Entre las válvulas que se pueden numerar tenemos:

- Válvulas de compuerta
- Válvulas de mariposa
- Válvulas esféricas y cónicas
- Válvulas de globo y aguja
- Válvulas anti retorno

- Válvulas de membrana
- Válvulas reguladoras de presión
- Válvulas limitadoras de presión
- Etc.

2.2.2.7. Cavitación.-

La cavitación constituye un fenómeno importante en la selección y operación de bombas, válvulas y otros equipos de control. Puede provocar un mal funcionamiento de la instalación y el deterioro de los elementos mecánicos, dando lugar a costosas reparaciones.

Básicamente, la cavitación se produce cuando en algún punto la presión del fluido desciende por debajo de la presión de vapor, formándose entonces burbujas de vapor por ebullición. Se ha comprobado que la presencia de gases disueltos y suciedad favorecen la aparición de estas burbujas, actuando como núcleos de formación.

Frecuentemente la cavitación está asociada también con las estructuras verticales turbulentas de las zonas de separación. Las bajas presiones en el centro de los vórtices, combinadas con la depresión de la separación, pueden causar la aparición de burbujas de vapor. Cuando estas burbujas se ven afectadas por una presión superior, se vuelven inestables y colapsan violentamente. Esto provoca ruido, vibraciones y erosión. Una fuerte cavitación reduce el rendimiento de los equipos hidráulicos, pero incluso una cavitación en fase incipiente puede, con el tiempo, llegar a erosionar seriamente las superficies metálicas. [7]

2.2.2.8. Transitorios.-

Los transitorios tienen lugar cuando se ponen en funcionamiento o paran las bombas de una instalación, al abrir y cerrar válvulas, en los procesos de llenado y vaciado de tuberías, etc. Es decir, siempre que se produce una variación brusca en la velocidad del fluido. La fuerza necesaria para disipar la cantidad de movimiento de un líquido al

disminuir su velocidad causa un aumento de presión que se transmite por las tuberías con la velocidad de propagación de las ondas en el fluido correspondiente.

La magnitud del incremento de presión depende de la rapidez del cambio y de la velocidad de la onda. Por ejemplo, si se tiene agua circulando por una tubería de acero, una disminución brusca de su velocidad en 1m/s supone un aumento de presión de unos 10bar. Dadas las velocidades usuales en instalaciones de bombeo, que pueden llegar hasta 5 m/s, la interrupción brusca del flujo puede causar sobrepresiones excesivas. [12]

2.2.2.9. Sistema de Automatización de Bombeo.-

Para estaciones de bombeo de agua, Automatización Avanzada S.A. tiene una oferta de centro de control de motores. Estos pueden contar con interruptores extraíbles o fijos con arrancadores directos y suaves. Así mismo, se ofrece una gran variedad de instrumentación como son sensores y switches de flujo, nivel, presión, turbiedad, pH, cloro residual, conductividad. [2]

Centro de Control de Motores Fijo.-

Esta modalidad de centro de control de motores es una oferta económica para el arranque de motores, que consiste en colocar en un armario los arranques suaves, arranques directos, variadores de velocidad u otros elementos eléctricos de montaje fijo. [13]

Centro Control de Motores Extraíbles.-

Esta modalidad de centro de control de motores es una oferta que permite tener el arranque de motores en carros extraíbles los cuales pueden ser intercambiables con carros de otras celdas que tengan la misma potencia.

2.2.2.10.Elementos para el sistema de control.-

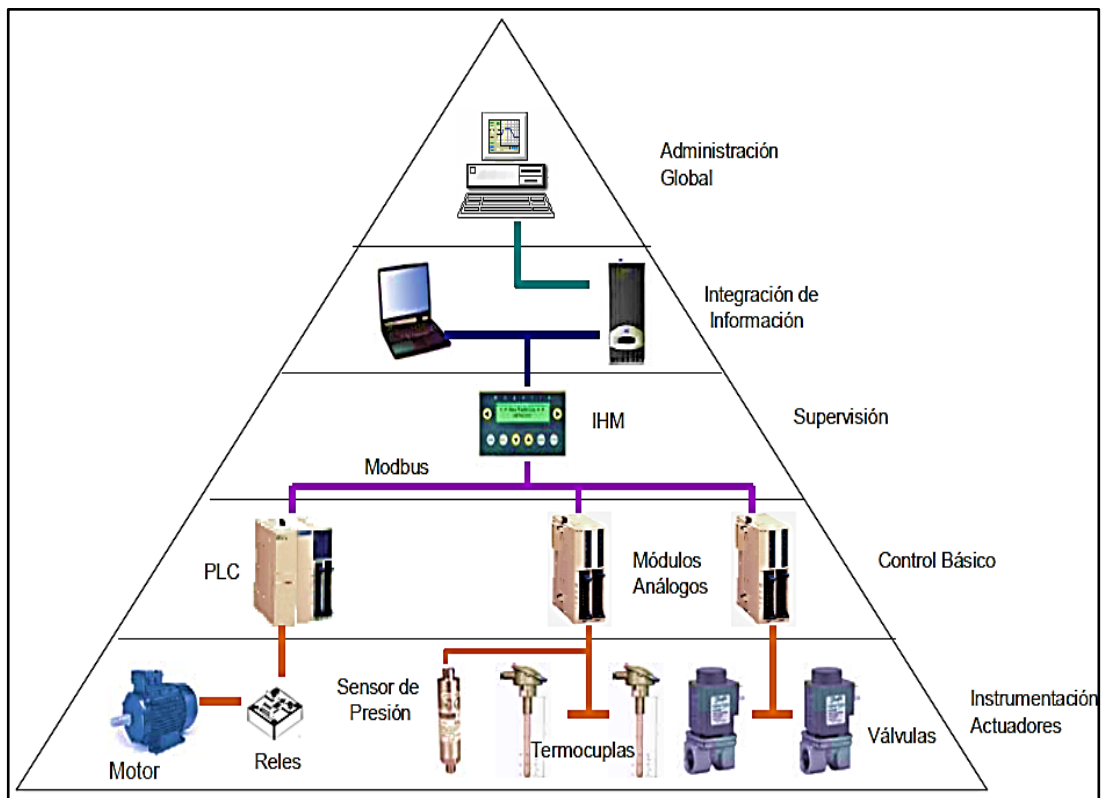
Los elementos esenciales que aparecen en un sistema de control por realimentación son: primero, un elemento que mide las variables de estado (“output”); segundo, un medio de comparar esa salida con el valor deseado para la misma; y tercero, un método de

realimentar esta información a la entrada (variables de control) de tal forma que se minimiza la desviación de la salida respecto al nivel deseado.

Los sistemas o procesos de control suelen ser representados de modo conveniente mediante diagramas funcionales en los que se visualiza el papel de cada uno de los órganos del sistema. [8]

2.2.3. Pirámide de Automatización.-

Cuando se plantea una tarea de control, es necesario pensar en la interacción fluida de los componentes de la pirámide de la automatización (ver **Figura 5**) en este caso específico se trata de la relacionar niveles de dicha pirámide.



*Figura 5: Niveles de la Pirámide de Automatización
Fuente: [5]*

2.2.3.1. Instrumentación y actuadores:

En esta etapa se cubre el funcionamiento del sensor necesario para la automatización de la estación, el cual es un sensor ultrasónico de nivel.

Motores.-

Los motores para bombas se clasifica en dos grupos principales: de combustión y eléctricos.

Motores eléctricos.-

Estos motores utilizan la corriente eléctrica como fuente exterior de energía. Los más empleados en abastecimiento de agua son los de velocidad constante. Es decir, se puede considerar únicamente los dos tipos siguientes:

- a) Motor síncrono de velocidad rigurosamente constante, dependiente del número de polos y al ciclaje o frecuencia de la línea de alimentación.
- b) Motor de inducción, es decir, asíncrono con velocidad dependiente al valor de la carga.

Los motores sincrónicos (ver **Figura 6**), pueden resultar más económicos para accionamientos de gran potencia y baja velocidad. En todo caso, la eficiencia del motor síncrono es ligeramente mayor que el motor de inducción. Las desventajas de estos motores están en que requieren una operación más cuidadosa y no soportan bien las caídas de tensión.

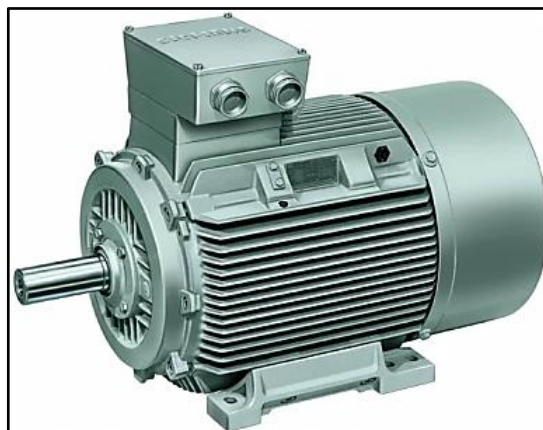


Figura 6: Motor síncrono

Fuente: Catálogo Siemens

Los motores de inducción con rotor bobinado, particularmente los de tipo de rotor en jaula o cortocircuito, ya sea común o de alto par de arranque, constituyen en la actualidad las máquinas motrices más empleadas en la industria. La ventaja de estos motores está en su simplicidad, fiabilidad y economía.

Los motores eléctricos por su principio sencillo y construcción robusta, no exigen grandes requisitos de mantenimiento, evitando costosas interrupciones en el servicio que prestan y los gastos consiguientes de reparación, si se tiene el cuidado de emplearlas correctamente, sobre todo en lo que se refiere las siguientes características de placa: potencia, corriente, tensión, frecuencia, velocidad, número de fases, temperatura, lubricación y condición del medio ambiente donde opera.

Motores de combustión interna.-

La potencia es desarrollada al quemar el combustible dentro de los cilindros del motor. Se pueden emplear los motores diésel o de encendido por bujías, alimentados por gas natural o propano. En algunos casos se han instalado motores a gasolina, pero su uso no es recomendable por los problemas derivados del almacenamiento del combustible.

Sensores y transductores.-

Elementos que convierten magnitudes físicas en magnitudes eléctricas, que luego son transferidas a la parte de mando, para así conocer el estado del sistema.

Tipo y Material del elemento sensor.-

- Resistencia (temperatura, luz, posición, nivel, humedad, etc.)
- Par de cables (temperatura)
- Capacitancia (nivel, humedad, posición etc.)
- Ultrasonido (caudal, posición, velocidad, nivel, etc.)
- Radar (velocidad, posición, velocidad, nivel, etc.)
- Electromagnetismo (caudal)
- Magneto-resistencia (corriente, posición, detección de metales, etc.)
- Inductancia (finales de carrera, detección de metales, switch de nivel etc.)

Sensor ultrasónico de medición de nivel.-

El principio con el cual los sensores ultrasónicos producen mediciones es mediante la evaluación del tiempo que el sonido realiza en el trayecto entre transmisión y recepción (detección directa), o en un proceso de chequeo si la señal transmitida ha sido recibida (reflexión). [12]

Sensor mediante barrera.-

El transmisor y el receptor están montados uno frente al otro. Si se interrumpe el haz ultrasónico por un objeto, se activa la salida de conmutación.

Sensor por Reflexión.-

El transmisor y el receptor están montados en la misma carcasa. El haz ultrasónico es reflejado hacia el receptor mediante una placa reflectora fija. [13]

2.2.3.2. Control Básico:

Describe el modo de funcionamiento del PLC que se emplea para el sistema.

Campo y Procesos.-

Equipos electrónicos de control industrial individual. Para seleccionar el controlador se debe tener en cuenta el número y tipo de entradas/salidas por controlador, además de las tareas de procesamiento (lógicas, matemáticas, temporizadores, tratamiento de datos), como de comunicación. [12]

Tenemos las siguientes opciones:

- PLC: Control Lógico Programable.
- RTU: Unidad Terminal remota.
- IED: Instrumentos Electrónicos Inteligentes.
- DAQ: Tarjeta de adquisición de datos (solo medición)

PLC Siemens S7 1200.-

El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización. Gracias a su diseño compacto ver **Figura 7**, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7- 1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones.



Figura 7: PLC Siemens S7-1200

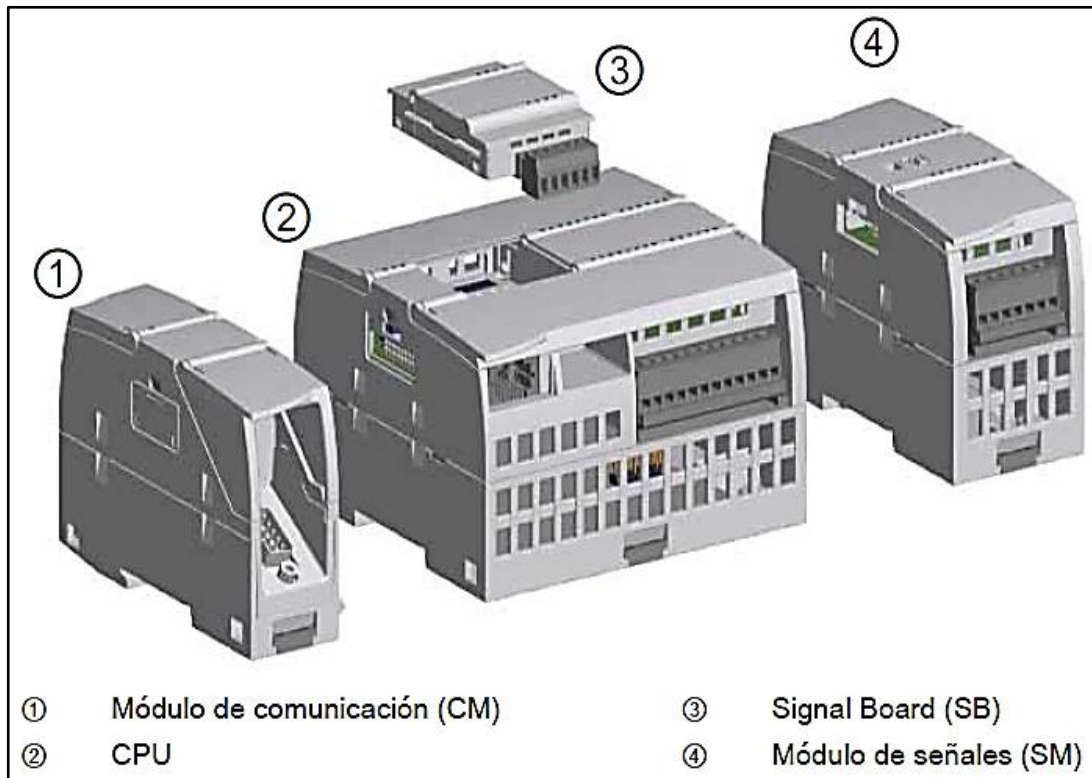
Fuente: [14]

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC. Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

Estructura de Hardware del S7-1200.-

El hardware completo SIMATIC S7-1200 incorpora clips para un montaje rápido y fácil en perfil DIN de 35mm. Además, estos clips integrados son extraíbles, lo que significa que pueden funcionar como taladros de montaje en caso de no utilizarse perfil soporte.

El hardware SIMATIC S7-1200 consta de cuatro módulos que se visualizan en la **Figura 8**, puede instalarse, con absoluta flexibilidad, tanto en posición horizontal como vertical. [14]



① Módulo de comunicación (CM) ③ Signal Board (SB)
② CPU ④ Módulo de señales (SM)

Figura 8: Estructura de Hardware del PLC

Fuente: [14]

Las mayores CPU admiten la conexión de hasta ocho Módulos de Señales, ampliando así las posibilidades de utilizar E/S digitales o analógicas adicionales

- Conector de alimentación
- Conectores extraíbles para cableado de usuario (detrás de las tapas)
- Led's de estado para las E/S integradas.
- Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU)

Para comunicarse con una programadora, la CPU dispone de un puerto PROFINET integrado. La CPU puede comunicarse con paneles HMI o una CPU diferente en la red PROFINET.

Señales integradas.-

Un Módulo de Señales Integradas puede enchufarse directamente a una CPU. De este modo pueden adaptarse individualmente las CPU, añadiendo E/S digitales o analógicas sin tener que aumentar físicamente el tamaño del controlador. El diseño modular de SIMATIC S7-1200 garantiza que siempre se podrá modificar el controlador para adaptarlo perfectamente a cualquier necesidad. [14]

Módulos de comunicación.-

Toda CPU SIMATIC S7-1200 puede ampliarse hasta con 3 Módulos de Comunicación. Los Módulos de Comunicación RS485 y RS232 son aptos para conexiones punto a punto en serie, basadas en caracteres.

Esta comunicación se programa y configura con sencillas instrucciones, o bien con las funciones de librerías para protocolo maestro y esclavo USS Drive y Modbus RTU, que están incluidas en el sistema de ingeniería SIMATIC STEP 7 Basic. [14]

Memoria.-

Permite seleccionar el tamaño de la memoria de programa y la de datos Hasta 50 KB de memoria de trabajo en el controlador, con libre configuración del tamaño de memoria de programa y de datos de usuario, pueden definirse hasta 2048 Bytes como remanentes.

SIMATIC Memory Card.-

Con la SIMATIC Memory Card opcional pueden transferirse fácilmente programas a varias CPU. La tarjeta también puede utilizarse para guardar diversos archivos o para actualizar el firmware del controlador, Módulos de señales y Módulos de Comunicación.

Variadores de frecuencia.-

Se trata de dispositivos electrónicos, que permiten el control completo de motores eléctricos de inducción; los hay de corriente continua (c.c.) (variación de la tensión), y de corriente alterna (a.c.) (variación de la frecuencia); los más utilizados son los de

motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar (jaula inversores ver **Figura 9**) o variadores de velocidad. [15]

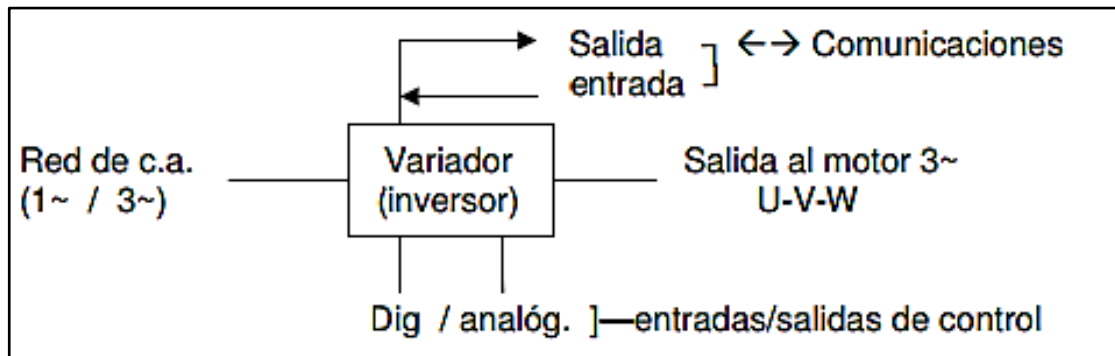


Figura 9: Señales de operación del Variador

Fuente: [15]

Red de suministro.-

Acometida de corriente alterna (c.a.), monofásica en aparatos para motores pequeños de hasta 1,5 kW (2 C.V. aproximadamente), y trifásica, para motores de más potencia, hasta valores de 630 kW o más. [15]

Entradas y salidas (E/S ó I/O).-

Diferentes conexiones de entradas y salidas de control; pueden ser digitales tipo todo o nada (contactos, pulsadores, conmutadores, contactos de relé...) o analógicas mediante valores de tensión (0...10 V o similares) e intensidad (4...20 mA o similares). Además puede incluir terminales de alarma, avería, etc.

Comunicaciones.-

Estos dispositivos pueden integrarse en redes industriales, por lo que disponen de un puerto de comunicaciones, por ejemplo RS-232, RS-485, red LAN, buses industriales (Profibus...) o conexiones tipo RJ-45 o USB para terminales externos y ordenadores. Cada fabricante facilita el software de control, directo o mediante bus de comunicaciones. Que permitirá el control, programación y monitorización del variador (o variadores) en el conjunto de aparatos de control empleados. [15]

Salida.-

Conexión al motor, generalmente de tres hilos (U-V-W) para conexión directa en triángulo o estrella según la tensión del motor.

Diagrama en bloques de un variador.-

El diagrama de bloques que aparece en la **Figura 10** se encuentra algunos elementos que son mencionados a continuación:

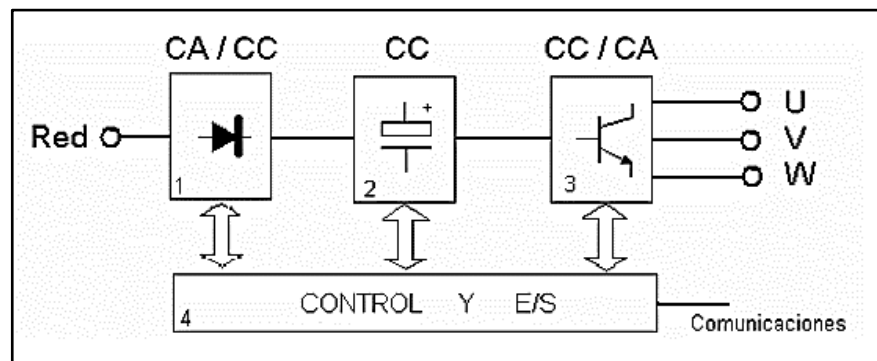


Figura 10: Diagrama en bloques de un Variador

Fuente: [15]

1. Rectificador: partiendo de la red de suministro de corriente alterna (c.a.), monofásica o trifásica, se obtiene corriente continua (c.c.) mediante diodos rectificadores.
2. Bus de continua: condensadores de gran capacidad (y a veces también bobinas), almacenan y filtran la corriente continua (c.c.) rectificada, para obtener un valor de tensión continua estable, y reserva de energía suficiente para proporcionar la intensidad requerida por el motor.
3. Etapa de salida: desde la tensión del bus de continua, un ondulator convierte esta energía en una salida trifásica, con valores de tensión, intensidad y frecuencia de salida variables. Como elementos de conmutación, se usan principalmente transistores bipolares (BJT), CMOS o similares, IGBT, tiristores (SCR), GTO... etc. Las señales de salida, se obtiene por diversos procedimientos como troceado,

mediante ciclo convertidores, o señales de aproximación sinodal mediante modulación por anchura de impulsos PWM.

4. Control, Entradas y Salidas (E/S): circuitos de control de los diferentes bloques del variador, protección, regulación... y entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. Además se incluye el interfaz de comunicaciones con buses u otros dispositivos de control y usuario. [15]

Variador de frecuencia Mitsubishi F700.-

Las excelentes especificaciones del F700 (ver **Figura 11**) hacen que este VFD de Mitsubishi Electric sea absolutamente imprescindible para sus sistemas de mecanismo. El inversor del F700 está fabricado para optimizar el control de motor trifásico, lo cual ahorra energía para prácticamente todas las aplicaciones de uso general.

Características del Variador.-

- Diseños de cerramiento NEMA 1 UL Tipo 1: el mecanismo puede montarse como una unidad independiente.
- BACnet MS/TP integrada: no se requiere ninguna tarjeta opcional.
- Programas de PLC estándar con GX Developer: Soluciones de control para bombas de secuencia y lógica de relé para interruptor final amortiguador, por mencionar solo algunos.
- Opción de E/S doble: útil cuando se usa el PLC para funciones avanzadas.
- Entrada monofásica: indicación UL/cUL para usar con suministro de entrada monofásica.

- Programación fácil: llevada a niveles más altos con el nuevo dial de programación DU07 y el software de programación FR-Configurator.
- Arranque Windmill: F700 mide la onda de ranura del motor residual para determinar la velocidad y la dirección de giro de un motor en punto muerto y puede controlarlo rápidamente sin problemas cuando sea necesario, sin importar el sentido en que esté girando.
- Mayor ahorro de energía: Una versión mejorada del famoso software de optimización de energía de Mitsubishi Electric aumenta la eficiencia del motor a niveles sin precedentes y maximiza inteligentemente el ahorro de energía.
- Regulación de caída de alimentación: Permite que el inversor continúe funcionando durante interrupciones cortas de la fuente de alimentación, lo cual disminuye las molestas desconexiones.
- Eliminación de sobretensión: El F700 mide los niveles de bus de DC durante la desaceleración y controla la velocidad del mecanismo para eliminar las falsas desconexiones.
- Capacidad de E/S remota: La E/S del mecanismo puede configurarse en una red para que funcione independientemente del mecanismo, lo cual disminuye los costos y permite un uso más eficiente de los nodos de red disponibles.
- Conexiones RS-485 independientes: Permite comunicaciones seriales y el funcionamiento del teclado al mismo tiempo sin tener que contar con opciones adicionales. F700 es compatible con RTU Modbus, así como con el protocolo estándar de Mitsubishi Electric.



Figura 11: Variador Mitsubishi F700

Fuente: Catalogo Mitsubishi

Variador de frecuencia Allen Bradley Power Flex 700s.-

Los variadores de CA PowerFlex® 700S (ver **Figura 12**) ofrecen integración optimizada para las aplicaciones de sistemas de variadores y control de variadores coordinadas y autónomas más exigentes. El variador de CA PowerFlex 700S con la opción DriveLogix™ combina el poderoso rendimiento y el control flexible de los variadores de CA PowerFlex con un motor Logix de alto rendimiento para producir una solución de variador y control altamente funcional y rentable.

Características

- Clasificaciones de alimentación eléctrica
 - De 200 a 240 V: De 0.75 a 66 kW / 1 a 100 Hp / 4.2 a 260 A
 - De 380 a 480 V: De 0.75 a 800 kW / 1 a 1250 Hp / 2.1 a 1450 A
 - De 500 a 600 V: De 0.75 a 1500 kW / 1 a 1600 Hp / 1.7 a 1500 A
 - 690 V: De 45 a 1500 kW / 50 a 1600 Hp / 77 a 1500 A

- IP20 NEMA /UL tipo abierto e IP21 NEMA/UL tipo 1
- Control V/Hz, control vectorial sin sensores, control vectorial del flujo
- Los variadores Zero Stacking™ o el montaje lado a lado permite ahorrar espacio en el panel y reduce los costos de instalación
- Los bloques de terminales de control separables permiten un cableado sencillo y una desconexión rápida
- Los ajustes de voltaje globales optimizados permiten la configuración rápida en cualquier lugar del mundo
- Capacidad de bus común
- Vínculo de fibra óptica SynchLink™ que ofrece un alto nivel de coordinación de los variadores y transferencia de datos
- Configuraciones de bus común de corriente alterna o corriente continua para soluciones autónomas o de múltiples variadores
- La biblioteca de funciones del usuario proporciona funciones lógicas sin un PLC
- Control incorporado DriveLogix™ opcional que permite programar aplicaciones y controlar funciones auxiliares
- Configuración y programación mediante teclado LCD integral opcional, teclado remoto, software DriveTools™ SP o software DriveExplorer™
- Premier Integration con variadores de corriente alterna PowerFlex® usa la plataforma de control Logix para simplificar la programación de parámetros y tags y reduce el tiempo de desarrollo

Opciones de seguridad incorporadas disponibles

- La opción de desconexión de par segura tiene certificación PLe/SIL3 Cat 3. Desconecta la potencia de giro al motor sin desconectar la alimentación eléctrica desde el variador para un arranque más rápido después de una demanda en el sistema de seguridad. Todas las opciones de seguridad están disponibles como juego para instalación del usuario



Figura 12: Variador Allen Bradley Power Flex 700s

Fuente: Catalogo Allen Bradley

Regulación en lazo abierto o cerrado.-

El conjunto variador-motor (**Figura 13**), se conectan directamente, y el propio variador, basándose en las señales que recibe (intensidad, fases, velocidad, respuesta del motor...) regula todo el proceso según los parámetros fijados. Otra forma de control, es tomando una muestra real del motor (mediante captadores tipo encoders o similares) y realizar el control mediante lazo o bucle cerrado tipo PI, PID etc., que se denomina servosistema (**Figura 14**):

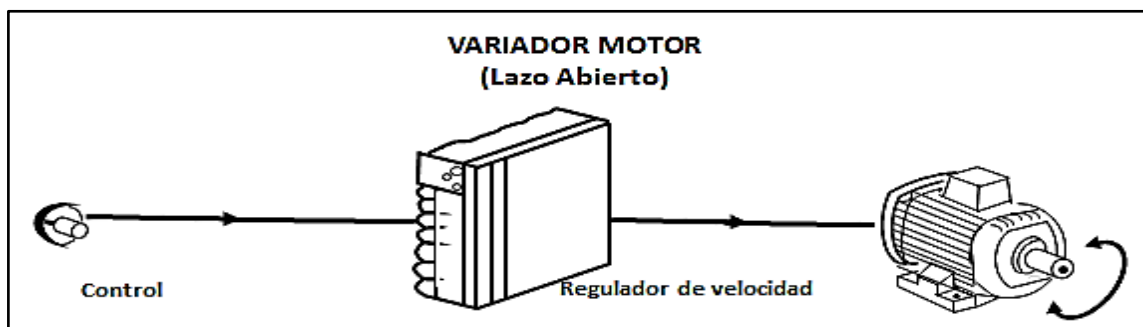


Figura 13: Regulación en lazo abierto

Fuente: Viviana Jácome

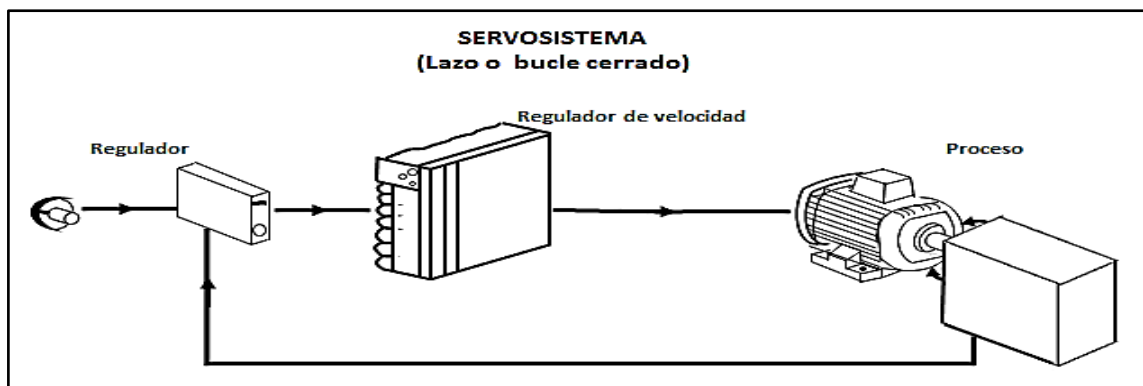


Figura 14: Regulación en lazo cerrado

Fuente: Viviana Jácome

2.2.3.3. Supervisión:

La supervisión de este proyecto se realiza a través de la interfaz hombre-máquina. En esta etapa se describe el software usado para la configuración del HMI y las diferentes

pantallas que se presentan para la supervisión del trabajo. Además se describe el protocolo MODBUS necesario para la comunicación con la etapa de control básico.

HMI.-

Significa “Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. Tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso.

2.2.3.4. Integración de información:

Se encarga de la planificación y control de la gestión de procesos.

Control.-

Utilizando un sistema de comunicaciones industrial de alta capacidad de información: Control en Tiempo Real de múltiples estaciones remotas, normalmente se suele utilizar una RTU configurada como maestra cuando las estaciones están a grandes distancias.
[12]

Gestión.-

Equipamiento de diseño, misión y supervisión del proceso, donde se establecen las consignas (setpoint) que seguirán los niveles inferiores. Aquí se permite a los operadores del sistema la visualización, operación, monitoreo, registro y evaluación de la información recolectada y enviada por los aparatos de campo.

2.2.3.5. Administración global:

Están los sistemas que permiten. La generación de toma de decisiones a nivel gerencial dentro de la empresa.

2.3. Propuesta de Solución

La presente propuesta mejora el sistema de bombeo de agua potable de la estación de bombeo Miraflores de la Empresa Pública – Empresa Municipal de Agua Potable de la ciudad de Ambato, a través del control de nivel de la cisterna, mediante la implementación de un sensor ultrasónico, que con la ayuda de un PLC y Variadores controlan el bombeo de agua potable, hacia los tanques de almacenamiento, el mismo que evitará desperdicios de agua potable y daños de recursos como equipos de control, bombeo e infraestructura.

CAPITULO 3

METODOLOGÍA

El presente proyecto es una investigación de tipo aplicada, ya que admite analizar y resolver una realidad, necesidad o problema en el área donde se localiza el objeto de estudio. La investigadora se relacionó en el entorno, con los operarios y fuentes de consultas para obtener los datos requeridos.

3.1. Modalidad de la investigación

De campo

La investigación de campo se llevó a cabo en las instalaciones de la Empresa Pública - Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Ambato y permite reunir información importante sobre los principales problemas e inconvenientes que presenta actualmente en la estación de bombeo Miraflores debido al ineficiente control del nivel de la cisterna.

Aplicada

Esta investigación asumió la característica de aplicada ya que se implementó y monitoreó el alcance del mismo, brindando así el control del sistema de bombeo de la estación de bombeo Miraflores.

Bibliográfica

Se sustentó la base teórica de la investigación, mediante consultas a: fuentes bibliográficas, textos, catálogos de dispositivos, revistas tecnológicas, apuntes de operario, documentos varios, así como también fuentes informáticas válidas para nuestro propósito.

3.2. Población y muestra

En virtud de que el universo de valores de caudal que ingresan a la cisterna de la estación de bombeo son infinitos y con los datos que proporciona la curva de operación de bombas, se estimó los parámetros del sensor para controlar el nivel de agua en la cisterna de la estación de bombeo Miraflores, dichos parámetros se obtuvieron a través de una serie de mediciones que permitieron conocer las dimensiones de la cisterna, iniciando así la recolección de datos, para ello con la ayuda de una plomada (pesa de metal colgada de una cuerda) y mediante consecutivas pruebas de llenado y vaciado de la cisterna se midió la altura del nivel del agua en la misma, para obtener la altura máxima se permitió el acceso del caudal que proviene de la descarga Tilulum y con el equipo de bombeo apagado la cisterna llegó hasta su nivel más alto, de la misma manera para obtener la altura de agua mínima se procedió a cerrar las válvulas de acceso de caudal y con el equipo de bombeo encendido la cisterna llegó al nivel mínimo con el que pueden trabajar las bombas sin sufrir daño alguno, de esta manera con la recolección de información que a continuación se detalla se obtuvo los parámetros para la selección del sensor de nivel.

3.3. Recolección de la información

Para la recolección de información se aplicó el modelo teórico de control de nivel, en la **fig. 15** se observa el esquema del proceso simplificado, en donde se desea determinar la variación del nivel (h), con respecto al caudal de entrada (C_i) la salida del líquido mediante la válvula.

El caudal de salida será proporcional a la raíz cuadrada del nivel del líquido directamente sobre la válvula, por lo tanto la expresión queda definido por:

$$C_o = C \times \sqrt{H} \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

C = Contante del coeficiente de la válvula y de la apertura de la misma.

H = Nivel del líquido.

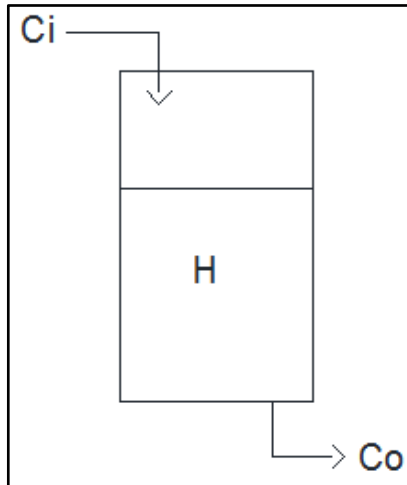


Figura 15: Control de Nivel

Fuente: Viviana Jácome

De este modo el modelo del proceso de nivel en un tanque se expresa así:

$$A \times \frac{\partial h}{\partial t} = Ci - K \times \sqrt{h} \quad \text{Ec. (2)}$$

Dónde:

A = Área del tanque.

Ci = Flujo de entrada de líquido al tanque.

La ecuación 1 representa la diferencia de caudal en el tanque, considerando que el área del tanque es uniforme. La ecuación 2 representa un modelo de un proceso no lineal, esto se debe al término de raíz cuadrada en la ecuación 1 de esta manera la solución es la liberalización del modelo matemático. La función no lineal se define de esta manera:

$$f(h) = \sqrt{h} \quad \text{Ec. (3)}$$

Usando la expansión de series de Taylor alrededor de un punto de estado estable, h_s , obtenemos:

$$\sqrt{h} = hs^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} \times hs^{\frac{-1}{2}} \times (h - hs) \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

hs = valor de h en estado estable.

Entonces reemplazando la ecuación 4 en la ecuación 2 obtenemos:

$$A \times \frac{\partial h}{\partial t} = Ci - K \times \left[hs^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} \times hs^{\frac{-1}{2}} \times (h - hs) \right] \quad \text{Ec. (5)}$$

De esta manera tenemos la ecuación del modelo de nivel del tanque linealizada en un punto de estado estable hs . Ahora definiremos la variable $y = (h - hs)$ e introduciremos la variable $u = (Fi - Fis)$.

Dónde:

Fis = valor de caudal de entrada en estado estable.

Adicionalmente debemos recordar que en estado estable $dh/dt = 0$, entonces aplicando esta condición a la ecuación 5 tenemos que:

$$Fis = C \times \sqrt{hs} \quad \text{Ec. (6)}$$

De este modo la ecuación se convierte en:

$$\tau \times \frac{\partial h}{\partial t} = K \times u - y \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde se define los valores de las constantes τ y K como sigue a continuación:

$$\tau = A \frac{2(hs)^{0.5}}{c} \quad \text{Ec. (8)}$$

$$K = \frac{2(hs)^{0.5}}{c} \quad \text{Ec. (9)}$$

La constante τ es denominada constante de tiempo mientras que la constante K ganancia de estado estable. Aplicando a la ecuación 7 la transformada de Laplace obtenemos la siguiente función de transferencia, la cual representa teóricamente el modelo de control de nivel del tanque en un punto de estado estable hs .

$$y(s) = \frac{K}{\tau s + 1} u(s) \quad \text{Ec. (10)}$$

Una vez realizado el modelo teórico y conociendo las variables que se requieren se procedió a consecutivas pruebas que permitieron validar este modelo, se registró los datos en tablas como la **tabla 2**: tabla de capacidad de la cisterna Miraflores que expone el volumen de líquido que es capaz de soportar la cisterna según sus dimensiones, de la misma manera y en base a la tabla mencionada se registraron las alturas de líquido en la cisterna y el voltaje que emitía el sensor a dicha altura en la **tabla 1** esta tabla que a continuación se expone es muy importante para que en el desarrollo del proyecto se lleve a cabo el escalonamiento de valores para la programación del PLC.

Tabla 1: Valores altura de líquido vs. Señal de voltaje de sensor

| ALTURA | VOLTAJE | ALTURA | VOLTAJE | ALTURA | VOLTAJE |
|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| 3,33 | 0,66 | 2,64 | 1,3 | 2 | 1,95 |
| 3,3 | 0,69 | 2,54 | 1,4 | 1,95 | 2 |
| 3,07 | 0,96 | 2,45 | 1,5 | 1,83 | 2,1 |
| 2,97 | 1 | 2,34 | 1,6 | 1,73 | 2,2 |
| 2,82 | 1,15 | 2,24 | 1,7 | 1,67 | 2,25 |
| 2,79 | 1,2 | 2,13 | 1,8 | 1,64 | 2,3 |

Fuente: Viviana Jácome

3.4. Procesamiento y análisis de datos

Junto con la matriz de características los valores receptados fueron analizados y tabulados estadísticamente, destacando así los parámetros de funcionamiento que permiten alcanzar los objetivos.

3.5. Desarrollo del proyecto

- Visita a las instalaciones de la empresa mediante la supervisión del personal del departamento de automatización.
- Estudio del entorno y características de los equipos de trabajo en el área de tesis.
- Selección de los dispositivos según las características y especificaciones requeridas.
- Elaboración de los diagramas de procesos e instrumentación (P&ID) del sistema a automatizarse.
- Diseño de los planos eléctricos del sistema a automatizarse.
- Programación de los dispositivos para controlar el nivel en la cisterna de estación Miraflores.
- Selección del protocolo de comunicación para el envío de datos al controlador.
- Generación de las pruebas de simulación del proceso.
- Evaluación de funcionamiento del sistema previo a su implementación.
- Implementación del sistema.

CAPITULO 4

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.1. Instalaciones de la empresa

La EP-EMAPA-A cuenta con su edificio matriz (**Figura 16**), ubicado en la ciudad de Ambato en la avenida Antonio Clavijo y Manuel Sánchez, en cual se realizan trámites de facturación, instalación de agua potable y alcantarillado, entre otros.



Figura 16: Edificio Matriz EP-EMAPA

Fuente: Viviana Jácome

Adicionalmente cuenta con 23 sistemas de agua potable (**Anexo 1**) entre estaciones de bombeo, plantas de tratamiento y tanques de almacenamiento.

4.1.1. Plantas de tratamiento

- Planta de Tratamiento Santa marianita - Barrio santa marianita
- Planta de Tratamiento Casigana - Antigua vía a Santa Rosa
- Planta de Tratamiento Tilulum – Vía a Aguaján pasando los molinos de Tilulum
- Planta de Tratamiento Huachi Grande - Huachi grande (la libertad)
- Planta de Tratamiento Santa Rosa – Santa Rosa

4.1.2. Estaciones de bombeo

- Estaciones de bombeo la Península1 – la península (junto a la subestación)
- Estaciones de bombeo Península 2 – entrada a la península
- Estaciones de bombeo Atahualpa – parroquia Atahualpa
- Estaciones de bombeo San Luis – san Luis (barrio el mirador)
- Estaciones de bombeo Socavón – el socavón (junto al complejo socavón)
- Estaciones de bombeo Quillan 1 – quillan loma
- Estaciones de bombeo Quillan 2 – quillan loma
- Estaciones de bombeo PIA Socavón – panamericana Norte
- Estaciones de bombeo Techo propio (Picaihua) – parroquia Picaihua
- Estaciones de bombeo Miraflores – Av. Circunvalación entrada a Miraflores
- Estaciones de bombeo Puerto Arturo – entrada a la parroquia puerto Arturo
- Estaciones de bombeo Curiquingue – San Antonio de Pishilata
- Estaciones de bombeo Terremoto – parroquia terremoto (junto al Estadio)
- Estaciones de bombeo Machachena – riveras del Rio Ambato (Atrás del club Tungurahua)

4.1.3. Tanque de almacenamiento

- Tanque de almacenamiento Quillan – quillan loma
- Tanque de almacenamiento El sueño – barrio Miraflores
- Tanque de almacenamiento Techo propio – bario san Vicente
- Tanque de almacenamiento Los laureles – barrio los laureles

4.2. Área de trabajo

El área de trabajo es la estación de bombeo Miraflores que entre sus funciones, tiene la recepción de una parte de la descarga de aguas claras de la planta de tratamiento Tilulum y el bombeo de las mismas a los tanques de almacenamiento La Floresta, el proceso se puede visualizar en la **Figura 17**.

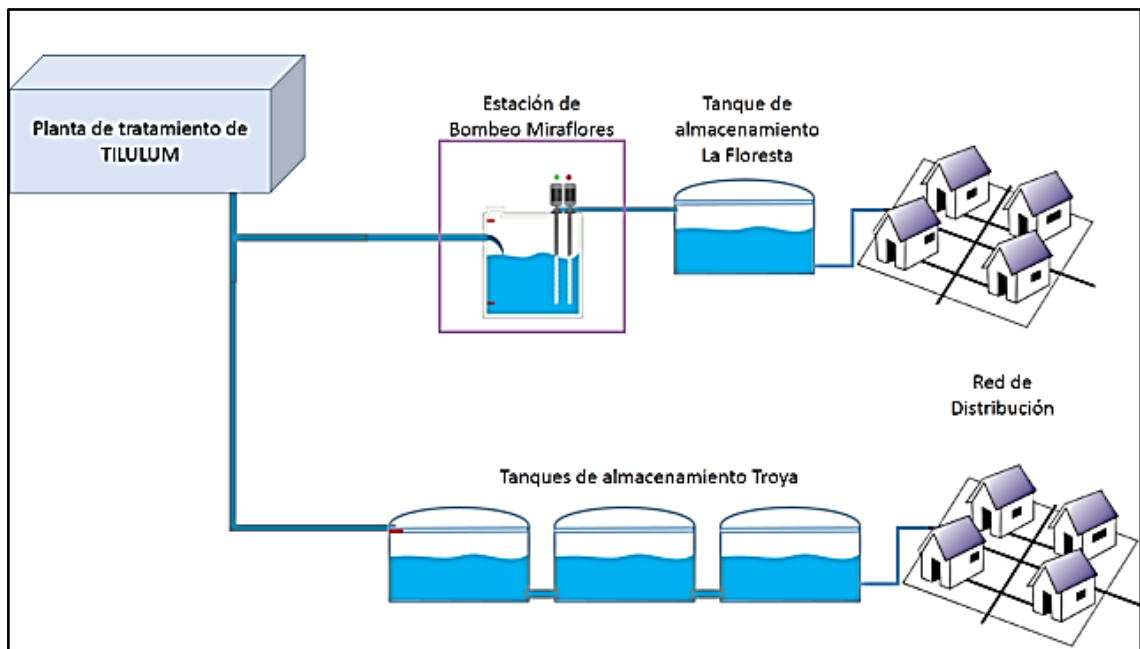


Figura 17: Esquema del Área de Trabajo

Fuente: Viviana Jácome

4.3. Área de tesis

La estación de bombeo Miraflores (ver **Figura 18**) en su estado inicial presenta válvulas reguladoras de presión que les permite controlar el ingreso de la descarga Aguaján, cuentan también con un par de equipos de bombeo de similares características que son manipulados a través de un panel que cuenta con un controlador lógico programable que a su vez permite regular la frecuencia a través de los variadores, de igual forma la cisterna cuenta con un control de nivel tipo boya a través del cual pueden controlar parcialmente el nivel del mismo.



Figura 18: Cuarto de Máquinas en la estación de bombeo Miraflores

Fuente: Viviana Jácome

La cisterna ubicada bajo el cuarto de máquinas posee la forma de un cubo cuyas dimensiones son 4x4x4 alto, ancho y largo respectivamente el mismo que se muestra en la **Figura 19, Anexo 2**, y su capacidad esta expresada en la **Tabla 2** y **Figura 20** la descarga que llega a la cisterna es controlada mediante una serie de válvulas que se ubican en la tubería de ingreso a la cisterna, este caudal denominado aguas claras es bombeado hacia los tanques de almacenamiento La Floresta mediante los equipos gemelos de bombeo, para lo cual se basan en la siguiente curva (**Figura 21**) obtenida de los valores de la **Tabla 3** para su control.

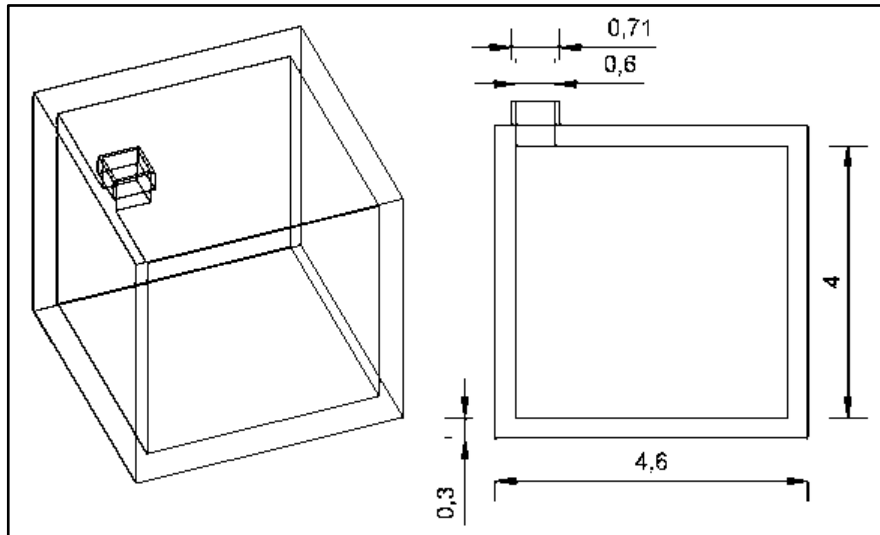


Figura 19: Dimensiones de la cisterna Miraflores

Fuente: Viviana Jácome

Tabla 2: Tabla de capacidad de la Cisterna Miraflores

| Volumen | Alto | Ancho | Largo |
|---------|------|-------|-------|
| 64 | 4 | 4 | 4 |
| 27 | 3 | 3 | 3 |
| 8 | 2 | 2 | 2 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

Fuente: Viviana Jácome

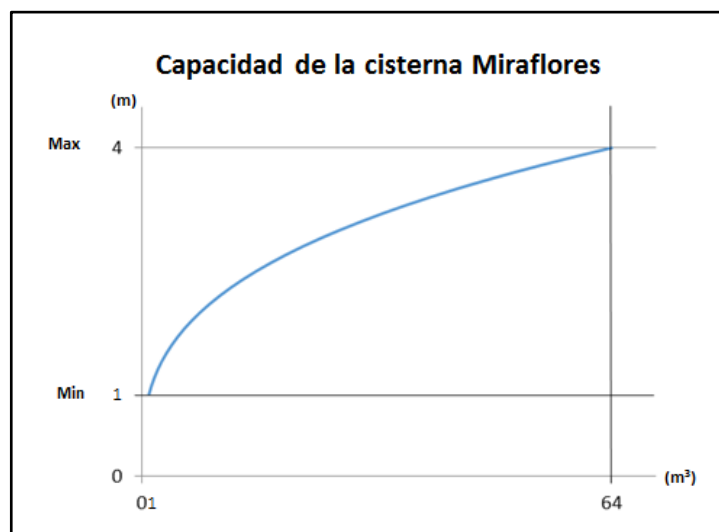


Figura 20: Curva de capacidad de la cisterna Miraflores

Fuente: Viviana Jácome

Tabla 3: Datos de operación de las Bombas

| FRECUENCIA | CAUDAL |
|------------|--------|
| Hz | lt/s |
| 60 | 62 |
| 59 | 60 |
| 58 | 57 |
| 57 | 53 |
| 56 | 49 |
| 55 | 44 |
| 54 | 38 |
| 53 | 32 |
| 52 | 23 |

Fuente: Viviana Jácome

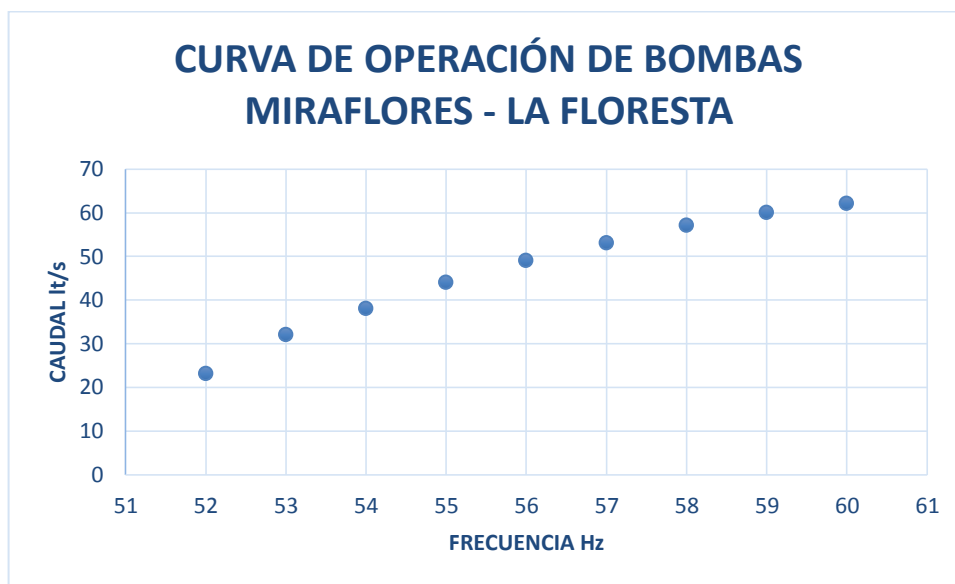


Figura 21: Curva de operación de bombas Miraflores - La Floresta

Fuente: Datos brindados por la empresa

4.4. Equipo de trabajo

4.4.1. Bomba de suministro de agua

El proceso dentro de la estación Miraflores cuenta con dos sistemas de bombeo similares, para el suministro de líquido hacia los tanques de almacenamiento “ La floresta”, la ubicación de las bombas dentro del proceso se aprecia en el diagrama P&ID

como se muestra en el **Anexo 3**. Las características que presentan las bombas se detallan en la **Tabla 4**.

Tabla 4: Características de la bomba

| BOMBA | |
|--------------------|-------|
| <i>Temperatura</i> | 40° C |
| <i>HP</i> | 150 |
| <i>RPM</i> | 1775 |
| <i>SF</i> | 1.15 |
| <i>HZ</i> | 60 |
| <i>VOLT MAX</i> | 460 |
| <i>KVAR</i> | 27.3 |
| <i>AMPS</i> | 171 |

Fuente: Viviana Jácome

Para la puesta en marcha del sistema es necesario que las bombas entren a operar mediante variadores de frecuencia, en la **Figura 22** se muestra en forma general y los diagramas de conexión se detallan en los **Anexo 4**: Diagrama de control de los variadores y el **Anexo 5**: Circuito de Potencia de Variadores.

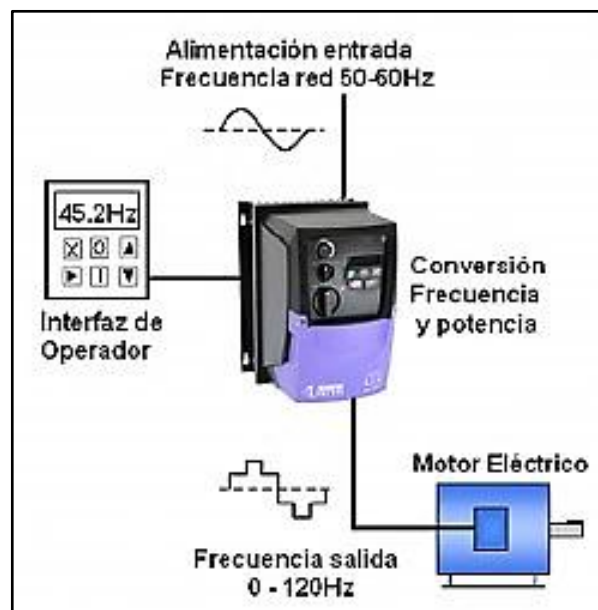


Figura 22: Conexión variador motor

Fuente: Viviana Jácome

4.5. Funcionamiento de la estación de bombeo Miraflores

El diagrama de flujo que se visualiza en la **Figura 23 y Anexo 6** detalla las funciones que se realizan dentro de la estación de bombeo Miraflores, las mismas que inician con la descarga que proviene de la planta de tratamiento Tilulum, esta llega a un punto de división donde una parte ingresa directamente a los tanques de reserva Troya y la parte restante ingresa a la estación de bombeo Miraflores donde es bombeada hasta los tanques de almacenamiento la Floresta para posteriormente ser distribuida al consumidor, siempre y cuando este entre los rangos normales de funcionamiento.

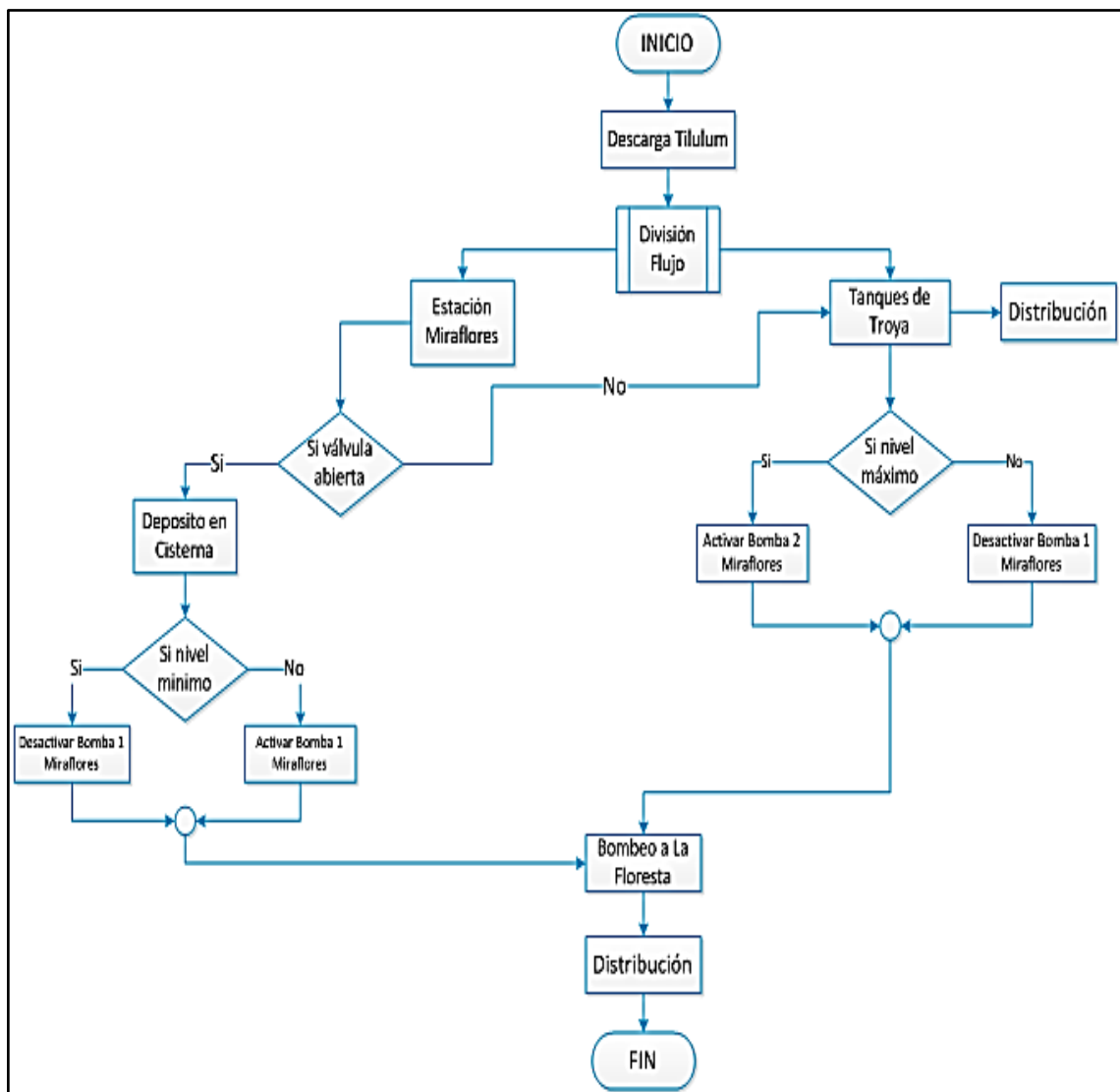


Figura 23: Diagrama de flujo del proceso

Fuente: Viviana Jácome

Caso contrario la estación de bombeo Miraflores se encarga de realizar un control de nivel en el que si el nivel supera el máximo se enciende las dos bombas para evitar desperdicio de agua potable y de la misma forma si el nivel desciende del valor mínimo se apagarán los equipos de bombeo por protección.

4.6. Planteamiento de propuesta

4.6.1. Sistema de control a implementar

La operación de la planta consiste en controlar el nivel de los tanques por medio de un controlador diseñado con las herramientas del software TIA PORTAL. El controlador está diseñado para ejecutarse en un PLC siemens s7-1200.

La medición de nivel de líquido en los tanques de almacenamiento se realiza a través de un transmisor ultrasónico, la señal emitida por el transmisor se realimenta al controlador mediante las entradas análogas del PLC.

El controlador al recibir la señal de medición de nivel, compara el valor de esta señal con una señal de referencia establecida por el usuario mediante software, realiza la operación de control necesaria de acuerdo al resultado obtenido por la comparación y envía una señal de control hacia el actuador de la planta. El actuador de la planta está representado por la combinación de la bomba con el variador de velocidad, es así que el controlador actúa directamente sobre una entrada de control del variador de velocidad.

En la **Figura 24** se observa el diagrama de bloques general de la planta. En el cual se tiene la señal de Referencia la que nos indica el valor al cual deseamos opere la planta, e representa la diferencia entre la señal de Referencia y la variable real medida, u representa la señal actuante sobre la planta, H_p representa la variable que medimos en la planta que en este caso es la altura y que es proporcional al nivel de líquido en el tanque, H_i representa la señal de voltaje que genera el transmisor ultrasónico y que es proporcional al nivel de líquido en el tanque.

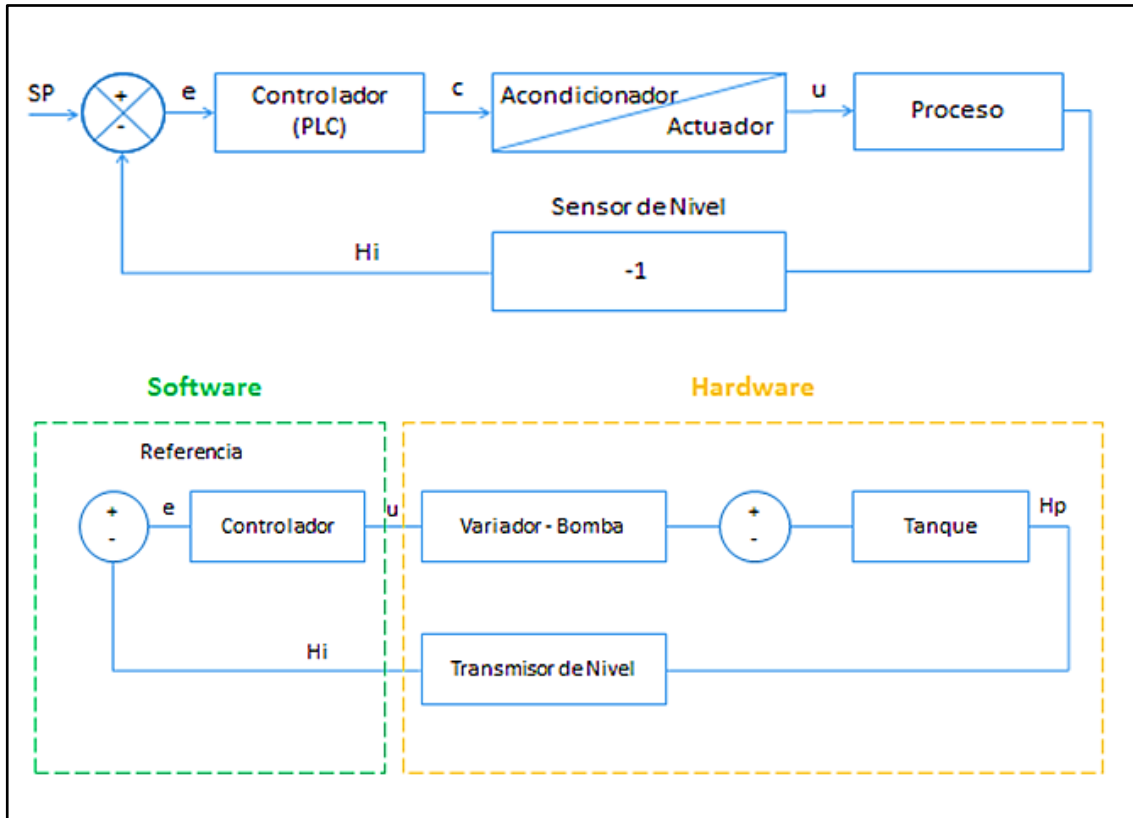


Figura 24: Diagrama de bloques general de la planta

Fuente: Viviana Jácome

4.6.2. Medición de nivel

La medición de nivel dentro del proceso es de suma importancia para evitar el desperdicio de líquido, además de gastos económicos para la empresa, para corregir esta problemática se utilizara equipos que permitan controlar oportunamente el sistema evitando desperdicios innecesarios.

4.6.3. Sensor ultrasónico

El sensor encargado de la medición de nivel es de la marca SENIX modelo TSPC-30S1 **Anexo 7**, que mide la distancia, emitiendo una onda de sonido que choca con el objeto, midiendo el eco de ida y vuelta. Conociendo la velocidad del sonido se puede determinar la distancia del objeto.

El sensor alcanza distancia máximas del 4.3 metros, en la **Figura 25** se muestra la forma física del sensor y los pines de conexión, en el **Anexo 8**: Conexión del transductor, se detalla la conexión entre el transductor y el PLC.

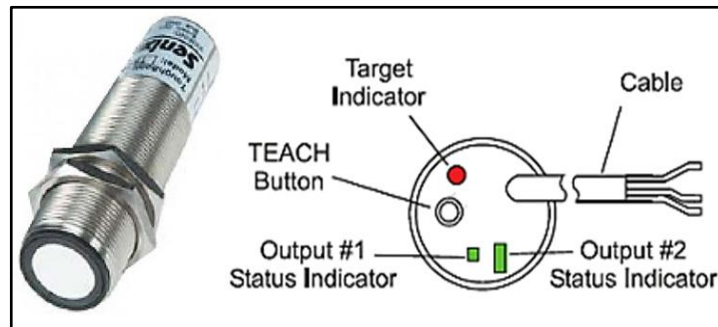


Figura 25: Sensor Senix

Fuente: Viviana Jácome

El sensor ultrasónico cuenta con características que se detallan en la **Tabla 5**.

Tabla 5: Especificaciones del sensor Senix

| | DESCRIPCIÓN | CABLE(COLOR) |
|----------------------------|------------------------|---------------------|
| ALIMENTACIÓN | 10-30 VDC | Café |
| TIERRA | Poder y fase común | Azul |
| SALIDA DE VOLTAJE | 0-10VDC | Blanco |
| SALIDA DE CORRIENTE | 4-20 mA ó 0-20mA | Negro |
| INTERRUPTOR 1 | NPN - PNP | Negro |
| INTERRUPTOR 2 | NPN - PNP | Blanco |
| RS-232 OUT/ RS-485- | Serial data connection | Gris |
| RS-232 IN/ RS-485+ | Serial data connection | Amarillo |

Fuente: Viviana Jácome

4.6.4. Aspectos para seleccionar el PLC

Actualmente el mercado brinda una gran cantidad de PLC industriales permitiendo que los usuarios elijan el modelo deseado en un amplio catálogo. Sin embargo al momento de elegir un PLC es necesario considerar 10 aspectos importantes.

Es fundamental tener claro en que consiste el proceso que vamos a automatizar, para dimensionar correctamente la aplicación para no elegir el PLC que quede corto en prestaciones ni que tenga funcionalidades que no sean necesarias.

Los diez aspectos importantes a la hora de seleccionar un PLC se enumeran a continuación en forma general.

1.-ENTRADAS / SALIDAS (E/S)

Al iniciar el proyecto es recomendable definir los elementos que se van a ocupar para así definir las entradas y salidas que serán necesarias, tanto a nivel digital como a nivel analógica, pero sin descuidar un margen de seguridad que nos permita añadir posteriormente alguna E/S adicional.

Aunque las marcas tienen varios modelos de PLC que aceptan diferentes niveles de E/S, este no es un aspecto determinante para seleccionar una marca u otra pero sí que lo es para saber el rango de PLC.

2.-CAPACIDAD DE PROGRAMA y MEMORIA

Este parámetro es quizás el aspecto más complicado de determinar previamente, ya que con frecuencia surge alarma de que falta memoria o que el programa es demasiado grande.

En varias ocasiones en una misma familia de PLC con las mismas E/S se dispone de diferentes CPU cuya diferencia es la capacidad de programa.

Se consideran dos aspectos a determinar:

- Memoria de programa: Se mide en Kpasos y determina de cuantos pasos de programa se dispone.
- Memoria de datos: Determina cuanta área interna de programa se dispone.

3.-COMUNICACIONES

Las comunicaciones son actualmente la piedra angular, ya que acceder desde los sistemas de supervisión SCADA hasta el autómatas más pequeño del proceso es necesario.

4.-ESCALABILIDAD

Ajustar el rango y potencia del PLC a las necesidades del proyecto es esencial, sin embargo el aspecto de la escalabilidad, de poder ir incrementando las características del autómatas es importante para algunos proyectos.

5.-CONTROL DE MOVIMIENTO

Hoy en día existen dos tipos de controles para incorporar sistemas de servo motores a la automatización de maquinaria.

- Control por pulsos: la gran mayoría de PLCs incorporan E/S de pulsos para el control de servomotores y entradas de conteo rápido como encoders.
- Control de Movimiento: Son PLCs que realizan el control de servos mediante un controlador o tarjeta especial, a través de un bus de control y gestiona en control de los servos.

6.-SEGURIDAD

Aparecen soluciones de seguridad controladas directamente por la lógica del PLC, aunque soluciones de gama alta es posibles encontrarlas, no tiene mucho sentido si solo se ha de gestionar un paro de emergencia, pero si son varias zonas de rearmes esta es una solución interesante.

7.-SOFTWARE

Es importante contar con un software evolucionado y probado. Un aspecto importante es el precio del software, sin embargo existen PLCs que disponen de un software gratuito.

8.-PRECIO

Aunque este aspecto no lo es todo sí que es un tema determinante. La inversión del PLC es un coste que puede llegar a ser importante dentro del proyecto.

9.-SERVICIO TECNICO

Este aspecto es vital, tener un servicio técnico donde apoyarse y asesorarse, por muy económico que sea un PLC si cuando se está en una puesta en marcha y se presenta un problema no disponer de un servicio técnico, puede salir muy caro.

10.-VOLUNTAD DEL CLIENTE FINAL

Este aspecto hay que tenerlo en cuenta por el sobre costo que pueda generar. El cliente final y sus especificaciones son quien nos va a decir con que marca y modelos realizar el proyecto.

Considerando estos diez aspectos se los puede resumir en la siguiente **Tabla 6** para llevar a cabo la selección del controlador.

Una vez seleccionado los equipos de trabajo se puede iniciar con los diagramas de conexión que en términos generales, en la **Figura 26** se muestra el funcionamiento del sistema de control para el proceso, que se encuentra controlado desde el PLC el cual recibe las señales de los sensores y envía a accionar o desactivar las bombas que controlan el paso del fluido mediante los variadores.

Tabla 6: Comparación de PLC

| <i>Aspectos</i> \ <i>Marcas</i> | <i>OMRON</i> | <i>SIEMENS</i> | <i>mitsubishi</i> |
|---------------------------------|--|--|--|
| ITEM | PLC CPM2C | PLC S7-1200 | PLC FX3U-16 |
| Entradas/salidas | 10 - 32 | 10 | 16 |
| Memoria | 2048 palabras (0000 a 2047 DM) | 1 MB, 25 KB, 25 KB | 64 K pasos |
| Comunicación | Dos puertos de comunicaciones incorporado, de libre acceso | Dos puertos de comunicaciones incorporado, y con un máximo de tres módulos de comunicación | Dos puertos de comunicaciones incorporado, de libre acceso |
| Software | CX-One | TIA Portal V10.5 | FX-TRN-BEG-E |
| Precio | \$ 2,146.87 USD | \$ 1137.48 USD | \$ USD |
| Aprobación del cliente | No | Si | No |

Fuente: Viviana Jácome

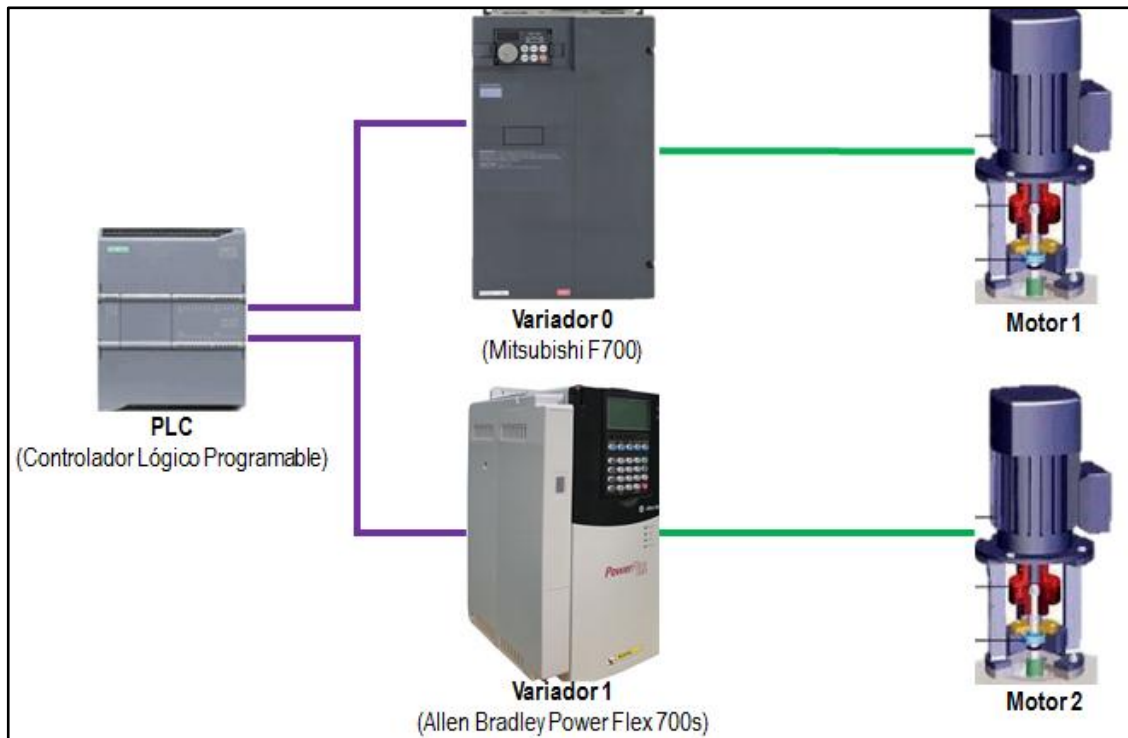


Figura 26: Funcionamiento del sistema del control para el proceso

Fuente: Viviana Jácome

4.6.5. Procesamiento de datos

Para compartir datos por la red es necesaria una comunicación previa, la misma que se rige a través de ciertos protocolos de comunicación, para este proyecto se utilizó el protocolo de comunicación RS 485.

Este protocolo de comunicación serial, es utilizado como sistema de interconexión entre dispositivos a grandes distancias y funciona en ambientes eléctricamente ruidosos sin problema.

Existen dos opciones para crear una red RS-485:

- Usando 4 cables, llamada en inglés full-duplex.
- Usando 2 cables, llamada half-duplex.

Para la red se utilizó la comunicación RS-485 a dos hilos, junto con el conector DB9. Los pines del conector DB9 son los que se muestra en la **Figura 27** y sus funciones se presentan en la **Tabla 7**.

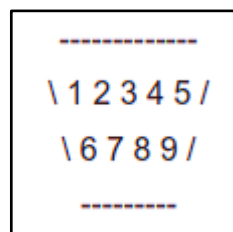


Figura 27: Pines del conector DB9

Fuente: Viviana Jácome

Tabla 7: Funciones de los pines del conector DB9

| <i>Datos</i> | <i>Handshake</i> | <i>Tierra</i> |
|---------------------|---------------------|--------------------|
| <i>TXD+ (pin 8)</i> | <i>RTS+ (pin 3)</i> | <i>GND (pin 1)</i> |
| <i>TXD- (pin 9)</i> | <i>RTS- (pin 7)</i> | |
| <i>RXD+ (pin 4)</i> | <i>CTS+ (pin 2)</i> | |
| <i>RXD- (pin 5)</i> | <i>CTS- (pin 6)</i> | |

Fuente: Viviana Jácome

4.7. Análisis de factibilidad

Varios de los procesos que dispone la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado EP-EMAPA son aun manuales, provocando algunos inconvenientes el desarrollo normal en las actividades en las diferentes estaciones y plantas que dispone la empresa.

Es así que la carencia de un sistema automático que controle el bombeo del fluido de las Estación de Miraflores y los Tanques de Troya provocando así desperdicio en de líquido, lo que ocasionando pérdidas económicas directas a la empresa e indirectamente a la ciudadanía.

Esta falta de un control automático en la cisterna ubicada reduce las actividades de los operadores a cargo del cuidado de la Estación, y podría en un futuro provocar un desborde del fluido en la Estación de Miraflores lo que ocasionaría un daño considerable en el cuarto de máquinas donde se encuentra ubicada la cisterna.

Con la elaboración de un control automático mediante un lazo cerrado en las cisternas y en los tanques de Miraflores y Troya respectivamente, podrá contribuir al mejor desempeño de los operadores en sus respectivos lugares de trabajo, reducirá gastos económicos a la empresa al evitar desperdicios de líquido y daños en sus instalaciones y equipos, así mismo al contar con un sistema automático la empresa tendrá la posibilidad de enlazar al Sistema Scada y contar con monitoreo constante de los niveles de la cisterna y de los tanques, así mismo la posibilidad de controlar desde la central las bombas de carga y descarga de líquido de los tanque y de la cisterna. Logrando así mejorar los estándares de calidad de la Empresa.

4.7.1. Factibilidad tecnológica.

La existente tecnología admite la implementación de sistemas automatizados que permiten controlar un proceso de bombeo utilizando dispositivos y equipos confiables y fáciles de operar.

La factibilidad tecnológica del presente proyecto se debe a que la empresa cuenta con los dispositivos y equipos necesarios para automatizar el sistema de bombeo lo que contribuirá en el control de nivel de la cisterna; además la empresa cuenta con el área de automatización que está conformada por ingenieros industriales y mecánicos, así como también se cuenta con el talento humano necesarios ya que la autora tiene las aptitudes requeridas para diseñar un sistema automático que permita controlar el proceso de bombeo.

4.7.2. Factibilidad económica – financiera.

Este proyecto asume la factibilidad económica y financiera, ya que la implementación del proyecto traerá consigo beneficios de calidad y seguridad.

Para realizar este análisis se ha llevado a cabo la tabla de costos de los equipos de control automático presentada a continuación en la **Tabla 8**.

Tabla 8: Costos de los equipos de control automático.

| EQUIPO | ITEM | MARCA | DETALLE | COSTO |
|---------------|--|----------------|--|------------------|
| Sensor | <i>TSPC-30S1 TouhgSonic® Distance Sensor</i> | <i>SENIX</i> | <i>Pequeño sensor está diseñado para una mayor durabilidad y factibilidad de uso en entornos industriales difíciles</i> | <i>\$628,30</i> |
| PLC | <i>PLC S7-1200 CPU1214c AC/DC/RLY</i> | <i>SIEMENS</i> | <i>Está constituido por la CPU S7-200 y una serie de módulos de expansión adicionales, hasta un máximo de 7 en el caso de la CPU</i> | <i>\$ 400.00</i> |

| | | | | |
|-------------------------------|-------------------|------------------|---|------------|
| | | | 224. | |
| Módulo de Comunicación | CM1241 (RS485) | SIEMENS | Se utiliza para un intercambio de datos serie rápida y eficaz a través de conexión punto a punto. | \$ 143.14 |
| Variador de Frecuencia | Power Flex 700s | ALLEN BRADLEY | Ofrece integración optimizada para las aplicaciones de sistemas de variadores y control de variadores coordinadas y autónomas más exigentes. | \$879.00 |
| | Mitsubishi F700 | mitsubishi | Las excelentes especificaciones del F700 (ver Figura 11) hacen que este VFD de Mitsubishi Electric sea absolutamente imprescindible para sus sistemas de mecanismo. | \$ 3854.00 |

Fuente: Viviana Jácome

4.7.3. Toma de decisión

Mediante los resultados obtenidos a través del análisis económico-financiero, la tecnología requerida para controlar el sistema que presenta la estación de bombeo Miraflores, se encierra en los dispositivos Sensor TSPC-30S1 TouhgSonic® Distance Sensor, PLC S7-1200 CPU1214c AC/DC/RLY, Modulo de Comunicación CM1241 (RS485), Variadores de Frecuencia Power Flex 700s la tecnología más económica para controlar el nivel de la cisterna que cumple con todas los requerimientos para la automatización del proceso de bombeo de agua claras es el sensor ultrasónico TSPC-30S1 TouhgSonic®.

4.7.4. Factibilidad organizacional

La factibilidad organizacional de este proyecto es muy definida debido a que quienes conforman la empresa EP-EMAPA están de acuerdo y conscientes de que automatizando el proceso de bombeo de la estación se podrá establecer un proceso seguro, además de ahorros estimados en: disminución de gastos por desperdicio de agua potable, de la misma forma como parte fundamental del desarrollo y cuidado medio ambiental, así como también del uso más eficiente de recursos de energía eléctrica.

4.8. Escalonamiento

La instrucción escalamiento está relacionada con la adaptación de los valores de tensión o de corriente que están normalizados en diversos estándares para medir un determinado fenómeno físico.

Los sensores o Transductores en la mayoría de los casos vienen linealizados por el fabricante, para una aplicación en particular por lo tanto se trabaja con líneas rectas.

4.8.1. Tratamiento de las señales análogas

El sensor ultrasónico nos entrega una señal análoga (0-10v) la misma que se debe ser acondicionada para comunicarse mediante los módulos análogos del PLC. Los niveles de tensión son normalizados oscilan entre 0 a 27980, que son niveles digitalizados para que el PLC pueda utilizarlo de manera más precisa, en la siguiente figura observamos el escalonamiento necesario para convertir la señal de entrada en un tipo de dato real, apto para el control.

4.8.2. Adaptación de rangos estándar para entradas y salidas en programadores

Cada entrada y salida analógica cuenta con un determinado número de bits que da la resolución y depende del fabricante y del modelo a emplear. Los datos usados en el módulo de entradas análogas muestran el direccionamiento de entrada, rango de chequeo y escalamiento de las entradas análogas a las unidades de ingeniería.

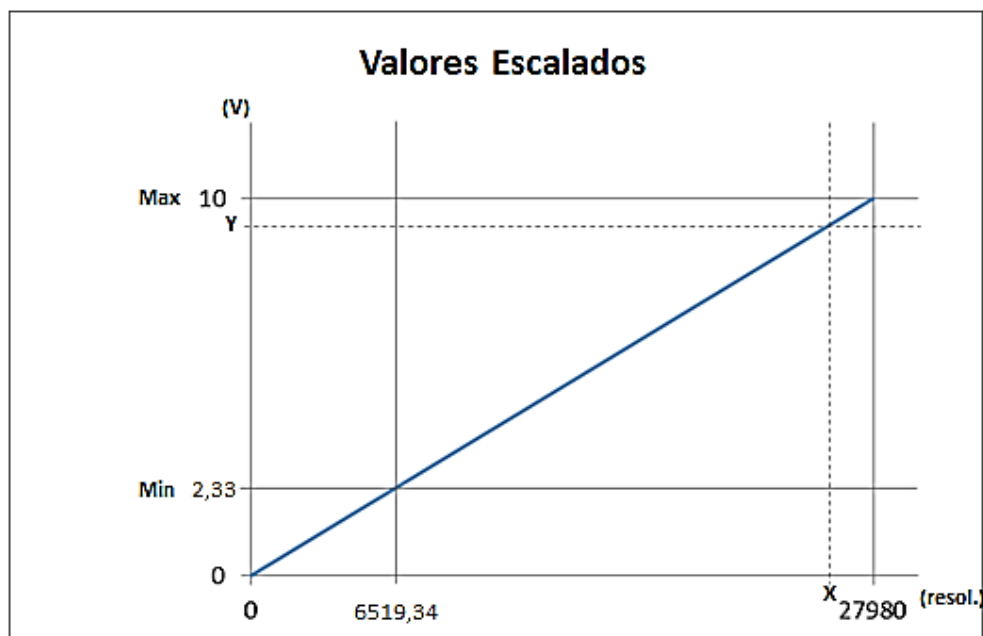


Figura 28: Escalonamiento

Fuente: Viviana Jácome

Valor escalado significara adecuar la variable a medir a su lectura máxima y mínima en el proceso con la salida o entrada análoga y su número de bits respectivos.

La gráfica es una función matemática del tipo

$$y = mx + b \quad \text{Ec. (11)}$$

Dónde:

y = Salida escalada

m = Pendiente (Rate)

x = Valor análogo de entrada

b = Offset

Estructura

$$\text{Rate} = \frac{\text{Escalado_Max} - \text{Escalado_Min}}{\text{Input_Max} - \text{Input_Min}} \quad \text{Ec. (12)}$$

Dónde:

Rate= Pendiente

Escalado_Max= Valor de salida escalada máxima (V)

Escalado_Min= Valor de salida escalada mínima (V)

Input_Max= Valor análogo de entrada máxima (m)

Input_Min= Valor análogo de entrada mínima (m)

$$\text{Offset} = \text{Escalado_Min} - (\text{Input_Min} * \text{Rate}) \quad \text{Ec. (13)}$$

Dónde:

Offset= desplazamiento

Escalado_Min= Valor de salida escalada mínima (V)

Input_Min= Valor análogo de entrada mínima (m)

Rate= Pendiente

Finalmente se obtiene lo siguiente:

$$y = mx + b \quad \text{Ec. (11)}$$

$$y = \frac{\text{Escalado_Max}-\text{Escalado_Min}}{\text{Input_Max}-\text{Input_Min}} * x + \text{Escalado_Min} - (\text{Input_Min} * \text{Rate}) \quad \text{Ec. (14)}$$

$$\text{Rate} = \frac{\text{Escalado_Max}-\text{Escalado_Min}}{\text{Input_Max}-\text{Input_Min}} \quad \text{Ec. (12)}$$

Los niveles de entrada tienen que ser normalizados antes de ser utilizados dentro del programa, esta operación se la realiza dentro del TIA PORTAL, en la **Figura 29** se muestra un bloque de datos donde internamente se encuentra realizado las operación respectivas para realizar la normalización, en el mismo se debe establecer parámetros de entrada como son:

- ✓ Canal análogo del PLC donde se encuentra conectado el sensor.
- ✓ Valor mínimo de Resolución del PLC.
- ✓ Valor máximo de Resolución del PLC.
- ✓ Valor máximo que entrega el sensor.

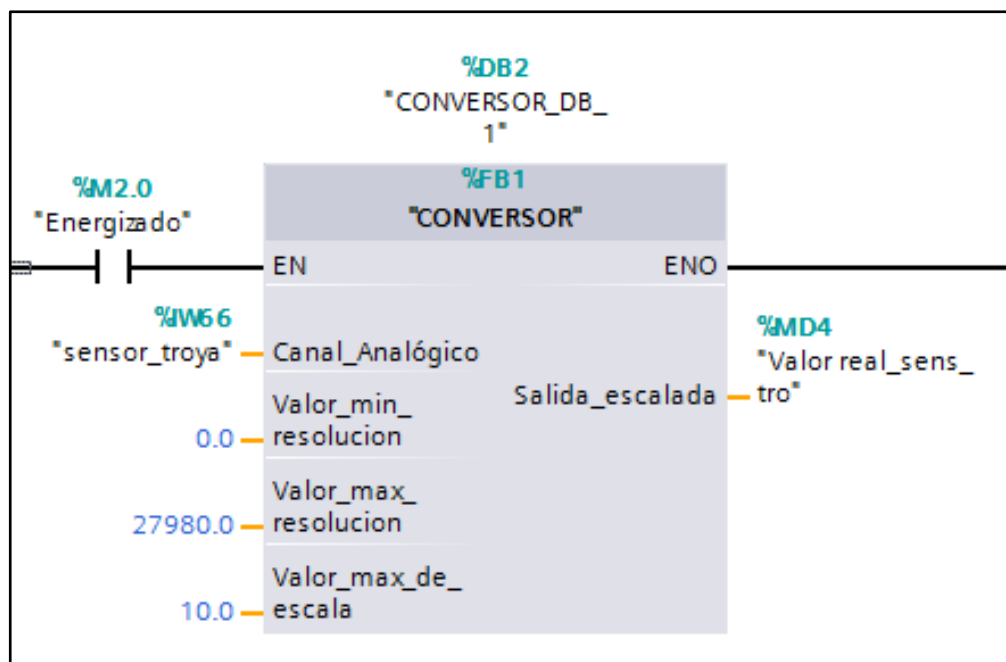


Figura 29: Bloque conversor

Fuente: Viviana Jácome

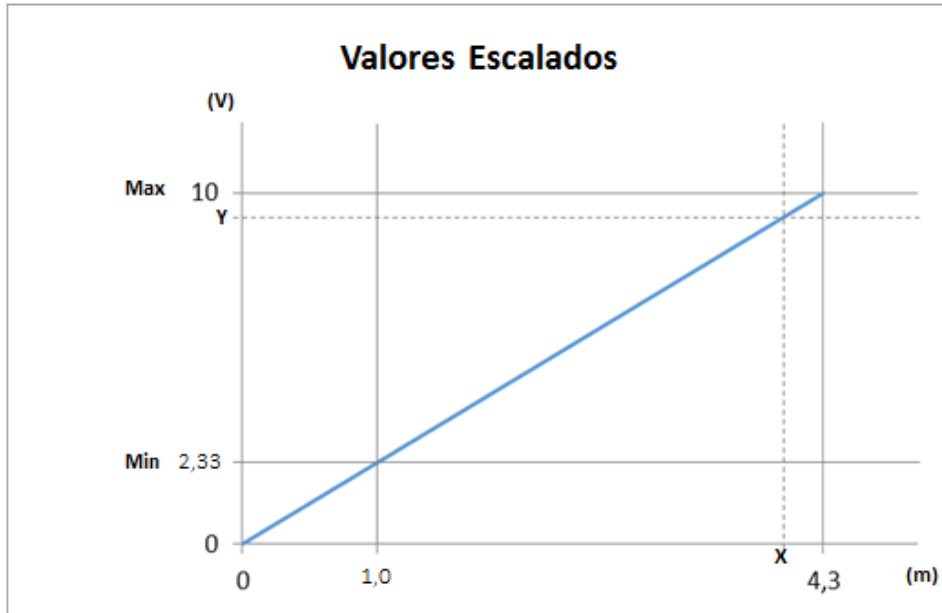


Figura 30: Rango de operación de transmisor SENIX TSPC-30S1

Fuente: Viviana Jácome

De acuerdo a los datos de la **Figura 30** a un valor de 0V de voltaje, el transmisor marca un valor de 1m de longitud; y a un valor de 2,33V de voltaje la salida del transmisor debe ser 4,3m de longitud. Sin embargo al realizar la medición de este valor para las condiciones previamente descritas obtenemos una medición de 1m y 4m como valores mínimo y máximo de la cisterna. Esto quiere decir que para la conversión de voltios a metros debemos tomar en cuenta estos valores de medición.

Considerando dos puntos X (V), y Y (m) en los ejes de las ordenadas y las abscisas de la figura, y sacando una relación de pendientes citamos a la **Ecuación 11** y la **Ecuación 12**:

$$y = mx + b$$

$$y = \frac{\text{Escalado_Max} - \text{Escalado_Min}}{\text{Input_Max} - \text{Input_Min}} * x + \text{Escalado_Min} - (\text{Input_Min} * \text{Rate})$$

Y (V) es el valor de voltaje medido por el transmisor, y X (m) es el valor de longitud en metros transmitido por el dispositivo.

Partiendo de las ecuaciones anteriores tenemos que:

$$\text{Rate} = \frac{\text{Escalado_Max} - \text{Escalado_Min}}{\text{Input_Max} - \text{Input_Min}}$$

$$\text{Rate} = \frac{10 - 2.33}{4.3 - 1}$$

$$\text{Rate} = 2.32$$

$$y = \frac{\text{Escalado_Max} - \text{Escalado_Min}}{\text{Input_Max} - \text{Input_Min}} * x + \text{Escalado_Min} - (\text{Input_Min} * \text{Rate})$$

$$y = \frac{10 - 2.33}{4.3 - 1} * x + 2.33 - (1 * 2.32)$$

$$y = 2.32 * x + 0.01$$

Resolviendo la **Ecuación**, tenemos:

$$y = 2.32 * x + 0.01$$

Dónde:

$$x = 4$$

$$y = 9.30$$

Una vez despejado el valor podemos ingresar el rango en la programación ya que el módulo de adquisición de datos CM 124 posee entradas de lectura de voltaje.













El sensor de control de nivel es el encargado de censar y transmitir la señal de medición de nivel en la cisterna. Se encuentra conectado a la parte superior de la cisterna.

4.9. Diagramas de procesos e instrumentación (P&ID).

Para conocer los equipos que intervienen en el control de nivel de la cisterna, se desarrolló un diagrama P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) según la Norma ISA-S5.1-84, el cual reúne la instrumentación sobre el flujo de proceso de la estación de bombeo Miraflores. El diagrama P&ID de la máquina se encuentra en el **Anexo 3: Diagrama P&ID**.

Para brindar una mejor comprensión de los lazos de control se han especificado colores a las conexiones e instrumentos presentes en el diagrama como lo muestra la **Tabla 9**, y la **Figura 31**.

Tabla 9: Codificación de Colores Diagramas P&ID

| Designación de Colores | |
|---|-----------------------------|
| Color | Descripción |
|  | Tubería de Agua |
|  | Señal Eléctrica (4-20)mA |
|  | Señal Ultrasónica |
|  | Flujo Hidráulico de Control |
|  | Señal Eléctrica |
|  | Señal de Datos |
|  | Cota Máxima de Nivel |
|  | Cota Mínima de Nivel |
|  | Instrumentos |
|  | Equipos |
|  | Toma de Agua |
|  | Suministro de Agua |

Fuente: Viviana Jácome

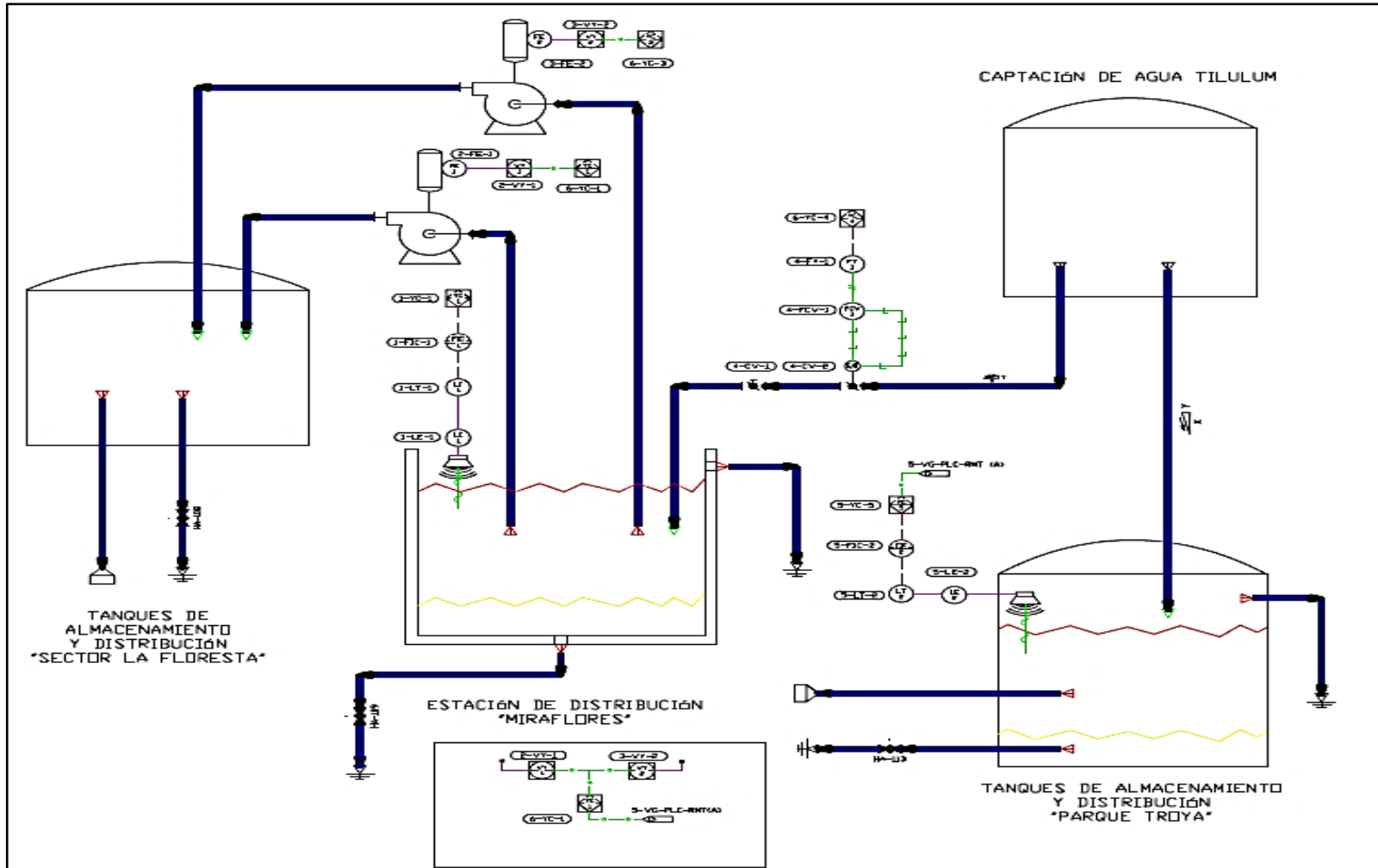


Figura 31: Lazos de control diagrama P&ID

Fuente: Viviana Jácome

4.10. Programación del PLC y Variadores

4.10.1. Programación del PLC

Siemens Simatic S7-1200 actualmente es el PLC de mayor utilización y prestaciones de Siemens. Para iniciar la programación en nuestros dispositivos es esencial conocer sus características básicas de tal manera que podamos digitar sus códigos de programación, en este caso el dispositivo a manejar menciona sus características en la **Tabla 10**, en el **Anexo 9**: Entradas de PLC, se detalla la conexión entre las entradas al PLC y en el **Anexo 10**: Conexión de Salida, se encuentra el detalle de la conexión de las salidas del PLC.

Tabla 10: Características del PLC S7-1200

| Función | CPU 1212C |
|---|--|
| Dimensiones físicas (mm) | 90x100x75 |
| Memoria de usuario -Memoria de trabajo -Memoria de carga -Memoria remanente | 25KB 1MB 2KB |
| E/S integradas locales -Digitales -Analógicas | - 8 entradas/6 salidas - 2 entradas |
| Tamaño de la memoria imagen de proceso | 1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q) |
| Área de marcas (M) | 4096 bytes |
| Ampliación con módulos de señales | 2 |
| Signal Board | 1 |
| Módulos de comunicación | 3 (ampliación en el lado izquierdo) |
| Contadores rápidos -Fase simple -Fase en cuadratura | 4 - 3 a 100 kHz 1 a 30 kHz - 3 a 80 kHz 1 a 20 kHz |
| Salidas de impulsos | 2 |
| Memory Card | SIMATIC Memory Card (opcional) |
| Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real | Típico: 10días / Mínimo: 6 días a 40°C |
| PROFINET | 1 puerto de comunicación Ethernet |
| Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales | 18 µs/instrucción |
| Velocidad de ejecución booleana | 0,1 µs/instrucción |

Fuente: Viviana Jácome

4.10.2. Software TIA Portal

Para la programación se utilizó el software TIA Portal, es una plataforma que permite programar PLC, HMI, entre otros el uso del mismo es de fácil comprensión para el usuario y a continuación se detallan los pasos usados para la programación.

Pasos para crear un proyecto en TIA Portal

1. Para iniciar con la creación del proyecto es necesario contar con el software Totally Integrated Automation Portal, el mismo que al ser inicializado muestra la una pantalla de inicio como se muestra en la **Figura 32**.

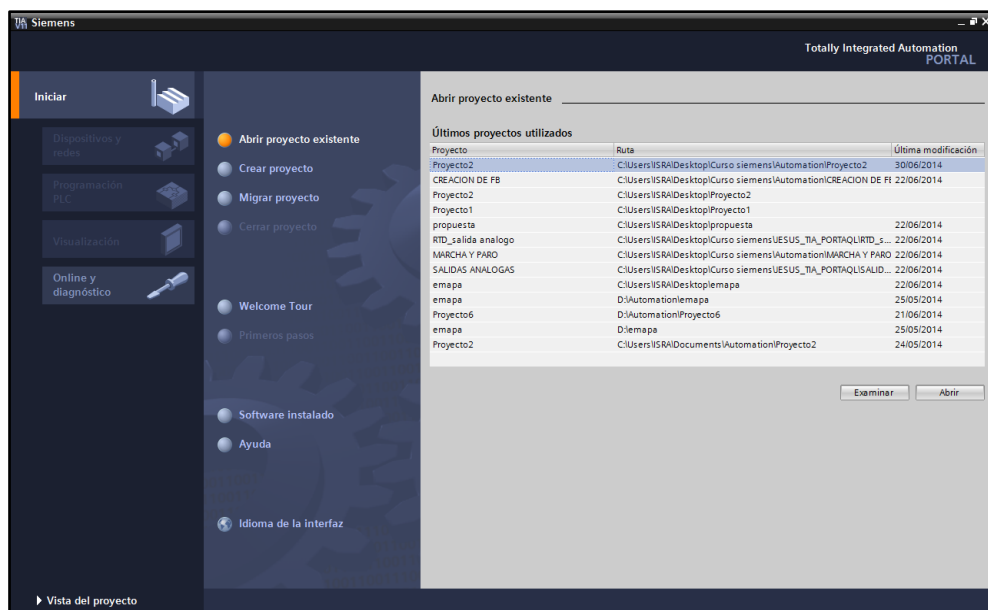


Figura 32: Ventana principal del TIA Portal

Fuente: Viviana Jácome

2. Una vez abierta la ventana del TIA Portal, se observan diferentes viñetas las cuales muestran las tareas que se pueden realizar en el interior del software, cuando se inicia, se selecciona la viñeta “Crear proyecto”, en la cual el cuadro de dialogo nos pide llenar el nombre del proyecto, ubicación, autor y comentario como se muestra en la **figura 33**.

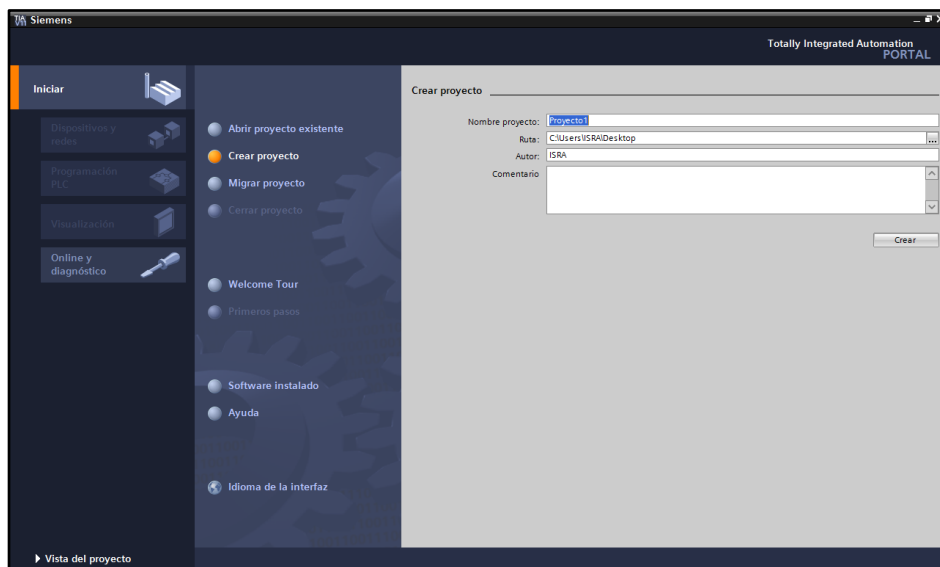


Figura 33: Creación del proyecto

Fuente: Viviana Jácome

- Posteriormente se escoge la viñeta “Agregar dispositivo”, donde se selecciona el tipo de dispositivo que va a ser usado, el mismo que puede ser PLC, HMI O Sistemas de PC, en este caso la selección corresponde al PLC S71200, CPU 1212C AC/DC/Rly serie E121BD30-OXB0, como se muestra en la **Figura 34**. Es recomendable cambiar la versión del PLC a la más baja para evitar inconvenientes en el futuro.

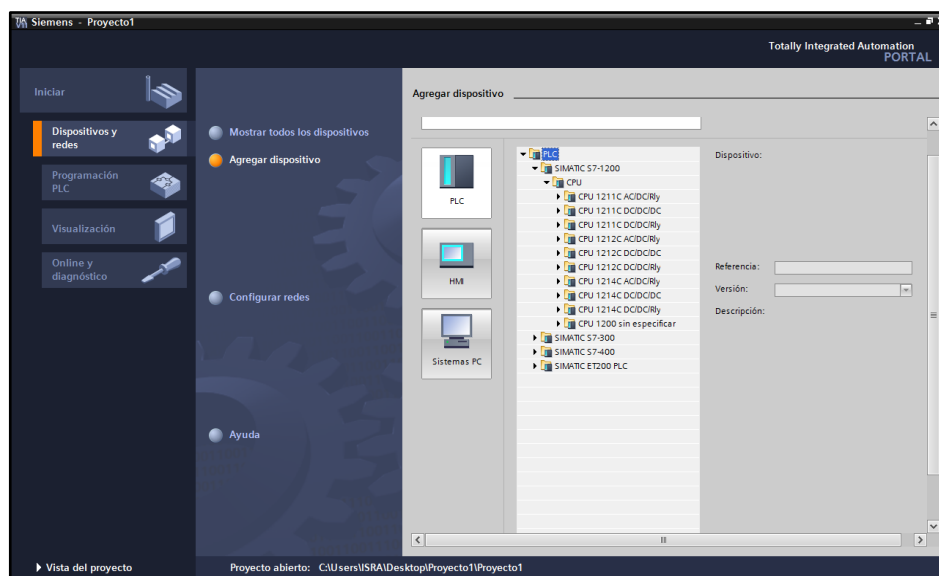


Figura 34: Selección del dispositivo.

Fuente: Viviana Jácome

4. Para establecer comunicación entre el dispositivo y la PC es necesario configurar las IP, tanto de la máquina como del dispositivo, al cual se va a transferir el programa, para ello se clicla la pestaña PLC opción Online y Diagnostico de esta manera se verifica la IP por defecto del dispositivo. Como se detalla en la **figura 35**.

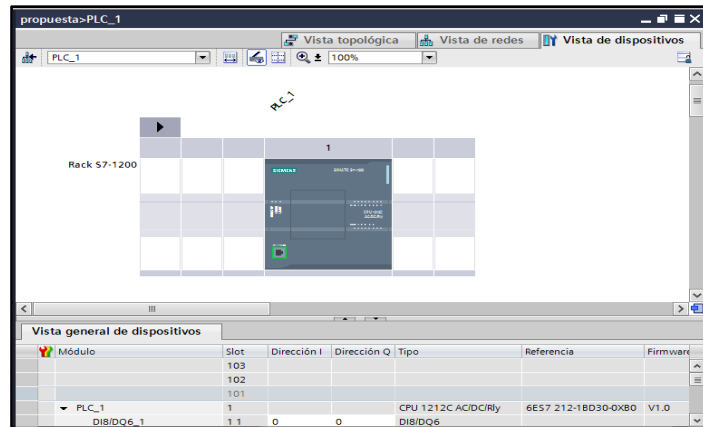


Figura 35: Identificación de la IP del PLC

Fuente: Viviana Jácome

5. Una vez establecida la comunicación con el dispositivo, se debe identificar los módulos externos que se necesitaran, para la realización del lazo de control, los mismo que se agregaran en el software para realizar la programación, para lo cual se selecciona la pestaña PLC, al costado derecho se encuentra las diversas tarjetas y otros elementos que pueden ser añadidos al dispositivo. Como se muestra en la **Figura 36**.

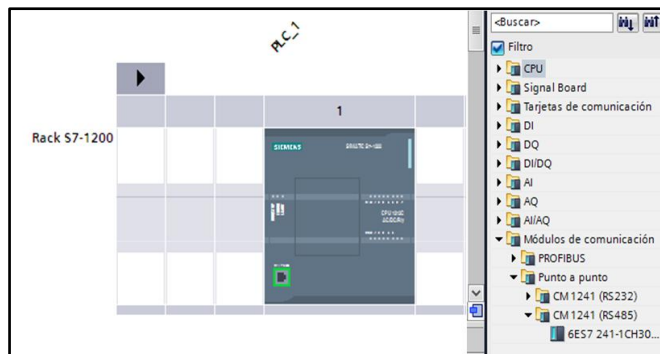


Figura 36: Selección de tarjetas externas

Fuente: Viviana Jácome

6. Entre los dispositivos externos se debe contar con tarjeta de comunicación para enlazar el PLC con los variadores mediante el protocolo Modbus, para ello se selecciona la opción módulo de comunicación opción CM1241 (RS485) como muestra la **Figura 37**.

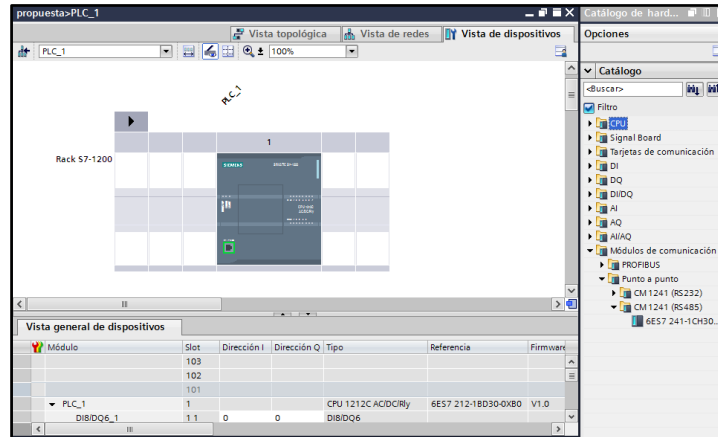


Figura 37: Selección de la tarjeta de comunicación.

Fuente: Viviana Jácome

7. El siguiente paso es ubicar el módulo de comunicación CM1241 (RS485) correctamente, arrastrándolo de la parte derecha donde están ubicados las tarjetas hacia la parte izquierda del PLC donde se ubican los módulos de comunicación, el software nos indica automáticamente si el modulo ha sido ubicado correctamente, como se muestra en la **Figura 38**.

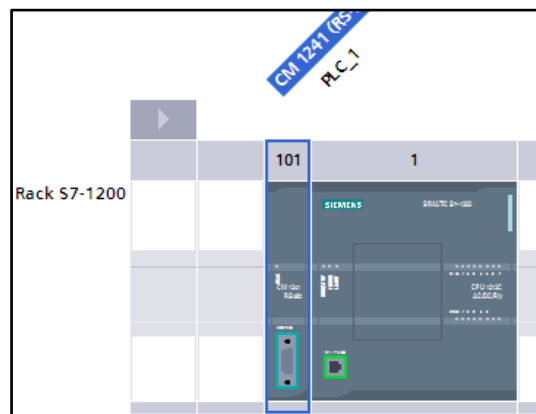


Figura 38: Ubicación de la tarjeta de comunicación.

Fuente: Viviana Jácome

8. Una vez ejecutados los pasos anteriores el software queda listo para empezar con la programación para ello se selecciona la opción “Main”, que es el bloque de programación dentro del software, como se observa en la **Figura 39**.

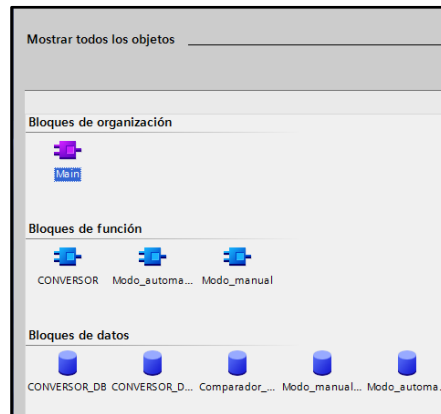


Figura 39: Selección del bloque de programación.

Fuente: Viviana Jácome

9. En la ventana principal del bloque “Main” es donde se realiza las diferentes condiciones para ejecutar el sistema de control dentro del proceso, el tipo de programación que el bloque utiliza es el denominado lenguaje Ladder o de escalera, dentro de la ventana se encuentra diferente instrucciones para realizar el lazo de control, desde las básicas, como son los contactos cerrados o abiertos, y bloques tecnológicos para comunicaciones y PID. Como se muestra en la **Figura 40**.

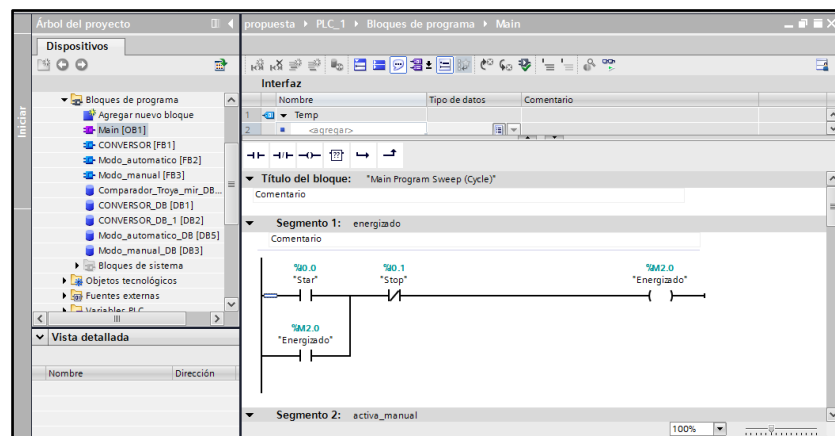


Figura 40: Bloque Main de programación

Fuente: Viviana Jácome

10. La programación del proceso se encuentra realizado en bloques, donde se encuentra alojadas subrutinas para realizar las diferentes tareas del proceso, en la **Figura 41** se muestra el bloque denominado conversor para escalar las señales de entrada y poder ser utilizadas dentro del Main.

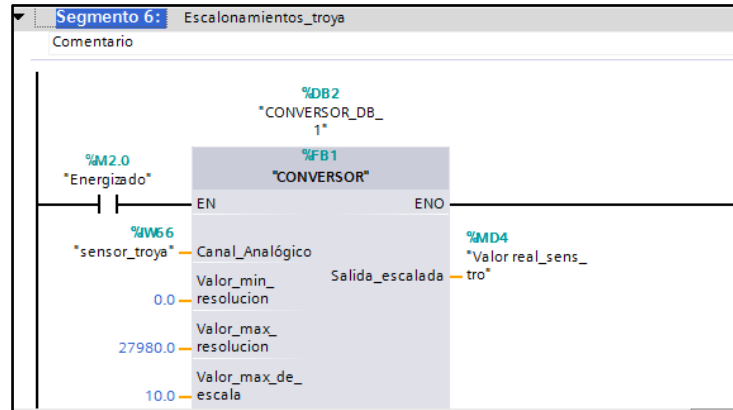


Figura 41: Bloque de programación.

Fuente: Viviana Jácome

Es conveniente antes de empezar con la programación declarar variables, esto permite el correcto flujo de las líneas de programación, para ello se da clic en la pestaña variables de PLC, como se muestra en la siguiente **Figura 42**.

| | Nombre | Tabla de variables | Tipo de datos | Dirección | Rema... | Visible... | Accesi... | Co |
|----|----------------------|------------------------|---------------|-----------|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|----|
| 1 | Sensor_Miraflore | Tabla de variabl... | Word | %IW64 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 2 | Valor real_sens_mira | Tabla de variables e.. | Real | %MD0 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 3 | sensor_troya | Tabla de variables e.. | Word | %IW66 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 4 | Valor real_sens_tro | Tabla de variables e.. | Real | %MD4 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 5 | Star | Tabla de variables e.. | Bool | %I0.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 6 | Stop | Tabla de variables e.. | Bool | %I0.1 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 7 | Automatico | Tabla de variables e.. | Bool | %I0.2 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 8 | Manual | Tabla de variables e.. | Bool | %I0.3 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 9 | Auto_Hmi | Tabla de variables e.. | Bool | %M0.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 10 | Manu_Hmi | Tabla de variables e.. | Bool | %M1.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 11 | Energizado | Tabla de variables e.. | Bool | %M2.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 12 | on_manual | Tabla de variables e.. | Bool | %M3.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 13 | on_automa | Tabla de variables e.. | Bool | %M4.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 14 | bomb_1_on | Tabla de variables e.. | Bool | %M5.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 15 | bomb_2_on | Tabla de variables e.. | Bool | %M6.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 16 | bomb_1_off | Tabla de variables e.. | Bool | %M8.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 17 | bomb_2_off | Tabla de variables e.. | Bool | %M8.1 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 18 | variador_1 | Tabla de variables e.. | Word | %QW80 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 19 | variador_2 | Tabla de variables e.. | Word | %QW82 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 20 | ind_manual | Tabla de variables e.. | Bool | %Q0.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 21 | ind_auto | Tabla de variables e.. | Bool | %Q0.1 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |

Figura 42: Tags utilizadas

Fuente: Viviana Jácome

Declaración de los Tags

Un Tag no es más que una etiqueta, que se utiliza en un OB para identificar una variable que entra al sistema o que sale de éste a través de alguna salida del PLC, o simplemente se almacena en la memoria de trabajo del mencionado controlador, pudiendo ser cualquier tipo de dato desde una variable booleana hasta un valor real.

Una vez creado el OB principal que se programó en FBD, se procedió a la declaración de los Tags que participarán en la ejecución de las tareas que desempeñará el PLC. Para la declaración de una etiqueta, se le asignó, un nombre relacionado con la información que va a manejar, la tabla al cual pertenece, el tipo de dato que es, por ejemplo si es Booleano, Int, Real etc., la dirección asociada si es una entrada, salida o un dato almacenado en la memoria activa del PLC. Los Tags que se definieron en el OB1 fueron los siguientes que se pueden observar en la **Tabla 11**, en el **Anexo 11: Programación**, se observa la programación en bloques realizada en el PLC.

Tabla 11: Tags definidos en el OB1

| Nombre del Tag | Tipo de dato | Dirección asociada | Función |
|-----------------------------|--------------|--------------------|---|
| Sensor_Miraflores | Word | %IW64 | Encargada de captar la medición del sensor ubicada en los tanque de Miraflores. |
| Valor real_sens_mira | Real | %MD0 | Nos devuelve el valor real del sensor Miraflores. |
| sensor_troya | Word | %IW66 | Encargada de captar la medición del sensor ubicada en los tanque de Troya. |
| Valor real_sens_tro | Real | %MD4 | Nos devuelve el valor real del sensor Troya. |
| Star | Bool | %I0.0 | Pulsador encargado de iniciar el proceso. |
| Stop | Bool | %I0.1 | Pulsador que detiene el proceso. |
| Automatico | Bool | %I0.2 | Selector para que el proceso entre en funcionamiento en modo |

| | | | |
|-------------------|------|-------|--|
| | | | automático. |
| Manual | Bool | %I0.3 | Selector para que el proceso entre en funcionamiento en modo manual. |
| Auto_Hmi | Bool | %M0.0 | Selector para que el proceso entre en funcionamiento en modo automático, desde un panel HMI. |
| Manu_Hmi | Bool | %M1.0 | Selector para que el proceso entre en funcionamiento en modo manual, desde un panel HMI. |
| Energizado | Bool | %M2.0 | Pulsador encargado de energizar el sistema. |
| on_manual | Bool | %M3.0 | Memoria interna para activar el bloque de programación manual. |
| on_automa | Bool | %M4.0 | Memoria interna para activar el bloque de programación automático. |
| bomb_1_on | Bool | %M5.0 | Memoria interna para activar la instrucción activar bomba 1. |
| bomb_2_on | Bool | %M6.0 | Memoria interna para activar la instrucción activar bomba 2. |
| bomb_1_off | Bool | %M8.0 | Memoria interna para activar la instrucción desactivar bomba 1. |
| bomb_2_off | Bool | %M8.1 | Memoria interna para activar la instrucción desactivar bomba 2. |
| variador_1 | Word | %QW80 | Comunicación con variador 1 |
| variador_2 | Word | %QW82 | Comunicación con variador 2 |
| ind_manual | Bool | %Q0.0 | Luz indicado modo manual |
| ind_auto | Bool | %Q0.1 | Luz indicado modo automático. |

Fuente: Viviana Jácome

Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de control de nivel para la cisterna de la estación Miraflores

El diagrama de flujo mostrado anteriormente en la **Figura 43 y Anexo 12** se detalla la secuencia que cumple el programa dentro del proceso.

El sistema de control tiene dos tipos de modo de operación, modo automático y modo manual.

El modo automático internamente en el PLC realiza las operaciones necesarias para adquirir las señales externas y emitir las señales de control a los actuadores por medio de los variadores de frecuencia.

El bloque principal en la programación controla el sistema y se muestra en la siguiente **Figura 44**, donde se observa las entradas y salidas del bloque las cuales son indispensables para el funcionamiento del mismo. Los cuales se detallan en la **Tabla 12** son:

Tabla 12. Tags del bloque principal

| Tag | Función |
|----------------------|---|
| activar_auto | Memoria interna para activar el bloque en modo automático. |
| desca_aut | Memoria interna para desactivar el bloque en modo automático. |
| valor_sen_tro | Lectura del sensor de los tanques de reserva Troya. |
| Max_tr | Nivel máximo del tanque de reserva Troya |
| Min_tr | Nivel mínimo del tanque de reserva Troya |
| valor_sen_mir | Lectura del sensor de los tanques de reserva Troya. |
| Max_mir | Nivel máximo del tanque de reserva Troya |
| Min_mir | Nivel mínimo del tanque de reserva Troya |

Fuente: Viviana Jácome

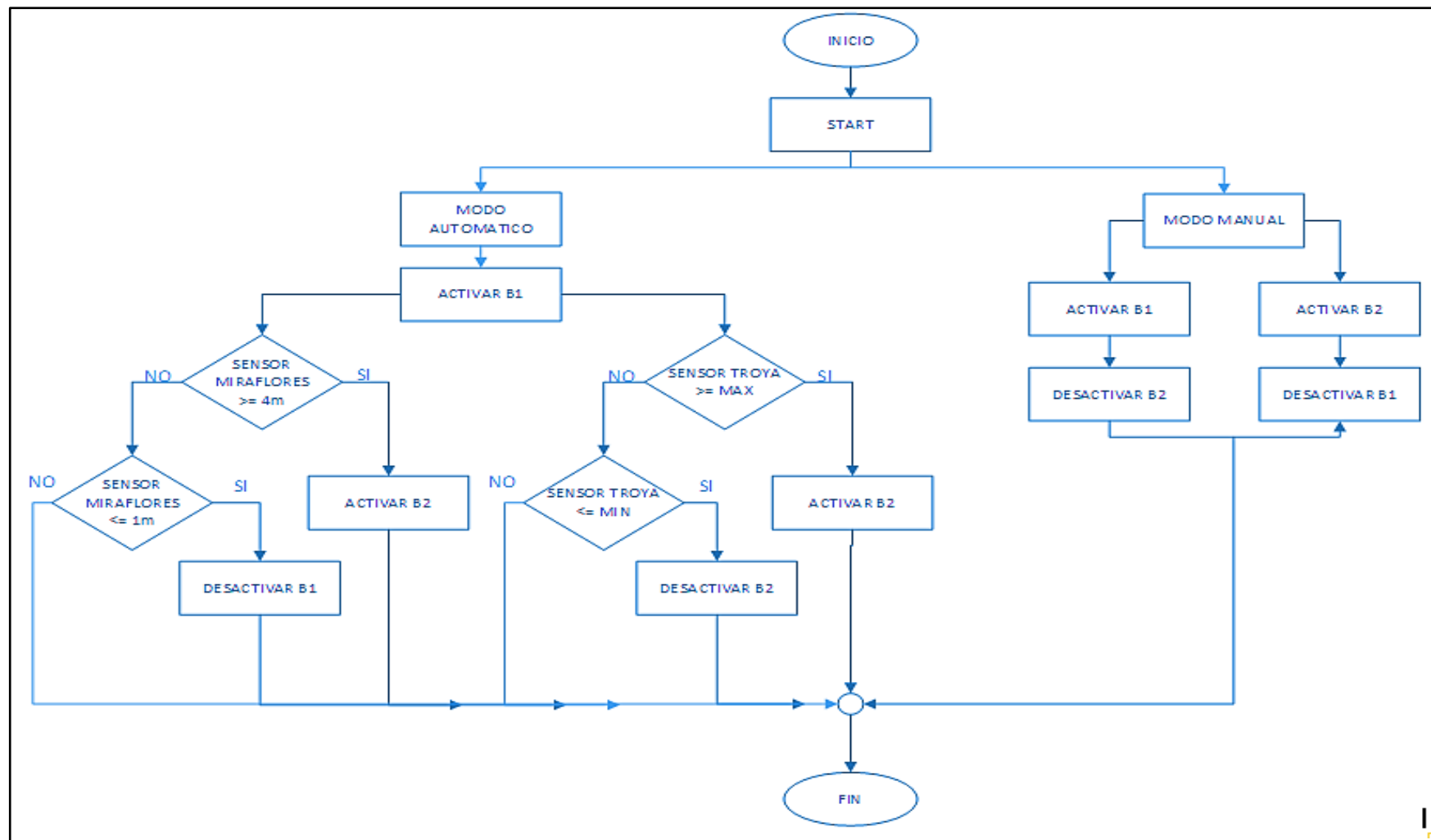


Figura 43: Diagrama de flujo del sistema de control de nivel para la cisterna de la estación Miraflores

Fuente: Viviana Jácome

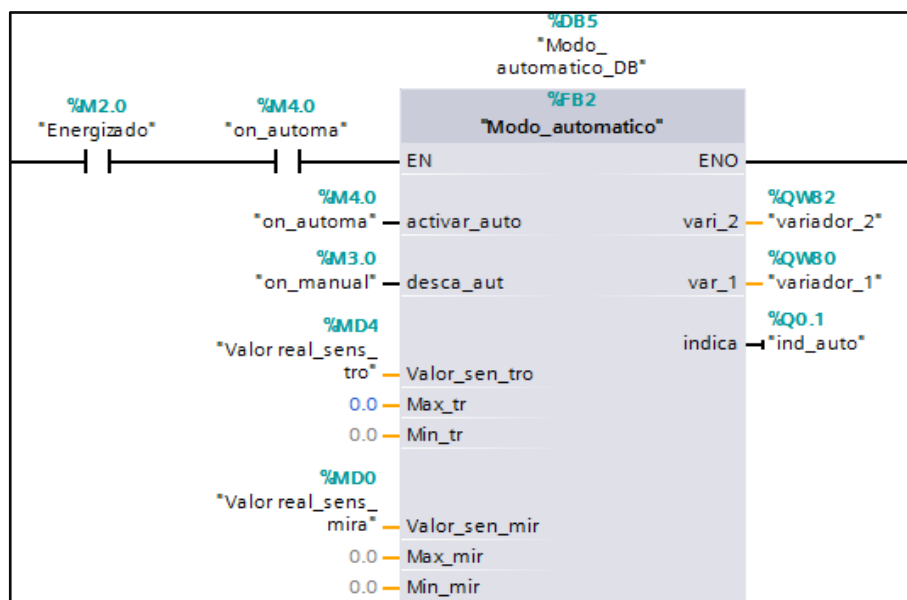


Figura 44: Bloque de programación Modo Automático

Fuente: Viviana Jácome

El modo manual tiene la capacidad de ser configurada a disposición del usuario, pudiendo activar o desactivar a gusto las bombas que controlan la succión del líquido en la estación de Miraflores. En la **Figura 45** se muestra el diagrama de bloque de la programación, modo manual para el control de la cisterna, donde se identifica sus respectivas entradas y salidas del bloque para el control manual del proceso.

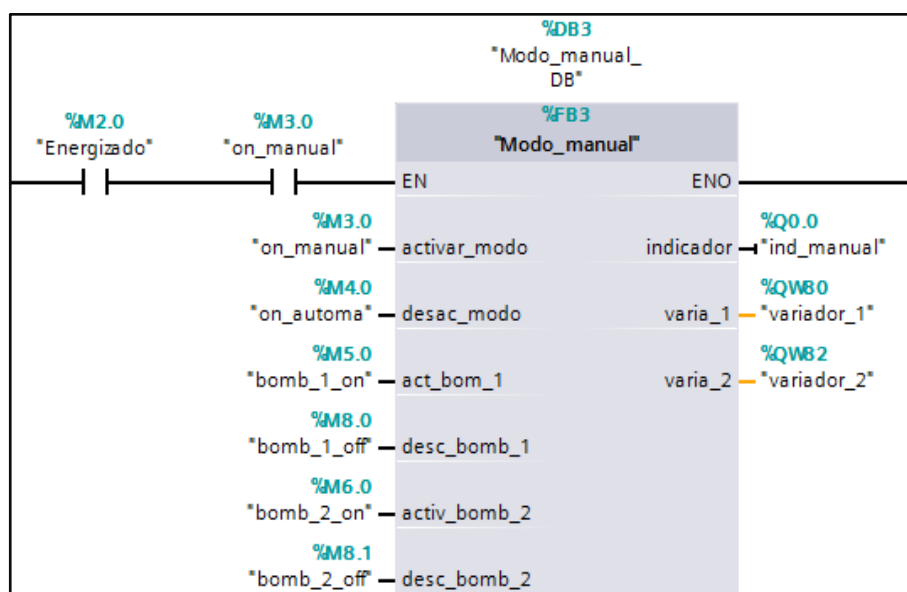


Figura 45: Bloque de programación modo manual

Fuente: Viviana Jácome

Una vez realizado toda la programación es necesario compilar el programa para determinar que no exista errores y poder transferir al PLC, para ello damos clic en la palabra compilar ubicado en la parte superior del software, ver **Figura 46**.

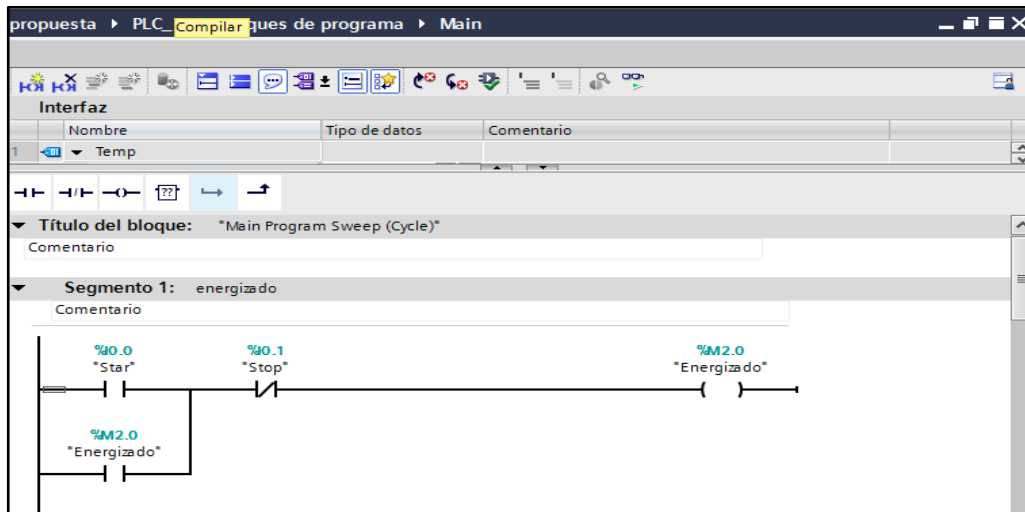


Figura 46: Compilación de la programación

Fuente: Viviana Jácome

Una vez compilado y previamente configurado los parámetros de comunicación entre el PLC y la computadora se procede a cargar la información al dispositivo, una forma segura de transferir el programa es dando clic derecho en el PLC y escoger la opción cargar en dispositivo todo, como se muestra en la **Figura 47** y **Figura 48**.

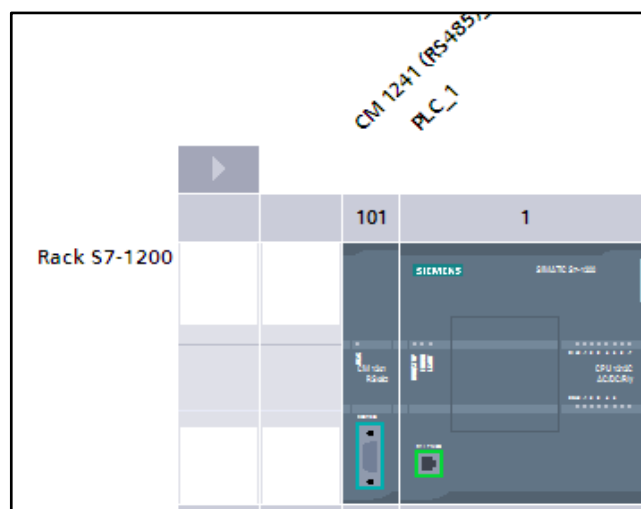


Figura 47: Adición del módulo de comunicación CM 124

Fuente: Viviana Jácome

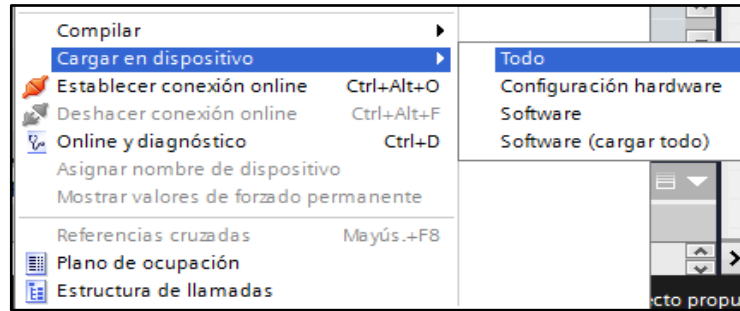


Figura 48: Cargar el programa en el dispositivo

Fuente: Viviana Jácome

4.10.3. Programación de los variadores

El proceso cuenta con dos variadores, los mismos que cuentan con comunicaciones MODBUS RS485, lo que nos permite tener un mejor control y un mejor desempeño, para poder realizar la comunicación entre el PLC y los variadores es necesario instalar la tarjeta de comunicación CM 124 que se conecta al lado izquierdo del PLC.

El número máximo permisible de estaciones que nos permite este tipo de comunicaciones de 8 iniciando desde 0 hasta 7.

En la siguiente **Figura 49** se observa el diagrama general de la red implantada con el PLC y los variadores.

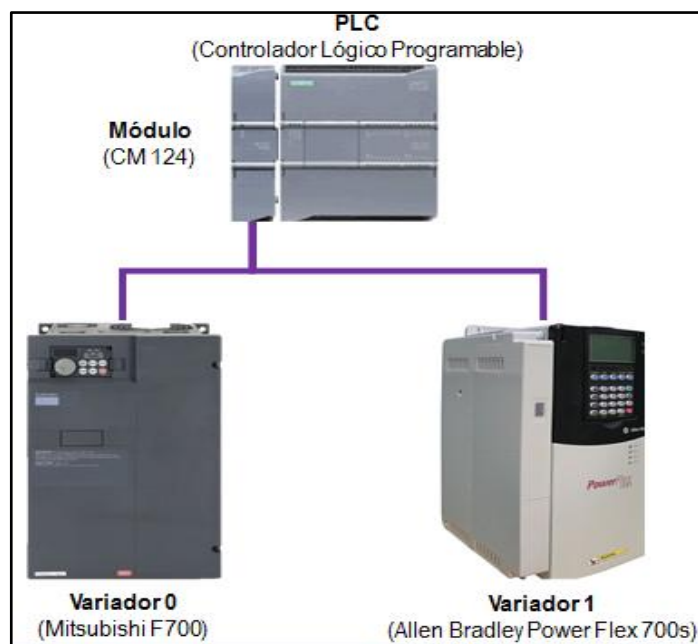


Figura 49: Diagrama general de la red

Fuente: Viviana Jácome

Para realizar la comunicación entre los variadores y el PLC debemos configurar los parámetros que nos permitirá establecer comunicación con los variadores, para ello estableceremos al PLC como maestro y los variadores, este proceso de debe configurar en el TIA PORTAL, como se muestra a continuación:

1. El primer paso es seleccionar los bloques de comunicación, los cuales se encuentra en la parte derecha del programa como se observa en la **Figura 50**.

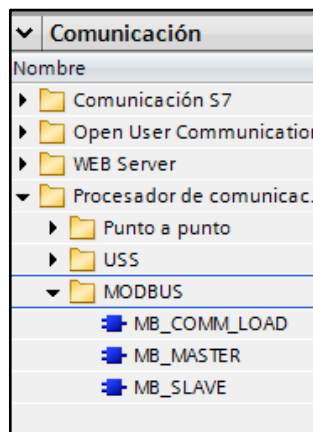


Figura 50: Selección Bloques de comunicación

Fuente: Viviana Jácome

2. El siguiente paso es seleccionar el bloque de configuración MODBUS (MB_COMM_LOAD), como se observa en la **Figura 51**.

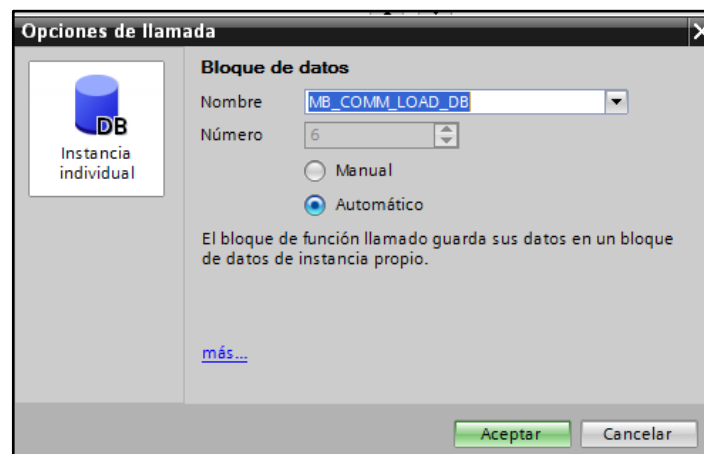


Figura 51: Configuración bloque MODBUS.

Fuente: Viviana Jácome

3. Luego de ello procedemos a configurar el bloque MODBUS **Figura 52**, los parámetros esenciales que debemos introducir son:

PORT: Es el puerto de comunicación en este caso es el módulo de comunicación.

BAUD: Es la velocidad de comunicación por defecto es 9600.

PARITY: En parida seleccionamos cero paridad.

MB_DB: Se indica el módulo de instancia del maestro para así definir el módulo de comunicación.

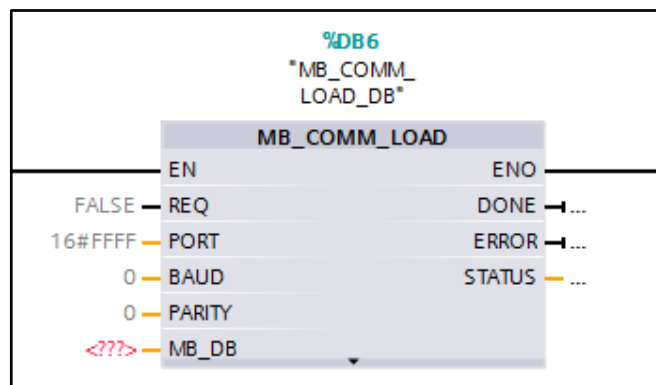


Figura 52: Bloque MODBUS

Fuente: Viviana Jácome

4. Procedemos a seleccionar el bloque para configurar al PLC como maestro, como se observa en la **Figura 53**.

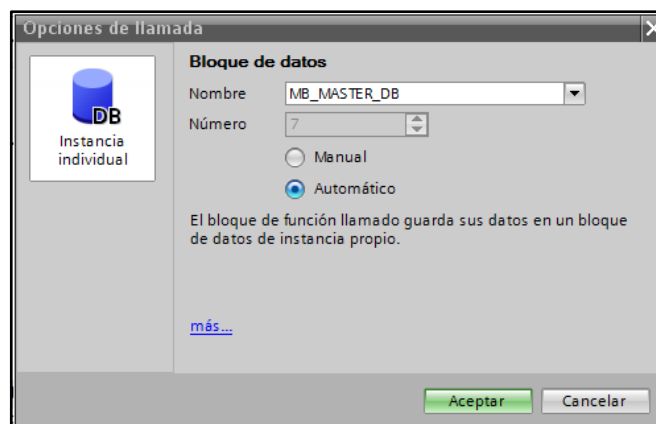


Figura 53: Bloque Maestro

Fuente: Viviana Jácome

5. En el bloque Master **Figura 54** debemos configurar los siguientes parámetros:

MB_ADDR: Se indica la dirección de la estación RTU de MODBUS con la que se ha de comunicar.

MODE: Ajusta el sentido de transmisión ("0" = lectura, "1" = escritura o funciones de diagnóstico adicionales).

MB_MASTER: Se tiene que llamar en el primer ciclo del programa (mediante la activación de una marca de ciclo, en la configuración hardware o llamado al OB 100 de arranque).

DATA_ADDR y DATA_LEN: Se indica la dirección de inicio MODBUS y la longitud de los datos (bits o palabras, en función de la dirección de inicio MODBUS elegida).

DATA_PTR: Configura la zona de envío y recepción local del maestro.

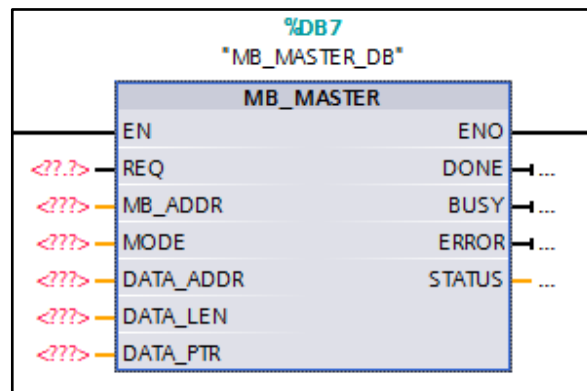


Figura 54: Configuración del bloque maestro de MODBUS

Fuente: Viviana Jácome

Programación variador Mitsubishi F700

Para la implementación del sistema de control se hace necesario configurar los parámetros (ver **Tabla 13**) los que permiten que el variador entre en operación mediante comunicación RS485.

Tabla 13: Parámetros para programar el variador Mitsubishi F700

| Parámetro | Significado | Ajuste de Fabrica | Valor a Programar |
|-----------|--|-------------------|-------------------|
| 331 | Número de estaciones | 0 | 0 |
| 332 | Velocidad de Transferencia | 96 | 192 |
| 333 | Longitud de bit de stop/longitud datos | 1 | 1 |
| 334 | Paridad | 2 | 2 |
| 335 | Intentos de repetición | 2 | 2 |
| 336 | Intervalos de tiempo de comunicación | 9999 | 9999 |
| 337 | Tiempo de espera | 9999 | 9999 |
| 338 | Mandato de servicio | 0 | 0 |
| 339 | Mandato de revoluciones | 0 | 0 |
| 340 | Clase de servicio tras arranque | 0 | 1 |
| 341 | Prueba de CR/LR | 1 | 0 |
| 342 | Selección de acceso a EPROM | 0 | 0 |
| 79 | Modo de operación | 0 | 0 |
| 549 | Selección de protocolo | 0 | 0 |

Fuente: Viviana Jácome

Una vez configurado los parámetros es necesario realizar las conexiones generales del variador en la **Figura 55 o Anexo 14** se presenta el diagrama de bloques del variador y en el **Anexo 13: Conexión del variador Mitsubishi al PLC**, se detalla la forma de conexión entre los equipos.

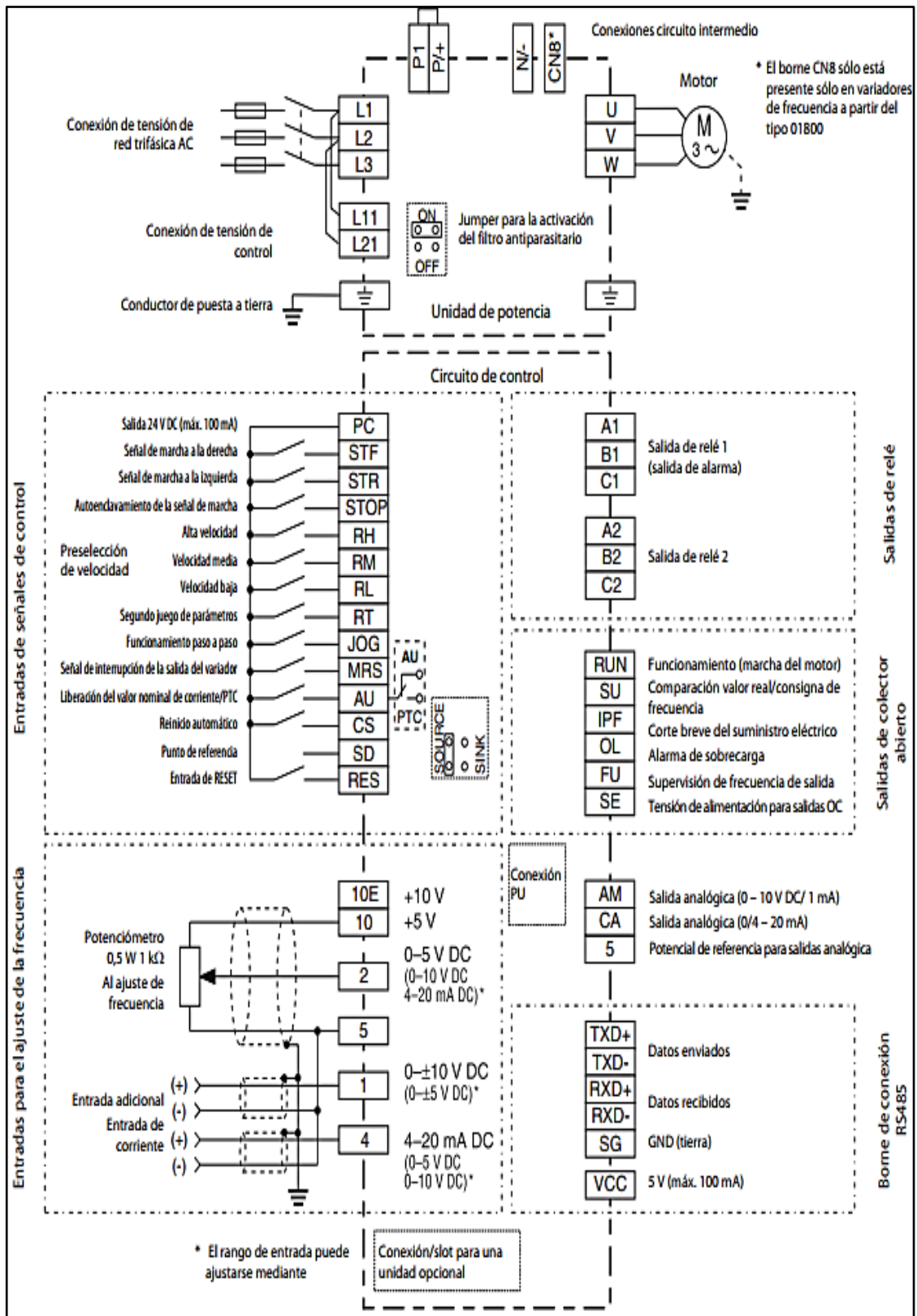


Figura 55: Diagrama general de conexión variador Mitsubishi F700s

Fuente: Viviana Jácome

Programación variador Allen Bradley Power Flex 700

El software muestra los parámetros de la programación en la "Lista Lineal". El formato de parámetros simplifica la programación mediante la agrupación de los parámetros que se utilizan para funciones similares. Hay 12 archivos que se muestran en la **Figura 56**.

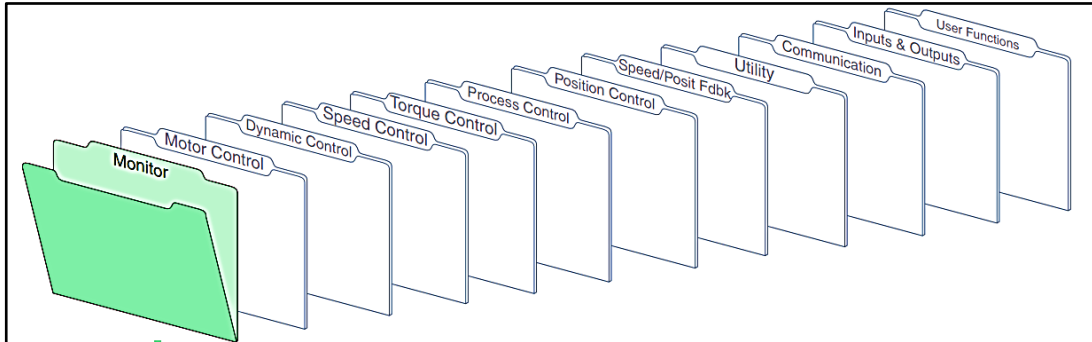


Figura 56: Lista Lineal

Fuente: Viviana Jácome

Cada archivo se divide en múltiples grupos de parámetros como muestra la **figura 57**, una vez configurado los parámetros es necesario realizar las conexiones generales del variador en la **Figura 58** se presenta el diagrama general de conexión y en el **Anexo 15:** Conexión del Variador se detalla la forma de conexión entre los equipos.

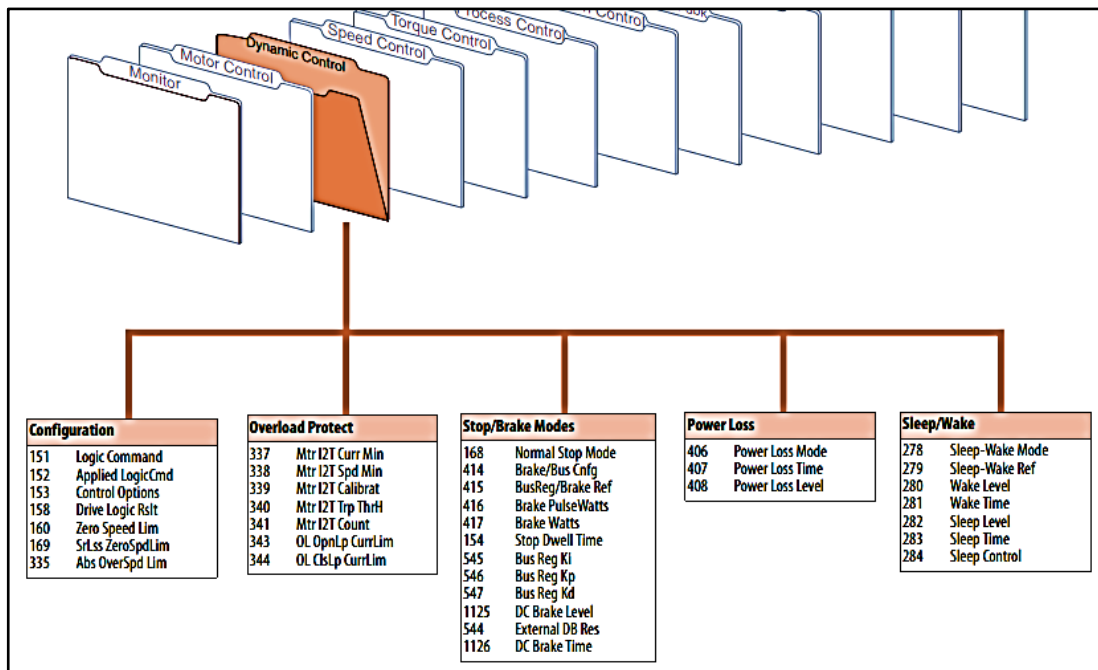


Figura 57: Parámetros de programación

Fuente: Viviana Jácome

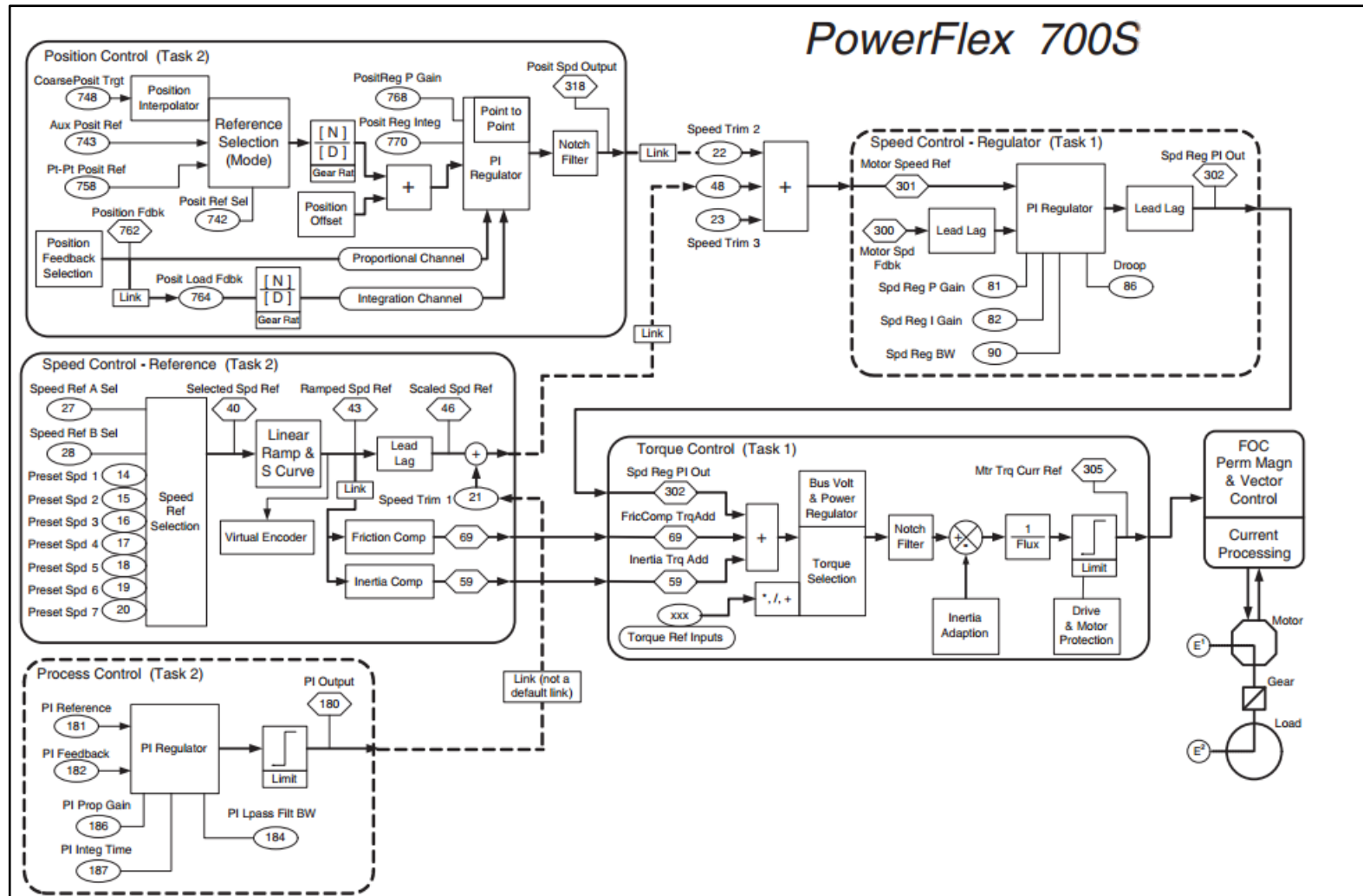


Figura 58: Diagrama general de conexión variador Allen Bradley Power Flex 700

Fuente: Viviana Jácome

4.11. Diseño de los planos eléctricos del sistema a automatizarse.

El diseño de los planos eléctricos y la distribución dentro de un tablero van de la mano, se debe recordar que por regla general los equipos que generen alta tensión deben estar alejados de los que generan baja tensión y de los de tipo lógico.

Los equipos electrónico así como el PLC generan calor y deben ser ubicados en la parte más fría del armario esto permite alargar la vida útil y el correcto funcionamiento del mismo.

A continuación se muestra en la **Figura 59** la conexión esquemática entre el PLC y sus diferentes dispositivos.

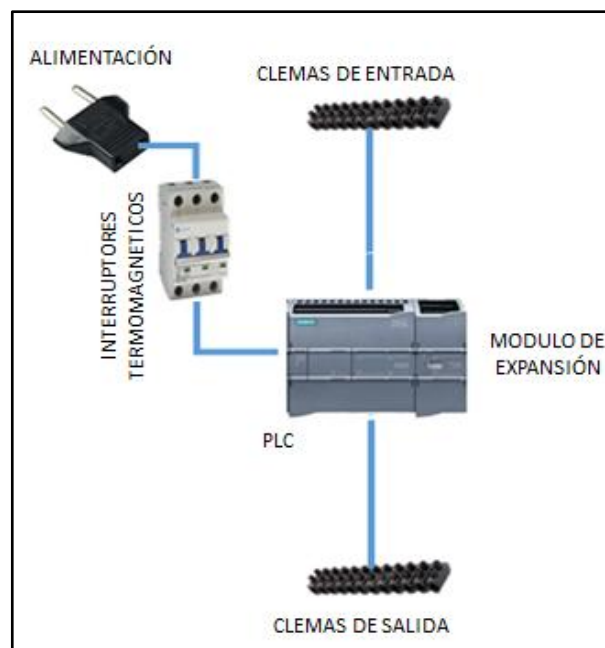


Figura 59: Conexión esquemática entre el PLC y sus dispositivos.

Fuente: Viviana Jácome

Dentro del armario se debe diseñar rutas específicas para el cableado, ya que no deber ir por la misma canaleta cables de comunicación con cables eléctricos.

Los variadores de frecuencia deben ser ubicados en zonas donde la temperatura no sea menos a -10°C ni mayor a 50°C , los variadores no deben ser manejados ni ubicados en zonas donde:

- Tenga exposición al sol.
- Vibración
- En posición Horizontal.
- Cerca de aceites o sustancia inflamables.

En la **Figura 60** podemos observar la representación esquemática del variador con sus dispositivos de protección y control.



Figura 60: Representación esquemática del variador con sus dispositivos

Fuente: Viviana Jácome

La representación esquemática completa de todos los equipos que intervienen en el sistema, se muestra a continuación en la **Figura 61**, iniciando desde el controlador lógico programable, que a su lado izquierdo tiene el módulo de comunicación, que enlaza a los variadores que a su vez controlaran a las bombas, para la impulsión de agua potable hacia los tanques de almacenamiento, así como también recepta y convierte la señal emitida por el sensor Senix para conocer el nivel de agua que presenta la cisterna.

Para la instalación del PLC se considera las especificaciones técnicas del S7-1200 el cual se puede instalar en un armario provisto de ventilación natural sobre un perfil riel. Para proteger de la intemperie y para que resista las condiciones de uso más extremo en las industrias, los equipos deben ir montados en cofres o armario. Todos los elementos que intervienen directa e indirectamente en el proceso deben ser ubicados correctamente dentro de un tablero que cumpla con las especificaciones técnicas normales para los alojamientos de los equipos, en la **Figura 62** podemos observar el diagrama esquemático en forma general del armario. En el **Anexo 16: Tablero de Control**, se detalla los planos de la distribución de los diferentes dispositivos dentro del armario.

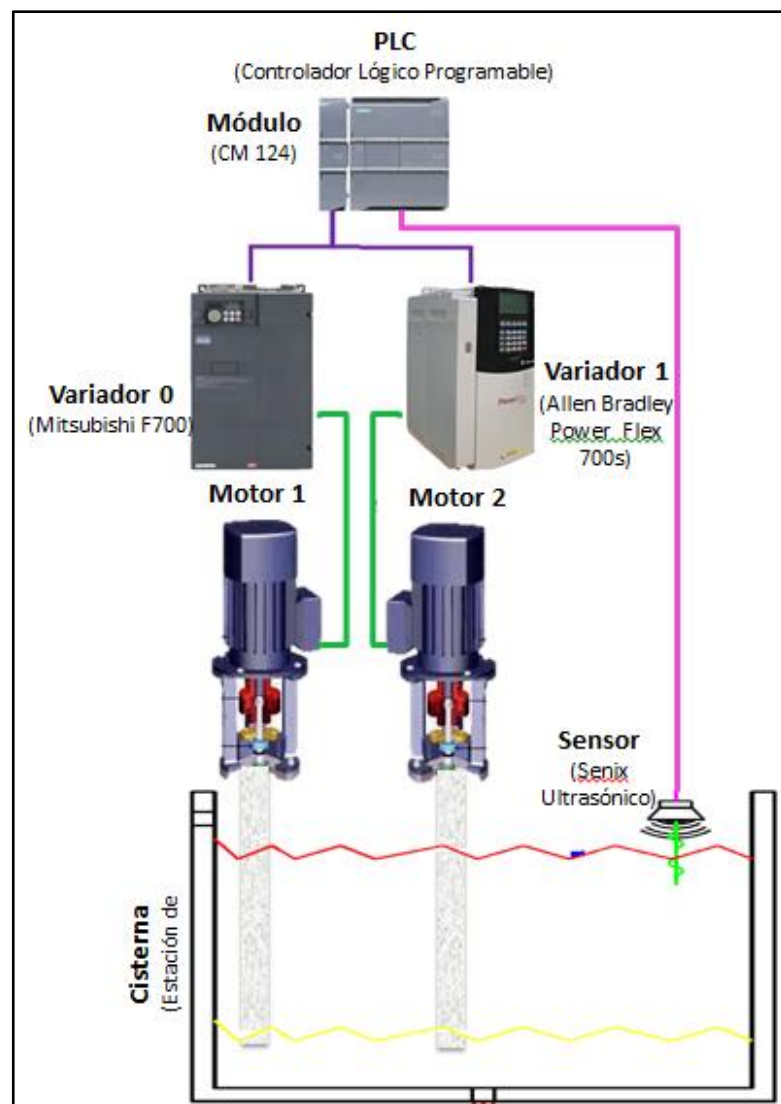


Figura 61: Esquema de conexión completa
Fuente: Viviana Jácome

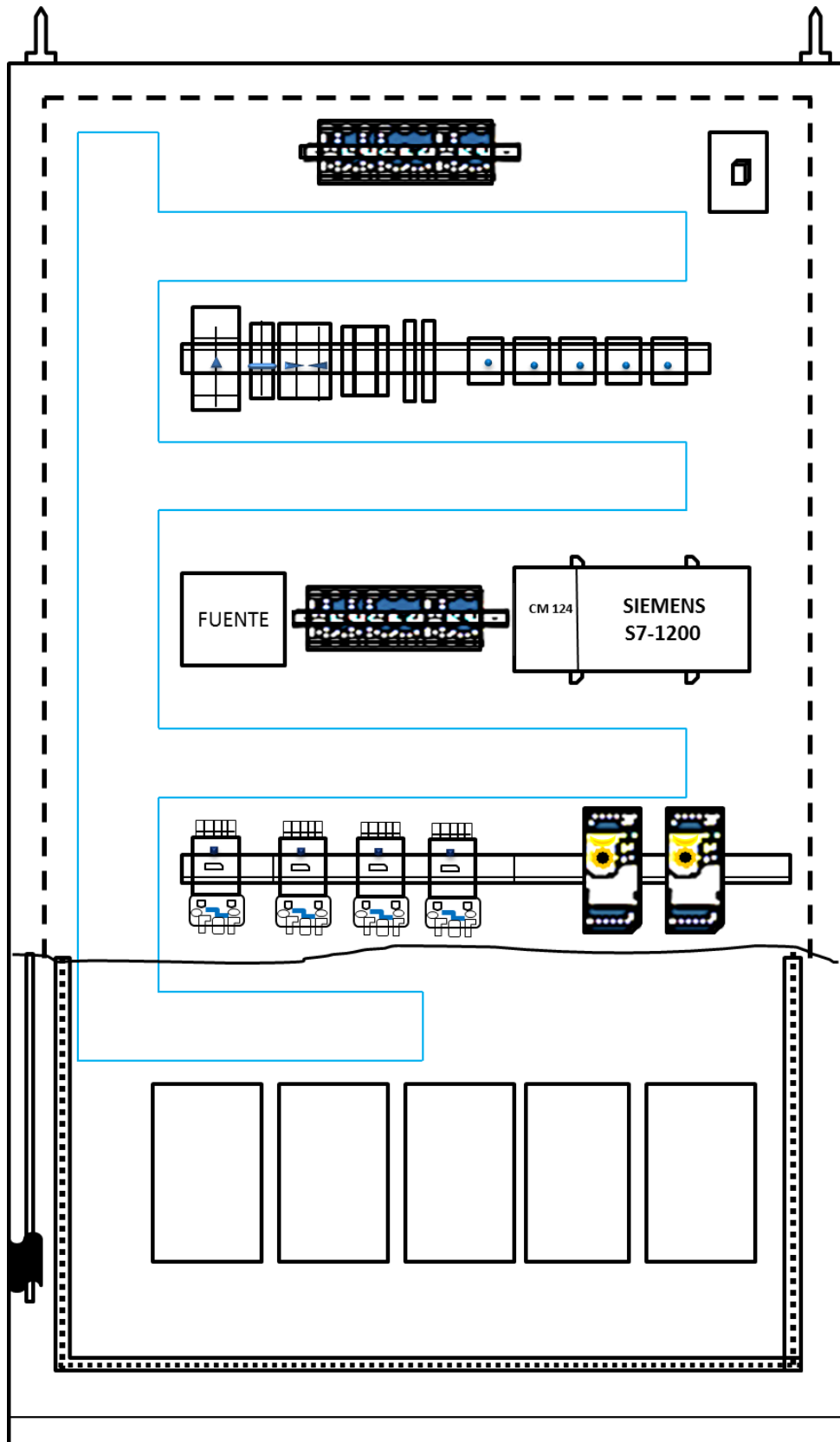


Figura 62: Diagrama esquemático del armario

Fuente: Viviana Jácome

4.12. Pruebas de simulación del proceso implementado.

Para la simulación debemos hacer uso de un sistema HMI, **Anexo 17**, esto permite verificar si todos los parámetros cumplen con las condiciones requeridas por la empresa. El software que se utiliza para realizar la simulación es Intouch el mismo nos permite enlazar las Tags del PLC hacia la pc para establecer una comunicación y verificar todo el proceso, de la misma manera como si estuviéramos implementando dentro de la empresa, con la ventaja de que Intouch permite realizar una y otra vez las pruebas necesarias hasta que cumplan las condiciones requeridas.

Para la simulación se implementó 5 ventanas la primera es el menú de usuario donde se elige la ventana que desea observar y analizar.

La pestaña general muestra el recorrido de la materia prima desde la captación hasta el descargue hacia la ciudadanía, en la **Figura 63** se observa con detalle el trayecto del fluido.

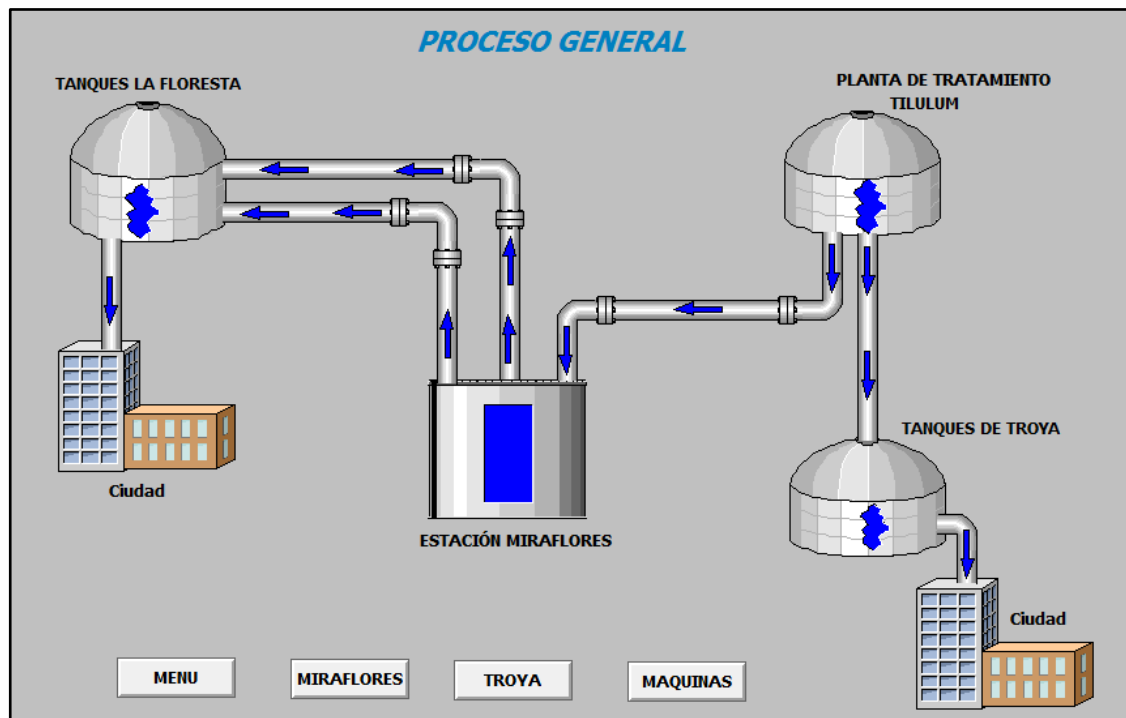


Figura 63: Pantalla del Proceso General

Fuente: Viviana Jácome

La ventana más importante dentro de la verificación y realización de pruebas es la ventana que se titula Miraflores, en la cual verificamos todos los controles,

restricciones, comunicaciones, es en esta ventana donde podemos darnos cuenta de errores y aciertos al momento de realizar la programación del controlador y realizar los cambios que se crea conveniente para optimizar, mejorar o corregir el control del proceso. En la **Figura 64** podemos apreciar la pestaña Miraflores y sus diversos componentes.

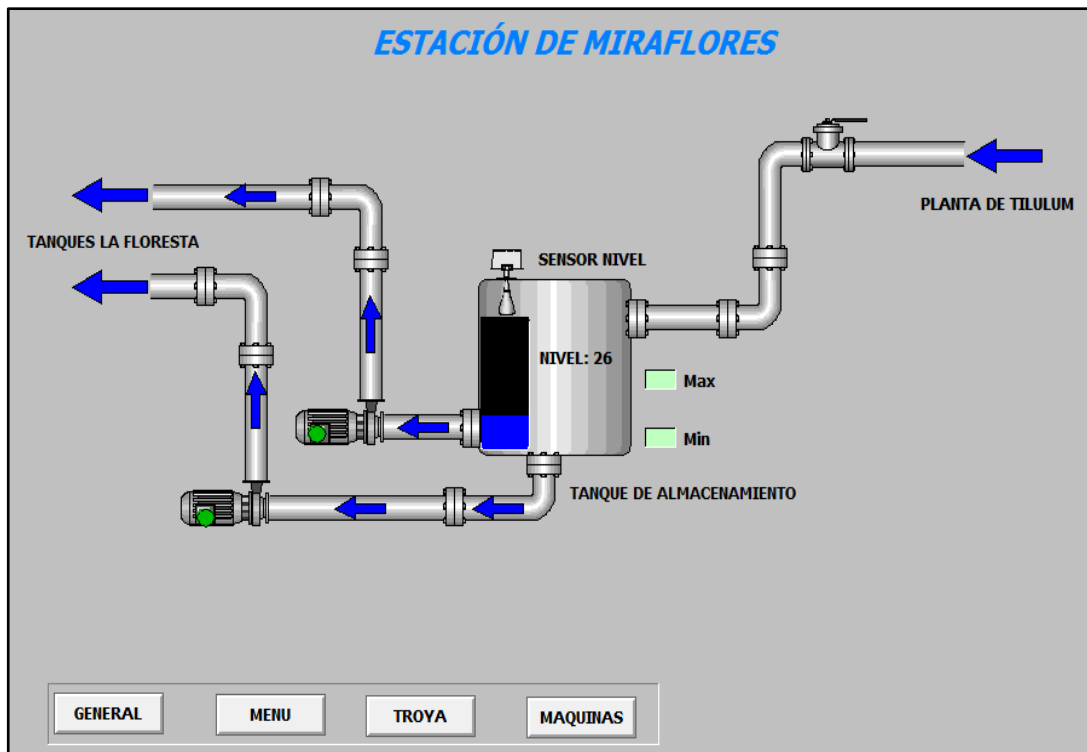


Figura 64: Pantalla de Estación Miraflores

Fuente: Viviana Jácome

En la ventana Troya esta una mínima parte de la programación es por ello que también es de importancia para la simulación y verificación del funcionamiento del proceso, en la **Figura 65** podemos ver el diseño y trayecto del flujo en los tanques de Troya.

La ultima pestaña y no menos importante es la denominada máquinas, es donde se encuentra los pulsadores, botoneras, luces piloto, los mismos que nos indica el funcionamiento de cada elemento que intervienen directamente e indirectamente en el proceso, así como los mandos para cada una de las opciones que dispone en el sistema, en la **Figura 66** se observa como está distribuido la pantalla para la simulación.

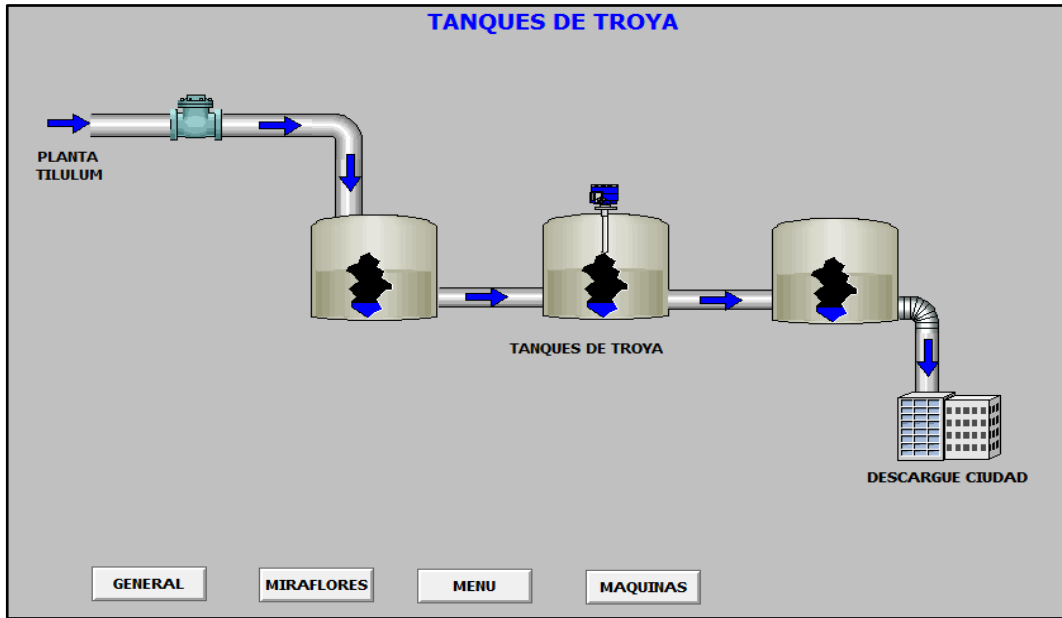


Figura 65: Pantalla de Estación Troya

Fuente: Viviana Jácome

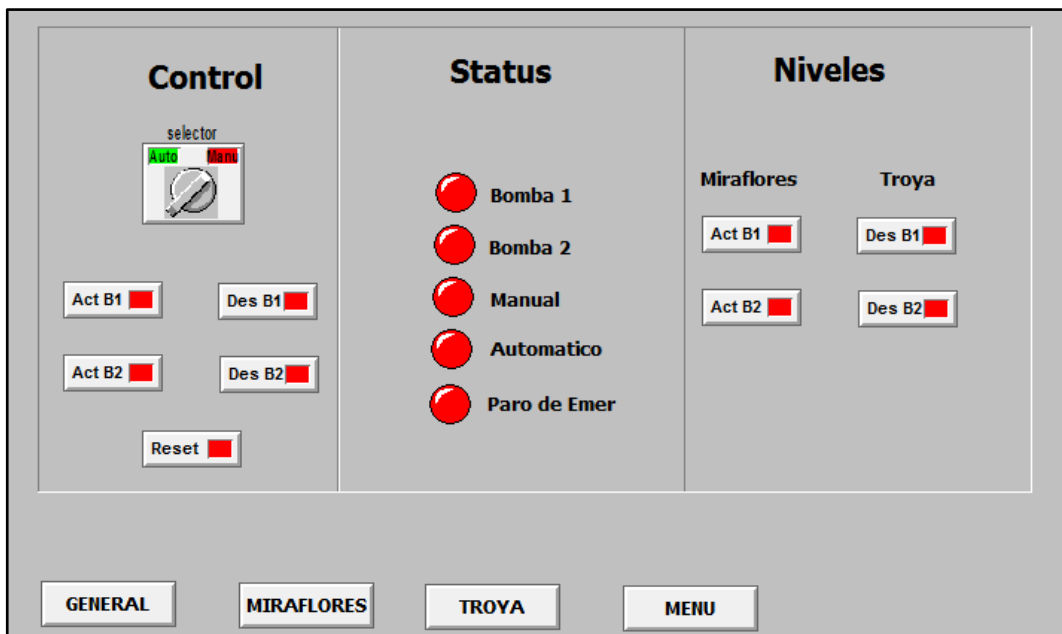


Figura 66: Pantalla de Controles

Fuente: Viviana Jácome

Una vez realizada las pruebas y evaluaciones se procedió a implementar el sistema en la estación de bombeo Miraflores, las fotografías se muestran en el **Anexo 18**.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La capacidad de la cisterna ubicada en la estación de bombeo Miraflores revela los niveles máximos y mínimos, necesarios para la programación de la automatización del sistema.
- Definidas las características del Sensor Senix TSPC-30S instalado, se puede destacar su largo alcance, montaje rápido, carcasa sellada y sensibilidad ajustable necesarias para ser usado en la automatización de bombeo de la estación Miraflores.
- La realización de los diagramas de procesos e instrumentación (P&ID) demuestra claramente el proceso que se va a controlar, así como en los planos eléctricos constan los elementos que intervienen directa en él.
- Para realizar las pruebas de funcionamiento previo a su instalación se diseñó un HMI en la plataforma Intouch, el mismo inicia con un tablero de control que nos guía a las estaciones que forman parte del sistema automatizado y a través del cual se realizaron ajustes al controlador y cambios en las restricciones, brindando así un sistema apropiado para ser instalado o adaptado en otras estaciones.
- La automatización de la cisterna en la Estación Miraflores optimiza los recursos físicos e hídricos tanto de la Estación Miraflores como de los Tanques de almacenamiento de Troya.

5.2. Recomendaciones

- Aplicar el programa de mantenimiento preventivo de la empresa para garantizar el funcionamiento idóneo del sistema automatizado, así como de los equipos y elementos que intervienen en la estación de bombeo Miraflores.
- Realizar la limpieza y desinfección de tanques y cisterna de agua potable
- Interpretar de manera apropiada los manuales e instructivos para la correcta operación del sistema automatizado.
- Analizar nuevamente las características del sensor en caso de implementar el sistema automático en otras instalaciones, ya que cada cisterna o tanque cuentan con datos de capacidad variables.

BIBLIOGRAFÍA O REFERENCIAS

- [1] P. Arrojo, «Los retos éticos de la nueva cultura del agua,» *POLIS Revista Latino Americana*, vol. I, n° 14, pp. 1-27, 2006.
- [2] Senplades, «Secretaría Técnica para la Erradicación de la Pobreza». Ecuador Patente 2014, 01 julio 2014.
- [3] Gobierno Pprovincial De Tungurahua, «Programa de aguas y cuencas del Tungurahua,» Consorcio CES - GFA, Informe, Ambato, 2011.
- [4] E.-. EMAPA, «www.emapa.gob.ec,» Todos los Derechos Reservados., 02 01 2012. [En línea]. Available: <http://www.emapa.gob.ec/pagina.php?id=2>. [Último acceso: 21 12 2013].
- [5] J. A. Cortés Osorio, J. A. Mendoza Vargas y J. A. Muriel Escobar, «Control y supervisión de un sistema pick and place neumático a través de un PLC y un sistema SCADA,» *Scientia et Technica*, vol. II, n° 50, pp. 141-146, 2012.
- [6] D. A. López López y G. E. Sánchez Navarrete, «Diseño e Implementación del Sistema SCADA para el Dosificador de Polímero de la Planta de Tratamiento de agua potable del Casigana de EMAPA,» ESPE, Tesis de Grado, Latacunga, 2008.
- [7] J. A. Pedraza Martínez y C. Espino Godíne, «Estudio Integral de Sistemas de Bombeo de Agua Potable Municipal». México, D.F., Octubre 2011.
- [8] C. Lucero, «“Sistema de bombeo hidráulico aplicado a completaciones dobles para la producción de petróleo”,» Universidad Tecnológica Equinoccial, Tesis de Grado, Quito, 2003.
- [9] O. P. d. I. Salud, «Guías para el Diseño de Estacion de Bombeo de Agua Potable,» Lima, 2005.
- [10] A. G. López Delgado y J. C. Sánchez Ramírez, «Diseño de cisternas de ferrocemento, analisis economica, constructivo y cualitativo ante cisternas de hormigon armado y cisternas plasticas,» Cuenca, 2011.
- [11] E. Blanco Marigorta, S. Velarde Suárez y J. Fernández Francos, «www.unioviedo.es,» Universidad de Oviedo, Tesis de Grado, Gijón, 1994.
- [12] A. Flores Arenas, «Automatización de una planade bombeo de aguas residuales». México, D.F., Septiembre 2009.

- [13] L. A. Reinoso Soria, «Sensor de Movimiento de Flujo para Adquisición de Datos en el Tanque de la Estación San Francisco – EMAPA,» UTA, Tesis de Grado, Ambato, 2008.
- [14] S. AG, S7-1200 Easy Book, Alemania: Copyright, 2009.
- [15] F. Sevillano Calvo, *Folleto de Electricidad - Electrónica*, Zaragoza: El Autor, 2010-2011.
- [16] B. Kinsolver, «El agua fuente de vida,» 29 06 2011. [En línea]. Available: <http://www.ngenespanol.com/articulos/304132/agua-dulce/>. [Último acceso: 20 12 2013].

ANEXOS

ANEXO 1. Fotografías de los sistemas de agua potable

ANEXO 2. Planos de la Cisterna ubicada en la estación Miraflores

ANEXO 3. Diagrama P&ID

ANEXO 4. Diagrama de control de los variadores

ANEXO 5. Circuito de potencia de variadores

ANEXO 6. Diagrama de flujo del funcionamiento de la Estación de
Bombeo Miraflores

ANEXO 7. Data Sheet del Sensor Senix **TSPC-30S**

ANEXO 8. Conexión del transductor

ANEXO 9. Entradas de PLC

ANEXO 10. Conexión de salida del PLC

ANEXO 11. Programación

ANEXO 12. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de control
de nivel para la cisterna de la Estación Miraflores

ANEXO 13. Conexión del variador Mitsubishi al PLC

ANEXO 14. Conexión general del variador Mitsubishi FR-F700

ANEXO 15. Conexión general del variador Allen Bradley Power Flex
F700s

ANEXO 16. Tablero de Control

ANEXO 17. Simulación del Sistema HMI en Intouch

ANEXO 18. Fotografías de la Implementación

ANEXO 19. Programa de Mantenimiento Preventivo