

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**PROYECTO INTEGRADOR**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN PARA EL  
MONITOREO Y CONTROL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DEL CAMPAMENTO LA LOMA DE LA  
CENTRAL CCS.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**PATRICIO IVÁN CALDERÓN TACURI**

patricio.calderon@epn.edu.ec

**DIRECTOR: ING. PROAÑO CHAMORRO PABLO ANDRÉS**

pablo.proano@epn.edu.ec

**CODIRECTOR: ING. FABIO GONZÁLEZ**

fabio.gonzalez@epn.edu.ec

**Quito, Febrero 2019**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Patricio Iván Calderón Tacuri, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Pablo Proaño Chamorro**

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

**Ing. Fabio González**

**CODIRECTOR DEL PROYECTO**

## **DECLARACIÓN**

Yo Patricio Iván Calderón Tacuri declaro bajo juramento que el trabajo presentado a continuación es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que consta de las referencias bibliográficas apropiadas según dicta la norma, que serán incluidas en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Patricio Iván Calderón Tacuri**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente a Dios, por haber llegado a culminar mi carrera, a todos mis profesores de la Escuela Politécnica Nacional.

A mi familia, por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A mi madre Guadalupe Tacuri le agradezco por todo el sacrificio y esfuerzo realizado para ayudarme en mis estudios, y gracias a esto me encuentro en este momento culminando mi carrera, además del apoyo que me brindó en los momentos más difíciles para mí, gracias por sus consejos, enseñanzas, y su infinito amor hacia sus hijos.

Agradezco al Ing. Pablo Proaño por su tiempo, paciencia y dedicación que brindó hacia este proyecto y mi persona para alcanzar el objetivo propuesto.

Agradezco al Ing. Fabio González por su cooperación y aporte para culminar con éxito el proyecto presentado a continuación.

**Patricio Calderón T.**

iii

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado a mi madre Guadalupe Tacuri como también a mi esposa Sandra Correa por su apoyo incondicional y por ser el motor que me ha impulsado a seguir adelante durante toda mi carrera profesional.

Patricio Calderón T.

## TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN .....	i
DECLARACIÓN .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
TABLA DE CONTENIDO .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Descripción del problema .....	3
1.3 Justificación .....	4
1.4 Objetivos .....	4
2. METODOLOGÍA .....	5
2.1 Descripción metodológica .....	5
3. EJECUCIÓN Y RESULTADOS .....	9
3.1 Diseño del sistema de monitoreo y control .....	9
3.1.1 Diseño de los planos de conexión .....	9
3.1.2 Diseño del sistema de control .....	14
3.2 Requerimientos de la planta de tratamiento de aguas residuales .....	15
3.2.1 Medición de espacio para el nuevo tablero .....	15
3.2.2 Elementos necesarios para el nuevo sistema de monitoreo y control .....	15
3.2.3 Selección del gabinete .....	17
3.2.4 Contactores para accionamiento de las bombas de 1HP .....	19

v

3.2.5 Selección del programador lógico programable.....	22
3.2.6 Selección de las antenas .....	25
3.2.7 Selección del Sensor de Nivel.....	27
3.3 Construcción del tablero de control principal .....	27
3.3.1 Adecuación mecánica del gabinete .....	28
3.3.2 Instalación de elementos electromecánicos .....	29
3.3.3 Cableado de elementos electromecánicos .....	30
3.3.4 Etiquetado de cables y rotulación del panel frontal.....	32
3.3.5 Operación manual y automática de los tableros .....	33
3.4 Implementación del sistema de monitoreo y control .....	38
3.4.1 Programación del PLC .....	38
3.4.2 Diseño de la Interfaz de Monitoreo.....	43
3.4.3 Creación de la base de datos.....	44
3.5 Radio Enlace.....	45
3.5.1 Simulación de la factibilidad del enlace .....	47
3.5.2 Configuración de las antenas .....	51
3.6 Pruebas y análisis de resultados .....	52
3.6.1 Pruebas de operación mecánica de los elementos .....	52
3.6.2 Pruebas de continuidad del cableado.....	53
3.6.3 Pruebas de funcionamiento de los tableros.....	54
3.6.4 Pruebas de latencia al radio enlace.....	57
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	58
4.1 Conclusiones .....	58
4.2 Recomendaciones .....	59
5. BIBLIOGRAFÍA.....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama esquemático de monitoreo y control .....	5
Figura 2. Diagrama de Fuerza PTAR .....	9
Figura 3. Diagrama de conexión relés 24 (V) .....	10
Figura 4. Diagrama de control 220 (V) .....	11
Figura 5. Diagrama de conexión entradas y salidas del PLC .....	13
Figura 6. Dimensiones del tablero de control .....	17
Figura 7. PLC Siemens S7-1200 CPU AC/DC/RLY .....	23
Figura 8. Fuente de Voltaje 220 (V) / 24 (V).....	24
Figura 9. Relé con Bobina de 24 (V) .....	25
Figura 10. Relé con Bobina de 220 (V) .....	25
Figura 11. Antena Nano Station loco M2.....	26
Figura 12. Sensor de nivel ultrasónico .....	27
Figura 13. Placa interior del gabinete con canaletas y rieldin .....	28
Figura 14. Distribución de los elementos en la tapa del tablero.....	28
Figura 15 . Distribución de los elementos en interior del gabinete.....	30
Figura 16. Cableado de la puerta del gabinete.....	30
Figura 17. Conexión de contactores y guardamotores .....	31
Figura 18 . Etiquetado de cables.....	32
Figura 19 . Rotulación elementos panel frontal .....	32
Figura 20. Tablero de Control Principal .....	33
Figura 21. Operación manual de la bomba de floculación .....	34
Figura 22. Simulación de fallos de las bombas .....	35
Figura 23. Operación automática de la bomba de floculación .....	35
Figura 24. Operación automática de la bomba de ablandamiento.....	36
Figura 25. Tablero de Control de las Bombas de Presión .....	37
Figura 26. Operación automática de la bomba de presión 4 .....	37
Figura 27. Operación de las bombas de la PTAR .....	39
Figura 28. Nivel de agua residual.....	41
Figura 29. Interfaz de monitoreo y control.....	43
Figura 30. Esquema de conexión de las antenas.....	44



Figura 31. Patrón de azimuth de la antena yagi .....	47
Figura 32. Distancia entre transmisor y receptor .....	48
Figura 33. Perfil topográfico PTAR - Oficina de Administración.....	48
Figura 34. Simulación radio enlace .....	50
Figura 35. Factibilidad del radio enlace .....	51
Figura 36. Configuración wireless esclavo .....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Asignación de entradas y salidas del PLC.....	12
Tabla 2. Variables PTAR.....	14
Tabla 3. Lista de Materiales y Elementos usados en la PTAR .....	16
Tabla 4. Grados de protección IP de los tableros .....	18
Tabla 5. Estudio Técnico de Cargas de la PTAR .....	19
Tabla 6. Asignación de las Protecciones utilizadas .....	22
Tabla 7. Variables Simuladas.....	42
Tabla 8. Base de Datos.....	45
Tabla 9. Espectro de Radio Frecuencia .....	45
Tabla 10. Coordenadas de los puntos a enlazar .....	49
Tabla 11. Operación mecánica de los dispositivos.....	53
Tabla 12. Revisión de continuidad en el circuito de control .....	53
Tabla 13. Revisión de continuidad en el circuito de fuerza.....	54
Tabla 14. Pruebas de funcionamiento manual y automático .....	55
Tabla 15. Pruebas de funcionamiento de guardamotores y flotadores de bajo nivel .....	56
Tabla 16. Pruebas de Latencia .....	57

## RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales se basa en un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como propósito eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo principal del tratamiento es producir agua limpia o reutilizable para el medioambiente.

La presente investigación tuvo objetivo general, implementar un sistema de monitoreo y control en la planta de tratamiento de aguas residuales del campamento la loma de la central Coca Codo Sinclair, este proyecto integrador facilita las actividades diarias que realizan los habitantes dentro del campamento ya sea desde el aseo personal hasta la cocción de alimentos.

El nuevo sistema principalmente consta de un tablero de control principal, donde se encuentra un PLC Siemens S7-1200 que funciona como el cerebro del sistema, al cual confluyen todas las variables de entrada y salida de cada uno de los dispositivos que operan en la planta, también se implementó un radio enlace de 200 (m) con dos antenas nano station loco M2 de tipo directivas entre PTAR y la oficina de administración, para el monitoreo de la planta se diseñó una interfaz de usuario con el software wincc runtime profesional disponible en el TIA portal.

Palabras clave: PTAR, PLC, SCADA, radioenlace.

## **ABSTRACT**

Wastewater treatment is based on a set of physical, chemical and biological processes that have the purpose of eliminating the pollutants present in effluent water for human use. The main objective of the treatment is to produce clean or reusable water for the environment.

The present investigation had a general objective, to implement a monitoring and control system in the wastewater treatment plant of the camp at the Coca Codo Sinclair hill, this integrating project facilitates the daily activities carried out by the inhabitants within the camp either from Personal hygiene until the cooking of food.

The new system mainly consists of a main control board, where there is a Siemens S7-1200 PLC that functions as the brain of the system, to which all the input and output variables of each of the devices operating in the plant converge. , a radio link of 200 (m) was also implemented with two nano station antennas, crazy M2 of type directives between PTAR and the administration office, for the monitoring of the plant a user interface was designed with the wincc runtime professional software available in the TIA portal.

Keywords: PTAR, PLC, SCADA, radio link.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

En el estado mexicano de Hidalgo situada en Atotonilco existe la planta de tratamiento de aguas residuales más grande del mundo, La planta ha sido diseñada para un caudal máximo en tiempo de lluvias de 50 (m<sup>3</sup>/s), siendo su caudal medio de 42 (m<sup>3</sup>/s) en la época de lluvias y de 35 (m<sup>3</sup>/s) en la temporada de estiaje, lo que representa un caudal medio diario de 3.628.800 (m<sup>3</sup>/día) y de 3.024.000 (m<sup>3</sup>/día) en cada una de las épocas indicadas y permite depurar las aguas residuales de una población de 12.600.000 habitantes equivalentes de la Ciudad de México. [1]

El consorcio PTAR Las Esclusas, está construyendo la planta de tratamiento de aguas residuales Las Esclusas en Guayaquil Ecuador. La construcción de la planta cuenta con una capacidad máxima de 630.000 (m<sup>3</sup>/día), también se realiza la renovación del equipo de la estación de bombeo, así como la construcción de un ducto de alta presión conectado a la planta y un emisario bajo el río Guayas. El consorcio está integrado por la constructora local Hidalgo & Hidalgo y la multinacional de tratamiento de aguas Wabag. Las Esclusas se pondrán en marcha en 2019. [2]

Entonces, se puede destacar la importancia de una PTAR, ya sea la más grande o una de menor tamaño, beneficia al medio ambiente y la salud de las personas al ofrecer calidad y disponibilidad de agua, como líquido vital importante en la vida diaria de los seres humanos.

Según lo define NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos), un PLC (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos. [3]

En el PLC interactúan por un lado interruptores, pulsadores, finales de carrera, sensores, como señales de entrada para producir un efecto determinado a la salida en actuadores, motores, indicadores luminosos.

Estos controladores son dispositivos altamente utilizados en las industrias ya que permiten el monitoreo y control para tomar decisiones y acciones en forma rápida en tiempo real.

Las redes industriales como elemento de comunicación entre ordenadores y controladores permiten el control distribuido de los sistemas de automatización.

El Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA), permite recopilar y analizar datos en tiempo real, es un concepto que se utiliza para realizar software para computadores, que controla y supervisa procesos industriales a distancia. Ofrece retroalimentación en tiempo real con los dispositivos instalados en el campo (sensores y actuadores) y controla el proceso automáticamente. Proporciona toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite la gestión e intervención.

Los sistemas SCADA pueden ser relativamente simples, tal como uno que supervisa las condiciones ambientales de un pequeño edificio de oficinas o complejos, tales como un sistema que controla toda la actividad en una planta de energía nuclear o de un sistema de agua municipal.

Cuando se habla de Redes, en específico de conexiones de Redes de Área Local (LAN, por sus siglas en inglés) aparece el término Ethernet, siendo este un estándar de redes que emplea el método CSMA/CD (Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detector de Colisiones) que mejora notoriamente el rendimiento de dicha conectividad frente a otro tipo de conexiones como el serial.

El estándar TCP/IP define las características de los cables que deben utilizarse para establecer una conexión de red y todo lo relativo a los niveles físicos de dicha conectividad, además de brindar los formatos necesarios para las tramas de datos de cada nivel.

La implementación del nuevo sistema de monitoreo y control, básicamente se trata de un sistema SCADA que integra todas las señales de entrada y salida en un PLC S7-1200, el cual comanda las acciones que se producen en la PTAR y que se reflejan en la interfaz diseñada, la cual hace uso de un radio enlace entre dos antenas direccionales separadas 200 (m), que es la distancia existente entre el bloque de administración y la PTAR.

## 1.2 Descripción del problema

El Campamento la Loma de la Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair dispone de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Para que el agua sea apta para el consumo humano pasa por las siguientes etapas:

Se almacena en una cisterna el agua residual captada, se añade por medio de bombas sulfato de aluminio para aglutinar las sustancias coloidales presentes en el agua (proceso químico de floculación), se reduce la dureza del agua empleando tanques ablandadores, se desinfecta el agua usando luz ultravioleta y añadiendo cloro.

Previa la distribución del agua tratada se requiere de dos bombas para incrementar la presión de dos tanques de almacenamiento que dan servicio a todo el campamento.

En la PTAR del Campamento la Loma no contaba con un sistema de monitoreo para detectar las averías o condiciones de operación anormal de los elementos del sistema, por cuanto se registró problemas de: operación en la bomba de 1 (HP) que interviene en el proceso de floculación, y de recurrentes salidas de servicio de las bombas de 5 (HP) que permiten elevar la presión del agua tratada para su distribución en el campamento.

Además, el sistema de control no suministraba información suficiente para tomar acciones oportunas en los elementos de la PTAR y evitar su indisponibilidad, teniendo en cuenta que por falta del suministro constante de agua al campamento se ocasionan serios problemas al desarrollo de las actividades cotidianas, se vio la necesidad de implementar un sistema con automatización basada en PLC que incluya un sistema de comunicación para el monitoreo de variables en línea.

Por lo expuesto anteriormente se planteó la implementación de un sistema de comunicaciones inalámbricas para el monitoreo y control de las variables que intervienen en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

Se empleó un PLC S7-1200 para la adquisición y procesamiento de señales provenientes de actuadores y sensores de la PTAR y un enlace inalámbrico empleando antenas para la implementación de un sistema remoto de adquisición de información, así como la creación de una base de datos relevantes para la operación y mantenimiento de los elementos de la PTAR.

### **1.3 Justificación**

Las etapas del proceso de tratamiento de agua se mejoraron con la utilización de nuevos equipos y sistemas automáticos, el monitoreo de parámetros y variables de la PTAR permitió incrementar la confiabilidad de esta.

Con el nuevo sistema de comunicación que se implementó, se realiza el monitoreo y control de las variables en tiempo real y se puede visualizar el nivel de agua disponible en la cisterna de agua residual, además de tomar acciones correctivas inmediatas para no afectar el funcionamiento de la planta.

Se hizo uso de la interfaz de monitoreo, para tomar el control de la operación de la planta, de esta manera se asegura la calidad y el suministro constante de agua al campamento beneficiando a los habitantes para que puedan desarrollar sus actividades diarias sin problemas.

### **1.4 Objetivos**

#### Objetivo general

Implementar un sistema de comunicación para el monitoreo y control de la planta de tratamiento de aguas residuales del campamento la loma de la central CCS.

#### Objetivos específicos

- Determinar los requerimientos del sistema a implementarse en base a las necesidades de la empresa.
- Implementar el sistema electromecánico de la planta.
- Construir el tablero de control integrando el PLC.
- Implementar el sistema de comunicaciones.
- Realizar pruebas de funcionamiento del nuevo sistema.



## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Descripción metodológica

En la figura 1, se puede observar todos los elementos que intervienen en el sistema implementado y como se desarrolla la operación de la planta.

#### SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL (PTAR) CAMPAMENTO LA LOMA

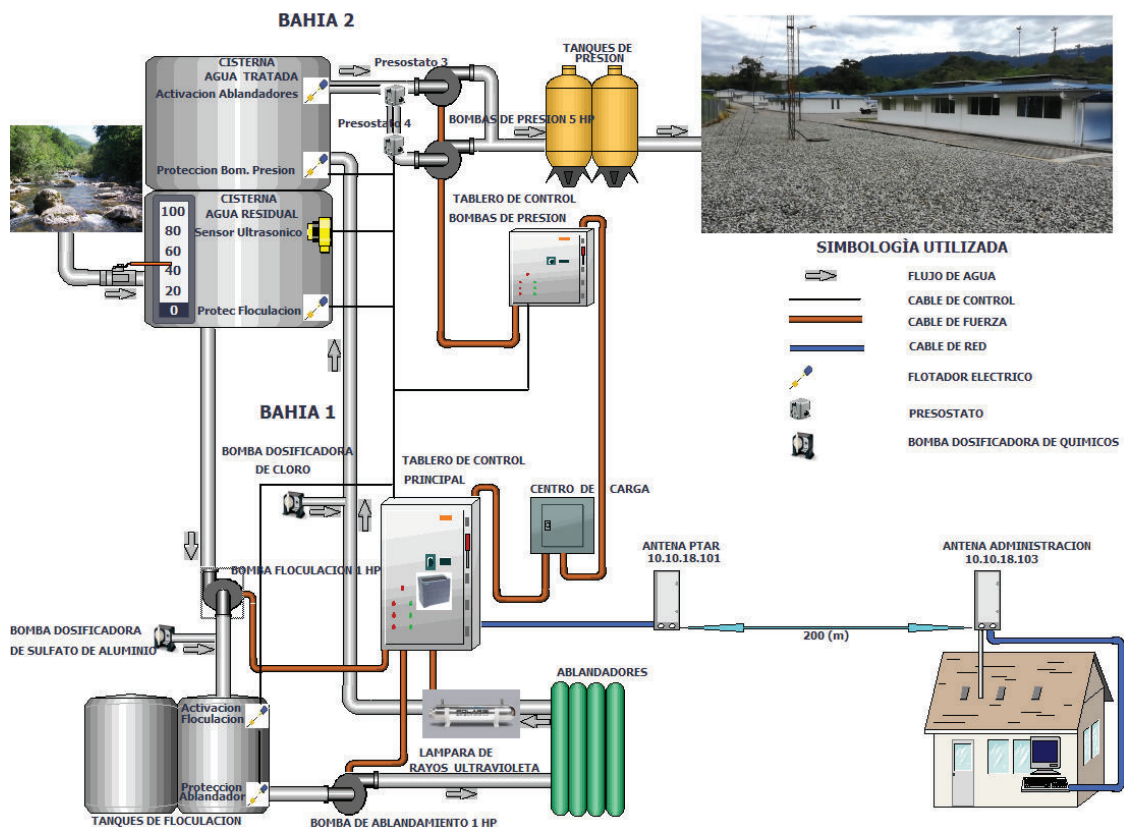


Figura 1. Diagrama esquemático de monitoreo y control

Objetivo 1: Se analizó el estado de cada uno de los componentes electromecánicos que intervienen en el proceso de control.

En la cisterna de agua residual no existía control sobre el llenado y vaciado de agua, por otra parte, en la cisterna de agua tratada no funcionaba el flotador de protección para que las bombas no arranquen sin agua.

En el tablero de control que existía no se podían observar la operación de las bombas de floculación y ablandamiento por problemas de conexiones hacia los indicadores,

además, la bomba de presión 4 sufrió un daño por exceso de presión, a la cual no se logró dar asistencia oportuna por la falta de una interfaz de monitoreo y control.

Es por esto que primero se realizó un estudio de cargas determinando que la corriente total consumida por el tablero y sus componentes es de 12.42 (A), para cargas no continuas como los motores se consideró la corriente nominal por recomendación de la norma NTC 2050.

Luego se analizó el espacio físico donde se instaló el tablero de control, se midió la distancia desde el mismo hacia el otro tablero de control de las bombas de presión para determinar la cantidad de cable necesario para llevar las señales de control hasta el tablero principal donde se encuentra el PLC.

La principal limitación del proyecto fue el espacio físico para el nuevo tablero ya que sus dimensiones son mayores al que existía en dicho sitio. El tablero actual es de 0.6 (m) de ancho x 1 (m) de largo y 0.22 (m) de profundidad.

El alcance de los nuevos equipos de comunicación inalámbrica a utilizar, es de 10 (Km) con línea de vista es decir sin obstáculos entre las dos antenas, que impidan formar una línea recta entre transmisor y receptor. Las antenas usadas son las Nano Station loco M2 en configuración punto a punto, que transmiten en una frecuencia libre de 2.4 (GHz) y con una ganancia de 8 (DBi).

Objetivo 2: Se estableció el tipo y la cantidad de dispositivos que fueron necesarios para implementar el sistema.

En la cisterna de agua residual se utilizó un flotador eléctrico como protección de bajo nivel de la bomba de floculación, se instaló un sensor de nivel con un rango de medición de 2 (m) de tipo analógico de salida de voltaje de 0 a 10 (V), para visualizar el nivel de agua disponible para iniciar el proceso.

En los tanques de floculación se utilizó dos flotadores eléctricos, uno de ellos para el accionamiento de la bomba de floculación y el otro como protección de bajo nivel de la bomba de los ablandadores.

En la cisterna de agua tratada se instaló un nuevo flotador eléctrico para protección de bajo nivel de las bombas de presión que se accionan por medio de los presostátos, se utilizó el flotador existente para el accionamiento para accionamiento de la bomba de los ablandadores.

Se ajustó el contrapeso de los flotadores eléctricos existentes para aprovechar una mayor capacidad de almacenamiento en los tanques y cisternas.

Objetivo 3: Se construyó el sistema de accionamientos basado en el estudio de cargas, se realizó la instalación de todos los componentes internos del tablero incluyendo el PLC y el cableado de todas las señales externas al mismo.

Se dibujó los diagramas de control de 24 (V) y 220 (V), en el programa CADE\_SIMU para identificar cada una de las conexiones, los cuales sirven como detección de posibles fallas o para realizar el mantenimiento de algún equipo.

Se utilizó los planos para realizar el cableado interno del tablero, así como el de la puerta donde se colocó los elementos de maniobra y señalización. Se utilizó cable flexible TFF # 18 (AWG) para el cableado del diagrama de control de 24 (V) y el diagrama de control de 220 (V), para el circuito de fuerza de las bombas de floculación y ablandadores de 1 (HP) se utilizó cable sucre #12 (AWG).

Se realizó el cableado de los contactos normalmente abiertos de los guardamotores de las bombas de presión, así como de los presostátos y flotadores para que interactúen en el tablero principal con el PLC.

Se realizó las pruebas de continuidad necesarias en cada una de los puntos de conexión, como se trata de un cableado de varias señales se etiquetó cada uno de los cables que conforman los circuitos de control y fuerza.

Se utilizó el software Tía Portal, para realizar la programación en lenguaje ladder del PLC, por otra parte con el software Wincc Runtime Advanced se diseñó la interfaz de monitoreo y control de las variables de entrada, que en este caso son los flotadores, presostátos y el sensor de nivel para actúen sobre las salidas como son los motores de las bombas y las luces de fallo de cada una de ellas.

Objetivo 4: Se realizó un radioenlace de 200 (m) entre la PTAR y la administración ya que resultaba muy complejo pasar un cable de red por la vía de acceso de los vehículos hacia los bloques de habitaciones.

En base a la simulación realizada en el Radio Mobile, se obtuvo las coordenadas exactas de los puntos, donde se instaló las radios para obtener un enlace estable, se instaló el sistema de comunicación entre dos antenas direccionales, para la adquisición de datos de nivel de la cisterna de agua residual y la creación de la base de datos.

Se instaló la primera antena en la torre de comunicación frente al bloque de administración, que actúa como receptor de las señales enviadas desde el PLC al computador, en la entrada de la PTAR se instaló la segunda antena que actúa como transmisor de señales desde el PLC al computador, se realizó la configuración de cada una de las antenas vía IP en la interfaz Air OS, el modo de configuración es punto a punto.

Se utilizó Excel para crear una base de datos, a la cual se accede para ver los datos de nivel de agua de la cisterna durante el transcurso de la operación de la PTAR, en la cisterna de agua residual para iniciar el proceso.

Esto antes no sucedía, ya que no se podía visualizar el llenado de esta cisterna remotamente, para cerrar la válvula manual que permite el ingreso del agua proveniente de río y varias veces se ocasiono el derrame de agua de la cisterna.

Objetivo 5: Se realizó las pruebas de funcionamiento en el modo manual y automático del tablero principal y el tablero de las bombas de presión, mediante el uso del software Wincc Runtime Advanced se realiza las pruebas para comprobar el monitoreo y control de los sensores y actuadores de la PTAR, se realiza las pruebas de comunicación de radio enlace entre las dos antenas, necesarias para garantizar el funcionamiento del sistema.

## 3. EJECUCIÓN Y RESULTADOS

### 3.1 Diseño del sistema de monitoreo y control

Haciendo uso del radioenlace y con la ayuda del computador, se monitorea y controla el proceso industrial de la planta de tratamiento de aguas residuales a distancia, para obtener retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), se controla el proceso de forma automática y permite su gestión e intervención.

#### 3.1.1 Diseño de los planos de conexión

Para la creación y simulación de los diagramas de control, fuerza, conexión de los relés de las entradas y salidas hacia el PLC, se utilizó el software CADe\_SIMU, dicho programa posee todas las herramientas necesarias para implementar sistemas de control, en la figura 2 se puede observar el correspondiente diagrama de fuerza de la PTAR.

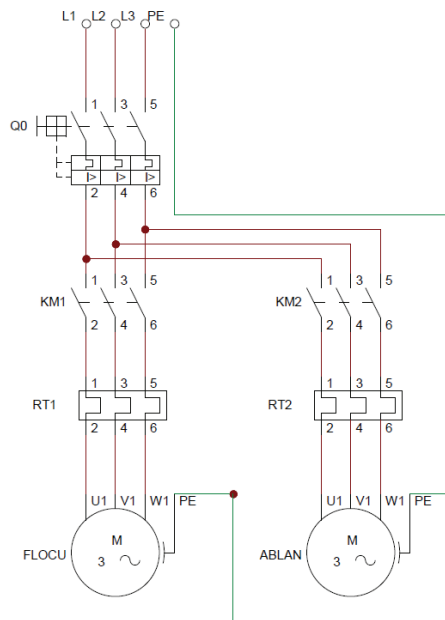
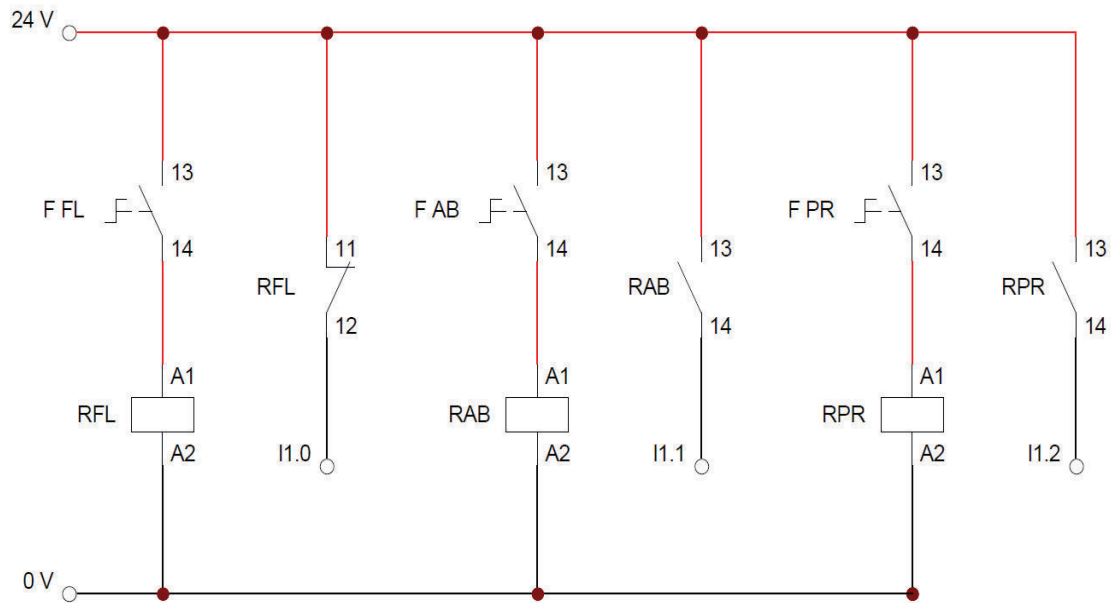


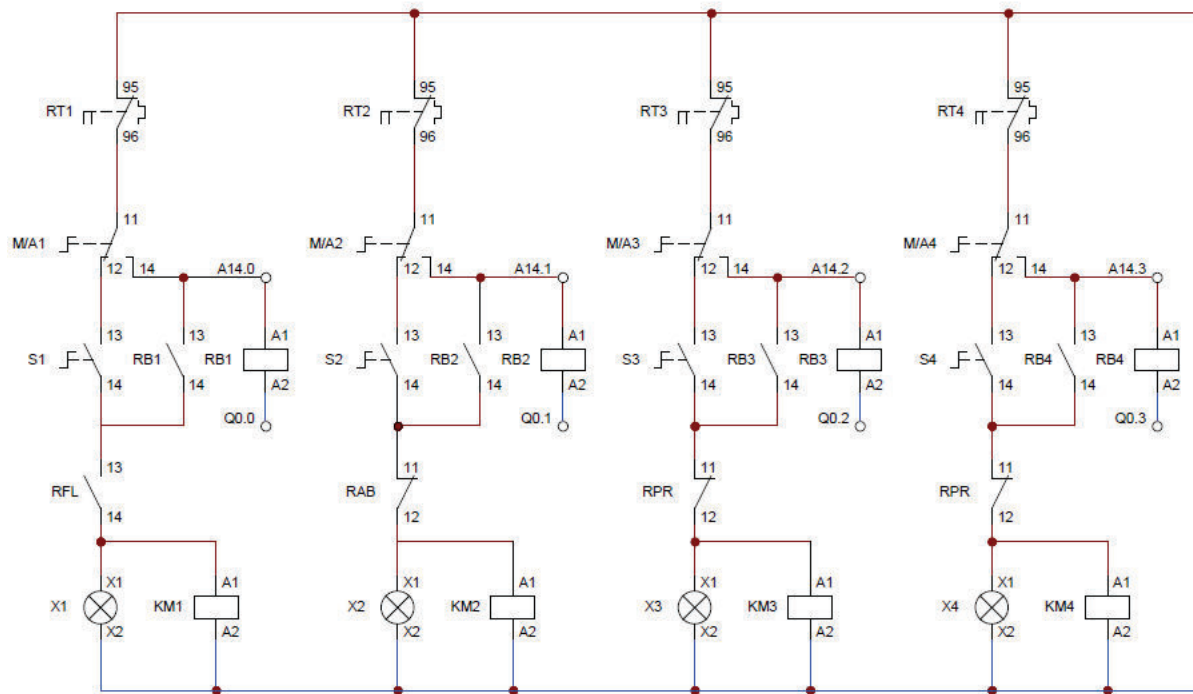
Figura 2. Diagrama de Fuerza PTAR

En la figura 3, se muestra la conexión entre los flotadores de protección y los relés de 24 (V), para habilitar las protecciones cuando las cisternas o el tanque de floculación se queden sin agua y las bombas no puedan arrancar, se utilizó relés con bobina de 24 (V) por seguridad para aislar cualquier tipo de falla de la fuente de 24 (V) ya sea por sobre voltaje o cortocircuito de la misma sin que cause afectación al PLC.



**Figura 3. Diagrama de conexión relés 24 (V)**

La nomenclatura utilizada para el accionamiento manual de cada uno de los motores, va desde el S1 al S4 para los selectores de dos posiciones y desde el M/A1 al M/A4 para los selectores de tres posiciones que eligen el modo de operación entre manual y automático, en la figura 4 se observa el diagrama de control 220 (V) de las 4 bombas de la PTAR.



**SIMBOLOGÍA ELÉCTRICA**

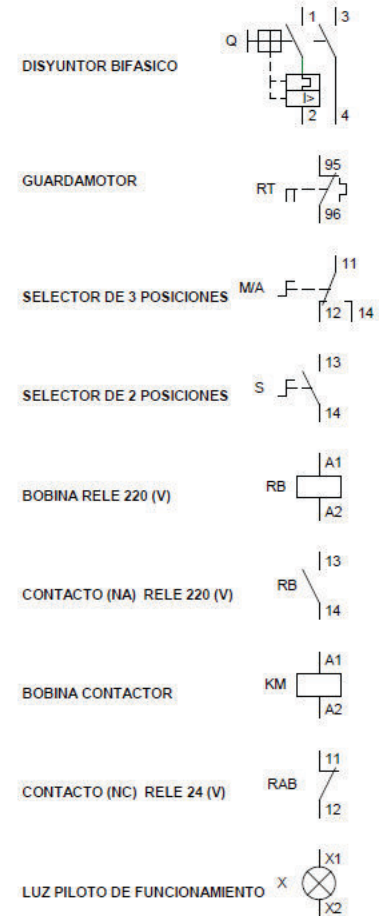


Figura 4. Diagrama de control 220 (V)

La nomenclatura que se utilizó para realizar el diagrama de conexión de entradas y salidas del PLC se puede observar en la tabla 1.

**Tabla 1. Asignación de entradas y salidas del PLC**

<b>I/O</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>
Entradas 24 VDC PLC	FLO	Flotador Floculación
	ABL	Flotador Ablandamiento
	P3, P4	Presostáto
	RT1 - RT4	Contacto NA guardamotor
	RFL	Contacto NA relé floculación
	RAB	Contacto NA relé ablandamiento
	RPR	Contacto NA relé presión
Entrada Analógica 0 – 10 (V)	SENSOR DE NIVEL	Sensor de Nivel Ultrasónico
Salidas 220 (V) PLC	RB1 - RB4	Bobina Relé 220 (V)
	F1 - F4	Luz piloto de Fallo

En la figura 5, se puede observar la conexión de las entradas y salidas que actúan sobre el PLC, así como la conexión del sensor de nivel ultrasónico.



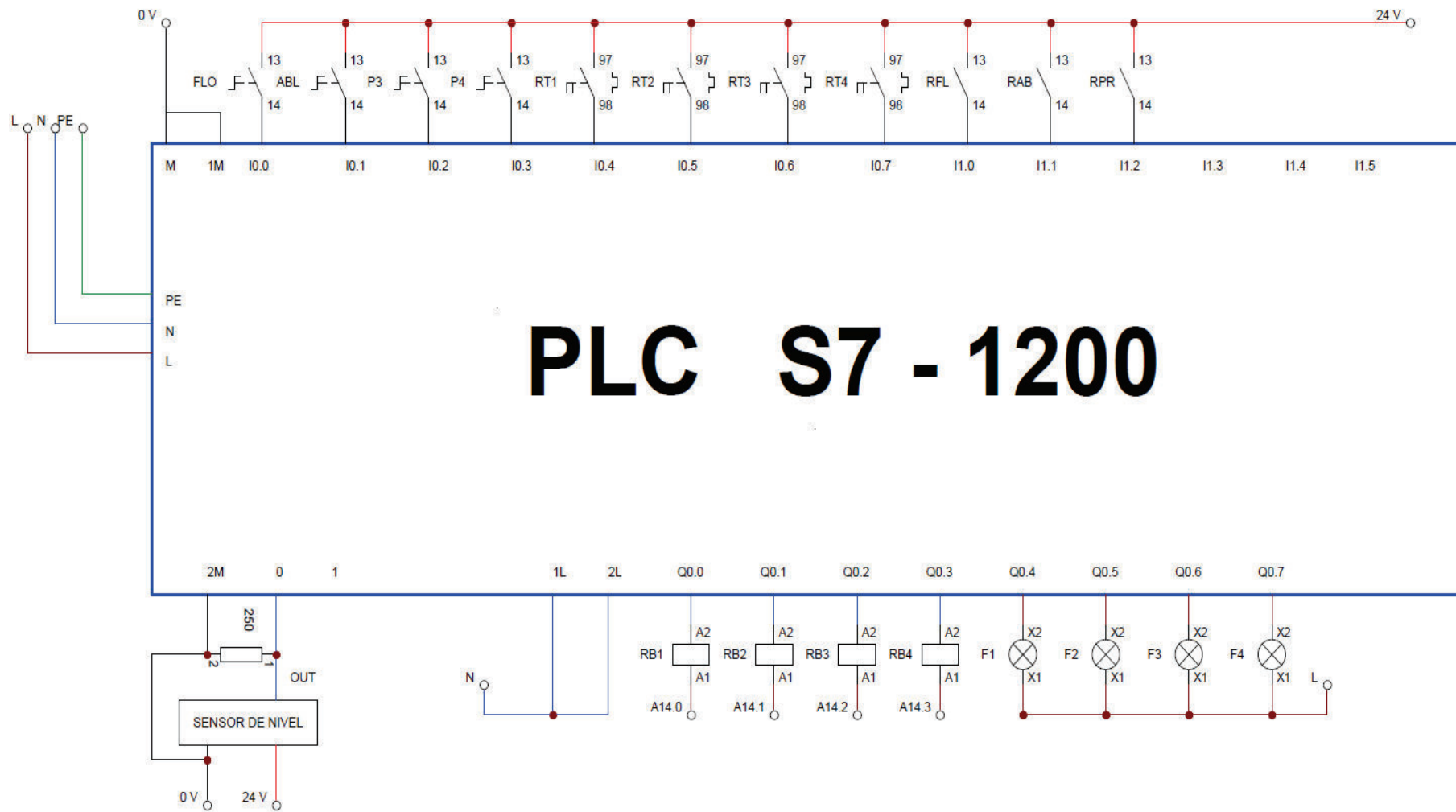


Figura 5. Diagrama de conexión entradas y salidas del PLC

### 3.1.2 Diseño del sistema de control

Se utilizó el PLC S7 1200, porque dispone de 14 entradas que trabajan con 24 (V) y 10 salidas que pueden trabajar con 24 o 220 (V), además de esto posee 2 entradas para señales analógicas de 0 a 10 (V) y un puerto de comunicación Profinet necesario para el radio enlace, todas las variables que intervienen en el sistema se pueden observar en la tabla 2.

Tabla 2. Variables PTAR

VARIABLES ESTÁNDAR		
NOMBRE	TIPO DE DATOS	DIRECCIÓN
Flotador Floculación	Bool	%I0.0
Flotador Ablandadores	Bool	%I0.1
Presostáto 3	Bool	%I0.2
Presostáto 4	Bool	%I0.3
Relé Térmico 1	Bool	%I0.4
Relé Térmico 2	Bool	%I0.5
Relé Térmico 3	Bool	%I0.6
Relé Térmico 4	Bool	%I0.7
Flotador Protección Floculación	Bool	%I1.0
Flotador Protección Ablandadores	Bool	%I1.1
Flotador Protección Bombas de Presión	Bool	%I1.2
Marcha Bomba Floculación	Bool	%Q0.0
Marcha Bomba Ablandadores	Bool	%Q0.1
Marcha Bomba Presión 3	Bool	%Q0.2
Marcha Bomba Presión 4	Bool	%Q0.3
Fallo Bomba Floculación	Bool	%Q0.4
Fallo Bomba Ablandadores	Bool	%Q0.5
Fallo Bomba de Presión 3	Bool	%Q0.6
Fallo Bomba de Presión 4	Bool	%Q0.7
Entrada Analógica	Word	%IW64
Señal Escalada	Real	%MD100
Salida Escalada	Real	%MD200
Nivel Agua Residual	Real	%MD300
BLOQUE DE DATOS 1		
NOMBRE	TIPO DE DATOS	
Tiempo	DTL	
Año	UsInt	
Mes	UsInt	
Día	UsInt	
Hora	UsInt	
Minuto	UsInt	
Operando	Int	

## **3.2 Requerimientos de la planta de tratamiento de aguas residuales**

### **3.2.1 Medición de espacio para el nuevo tablero**

Para determinar las dimensiones del tablero de control principal parte fundamental del sistema, se colocó sobre una mesa de trabajo todos los componentes de forma ordenada y con la ayuda de un flexómetro, se obtuvo las siguientes medidas 0.6 (m) de ancho x 1 (m) de largo y 0.23 (m) de profundidad.

Con las medidas obtenidas se verificó que exista el espacio físico disponible en la planta para su instalación y que cumpla con las condiciones para la operación y mantenimiento del tablero, permitiendo de esta manera el cableado de las señales de control y fuerza sin ningún problema.

### **3.2.2 Elementos necesarios para el nuevo sistema de monitoreo y control**

Es necesario determinar los requerimientos del proyecto PTAR, donde se identificó los elementos que se necesitó para la implementación del nuevo sistema, los que se pueden observar a continuación en la tabla 3.

**Tabla 3. Lista de Materiales y Elementos usados en la PTAR**

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
1	Base metálica para gabinete 0.6 (m) x 0.23 (m) x 0.4 (m)
1	Gabinete metálico 0.1 (m) x 0.6 (m) x 0.24 (m)
1	PLC S 7-1200
1	Fuente para rieldin 220 (V) / 24 (V)
1	Breaker tripolar de caja moldeada regulable 32-40 (A)
1	Breaker bipolar para rieldin 32 (A)
1	Breaker bipolar para rieldin 16 (A)
3	Breaker bipolar para rieldin 4 (A)
2	Contactador 1HP 220 (V)
2	Guardamotor 7-10 (A) 220 (V)
4	Flotador Eléctrico
1	Sensor de nivel ultrasónico 4-20 (mA)
2	Selector 2 Posiciones
4	Selector 3 Posiciones
2	Luz piloto verde 220 (V)
2	Luz piloto roja 220 (V)
3	Relé 24 (V) 2 NO +2 NC 6 (A) – 220 (V)
3	Base rieldin para relé 24 (V)
4	Relé 220 (V) 2 NO +2 NC 6 (A) – 220 (V)
4	Base rieldin para relé 220 (V)
150 (m)	Cable flexible TFF # 18 (AWG)
5 (m)	Cable sucre #12 (AWG)
24	Topes para rieldin
50	Borneras cable #18 (AWG)
8	Borneras cable #12 (AWG)
2	Borneras cable #10 (AWG)
200	Terminales puntera cable #18 (AWG)
2 (m)	Rieldin
6 (m)	Canaleta ranurada 0.04 (m) x 0.06 (m)
2	Antena nanostation 2.4 (GHz) 8 (dBi)
2	Patch cord
2	inyector POE

La mayoría de los materiales utilizados en este proyecto fueron proporcionados por la bodega de la central, razón por la cual se utilizó lo que se disponía en la misma.

### 3.2.3 Selección del gabinete

Se mandó a fabricar un tablero con un grado de protección IP 54, con aplicación de pintura electrostática, la cual es un tipo de recubrimiento en polvo, que se aplica con un pulverizador, luego se somete a una temperatura promedio de 150 (°C), para obtener un acabado más resistente que la pintura convencional.

Una vez adquiridos todos los materiales necesarios se los distribuyo de forma que sea posible obtener una medición total del espacio a utilizar, se realizó el proyecto en un gabinete de las siguientes dimensiones 1 (m) x 0.6 (m) x 0.24 (m) que representan largo, ancho y profundidad respectivamente, en la figura 6 se puede observar.

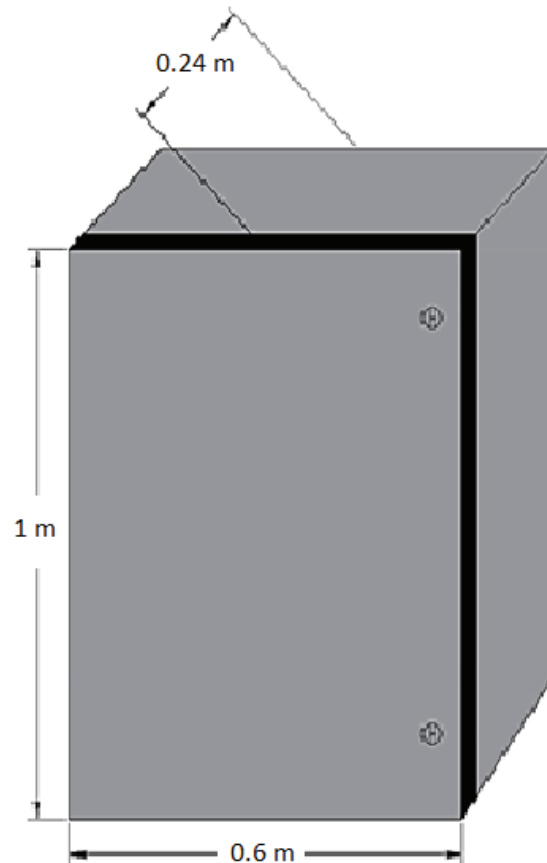


Figura 6. Dimensiones del tablero de control

El grado de protección IP hace referencia a la norma internacional CEI 60529 Degrees of Protección [4], en la que se refiere al grado de protección que posee un gabinete, el termino IP es utilizado con mucha frecuencia en equipamiento eléctrico o electrónico de uso industrial en general, el primer número representa la protección contra sólidos y el segundo número la protección contra líquidos.

En la tabla 4 muestra los grados de protección que se aplicarían dependiendo de las necesidades de cada tablero.

**Tabla 4. Grados de protección IP de los tableros**

<b>IP</b>	<b>PROTECCIÓN SÓLIDOS</b>	<b>IP</b>	<b>PROTECCIÓN LÍQUIDOS</b>
<b>0</b>	Ninguna protección.	<b>0</b>	<i>Ninguna protección.</i>
<b>1</b>	Protegido contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 0.05 (m)	<b>1</b>	Protegido contra la caída vertical de gotas de agua.
<b>2</b>	Protegido contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 0.012 (m)	<b>2</b>	Protegido contra la caída de gotas de agua con inclinación máxima de 15°.
<b>3</b>	Protegido contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 0.0025 (m)	<b>3</b>	Protegido contra la lluvia con caída hasta 60° de inclinación.
<b>4</b>	Protegido contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 0.001 (m)	<b>4</b>	Protegido contra el rociado de agua.
<b>5</b>	Protegidos contra el polvo.	<b>5</b>	Protegido contra los chorros de agua.
<b>6</b>	Protegido completamente contra el polvo.	<b>6</b>	Protegido contra las olas y chorros de agua potentes.
<b>7</b>		<b>7</b>	Protegido contra los efectos de la inmersión temporal.
<b>8</b>		<b>8</b>	Protegido contra los efectos de la sumersión.

Fuente: Intertek [4]

### 3.2.4 Contactores para accionamiento de las bombas de 1HP

Se determinó los resultados del estudio técnico de cargas de la planta de tratamiento de aguas residuales, aplicando las siguientes ecuaciones:

$$V = I \cdot R \quad \text{Ec. 1}$$

$$P = V \cdot I \quad \text{Ec. 2}$$

$$P = V^2 / R \quad \text{Ec. 3}$$

$$P = I^2 \cdot R \quad \text{Ec. 4}$$

V = Voltaje (V)

I = Corriente (A)

R = Resistencia ( $\Omega$ )

P = Potencia Activa (w)

Para seleccionar los contactores se determinó el tipo de carga o dentro de cual categoría se clasifica, las bombas que se automatizaron tienen motores jaula de ardilla razón por la cual, se decidió utilizar contactores categoría AC-3, en la tabla 5 se puede observar los resultados obtenidos. [5]

**Tabla 5. Estudio Técnico de Cargas de la PTAR**

CANTIDAD	ELEMENTO	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	RESISTENCIA ( $\Omega$ )	POTENCIA (W)
1	Motor 1(HP) floculación	220	3.4		746
1	Motor 1(HP) ablandamiento	220	3.4		746
1	Fuente 220 V/24 V	220	0.8		176
1	PLC S7-1200 CPU 1241	220	0.045		10

1	Bobina 220 (V) Contactor 1	220	0.6	358	132
1	Bobina 220 (V) Contactor 2	220	0.43	514	94.6
1	Bobina 220 (V) relé motor 1	220	0.014	16000	3
1	Bobina 220 (V) relé motor 2	220	0.014	16000	3
1	Bobina 220 (V) relé motor 3	220	0.014	16000	3
1	Bobina 220 (V) relé motor 4	220	0.014	16000	3
1	Bobina 24 (V) flotador ablandamiento	24	0.039	614	0.94
1	Bobina 24 (V) flotador presión	24	0.039	614	0.94
4	Luz piloto	220		5.45 E-4	0.12
1	Luz ultravioleta	220	0.6		132
2	Adaptadores de voltaje 220 (V)/12 (V)	220	1.2		264
2	Bombas dosificadoras de químicos	220	1.82		400
	<b>TOTAL</b>		12.43		2714.6

Con los resultados obtenidos de las corrientes de los motores, se utilizó dos guardamotors con un rango entre 7 a 10 (A) para la protección por sobreintensidades, y también dos contactores que trabajan a una corriente constante de 20 y 25 (A) respectivamente que estaban disponibles en bodega.



## Dimensionamiento de la protección principal

Se determinó que la corriente nominal total de los dos motores es de 6.8 (A), aplicando las letras de código NEMA de rotor bloqueado, en referencia a la norma NEMA MG1, se estableció que la corriente de arranque es 5 veces mayor a la corriente nominal.

$$I_{n1} = 3.4 \text{ (A)}$$

$$I_{n2} = 3.4 \text{ (A)}$$

$$I_{nt} = I_{n1} + I_{n2} \quad \text{Ec. 5}$$

$$I_{at} = (I_{n1} + I_{n2}) * 5 \quad \text{Ec. 6}$$

$$I_{at} = 34 \text{ (A)}$$

$I_{n1}$  = Corriente nominal motor 1

$I_{n2}$  = Corriente nominal motor 2

$I_{nt}$  = Corriente nominal total

$I_{at}$  = Corriente de arranque total

En referencia a la norma NEC para cargas continuas se multiplico por 1.25 la corriente de consumo.

$$I_c = (I_T - I_{nt})1.25 \quad \text{Ec. 7}$$

$$I_c = 7.04 \text{ (A)}$$

$I_c$  = Corriente cargas

$I_T$  = Corriente total de consumo

Finalmente, con los resultados obtenidos se decidió utilizar un breaker de caja moldeada con una regulación de 32 a 40 (A), como protección principal del tablero, se consideró que la corriente de arranque de cada uno de los motores es momentánea, ya que después del arranque los motores trabajan con su corriente nominal.

### Protecciones secundarias.

En la tabla 6, se puede observar la asignación de cada una de las protecciones secundarias para cada uno de los elementos que intervienen en el tablero.

Tabla 6. Asignación de las Protecciones utilizadas

ASIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	CARGA APLICADA
Q 0	Breaker tripolar de caja moldeada regulable 32-40 (A)	Motores de las Bombas 1 y 2
Q 1	Breaker bipolar para rieldin 32 (A)	Luz Ultravioleta, Alimentación electroválvulas ablandamiento, bombas dosificadoras de químicos
Q 2	Breaker bipolar para rieldin 16 (A)	Circuito de control 220 (V)
Q 3	Breaker bipolar para rieldin 4 (A)	Alimentación PLC S7-1200
Q 4	Breaker bipolar para rieldin 4 (A)	Alimentación Fuente 24 (V)
Q 5	Breaker bipolar para rieldin 4 (A)	Salida Fuente 24 (V)

#### 3.2.5 Selección del programador lógico programable

Para determinar el PLC a utilizar en este proyecto se tuvo en cuenta las variables de entrada y salida que intervienen en el proceso de automatización.

En todo el proceso se implementó el monitoreo y control de 4 motores, Por lo tanto, se utilizó 8 salidas del PLC, para la visualización en la interfaz de operador, 4 para luces de operación y 4 para luces de fallo.

Para las entradas del PLC, se utilizó 2 flotadores eléctricos para el accionamiento de las bombas de floculación y ablandadores, 3 flotadores de protección para que las bombas no arranquen sin agua, instalados en las cisternas de agua residual, agua tratada y tanque de floculación.

Se utilizó 2 presostátos para el accionamiento de las bombas de presión, se utilizó 4 entradas para activar las luces de fallo de los guardamotores, contabilizando un total de 11 entradas necesarias para la implementación del proyecto.

Se conectó en paralelo a la entrada analógica, una resistencia de 250 ( $\Omega$ ), para obtener la señal de voltaje proveniente de un sensor de nivel con una salida de corriente de 4 a 20 (mA), la resistencia conectada limita el voltaje de entrada en un intervalo que va de 1 a 5 (V).

Se utilizó el puerto de conexión Ethernet para la comunicación inalámbrica entre el PLC y el computador, es por esta razón que se utilizó el PLC S7-1200 que se muestra a continuación en la figura 7, que cuenta con todas las necesidades requeridas para la ejecución del proyecto.



Figura 7. PLC Siemens S7-1200 CPU AC/DC/RLY (Fuente: [6])

## Selección de la Fuente de 24 VDC

Se utilizó otra fuente de alimentación de 24 (V) externa distinta a la que posee el PLC, para no afectar por alguna causa externa el funcionamiento del mismo, básicamente los requisitos necesarios fueron que la alimentación de la fuente sea a 220 (V), con una salida de 24 (V) y que sirva para la instalación en riel DIN, en la figura 8 se muestra la fuente que se utilizó en el proyecto.



Figura 8. Fuente de Voltaje 220 (V) / 24 (V)

## Relés de entradas y salidas

Se utilizó flotadores de protección para que las bombas no arranquen sin agua, se utilizó 4 relés de 24 (V) con 2 contactos normalmente abiertos y dos cerrados para riel DIN, se utilizó los relés de 24 (V) porque la protección del PLC es importante ya que estos permiten aislar cualquier tipo de falla de la fuente de 24 (V), en la figura 9 se muestra el modelo de relé utilizado.



Figura 9. Relé con Bobina de 24 (V)

Se utilizó 4 relés con bobina de 220 (V) con 2 contactos normalmente abiertos y dos normalmente cerrados para rieldin, para las 4 salidas a los motores que se van a monitorear y controlar, de la misma forma se utilizó los relés de 220 (V) para aislar cualquier falla que se produzca a la salida del PLC sin afectar su funcionamiento, en la figura 10 se muestra el modelo de relé utilizado.



Figura 10. Relé con Bobina de 220 (V)

### 3.2.6 Selección de las antenas

Para la selección de las antenas se tuvo en cuenta la distancia existente entre el bloque de administración y la caseta donde se encuentra la planta de tratamiento de agua residuales que es aproximadamente de 200 (m), en la figura 11 se puede observar el modelo seleccionado, se utilizó dos antenas Nano Station loco M2 con las siguientes características,



**Figura 11. Antena Nano Station loco M2 (Fuente: [7])**

- Antena MIMO de doble polaridad para la banda de 2.4 (GHz). La velocidad de transferencia real del equipo es de hasta 150 Mbps.
- Frecuencia de banda: 2.412 - 2.462 (GHz)
- Potencia de salida 23 (dBm)
- El equipo incluye el inyector PoE de 24 (V) necesario para su alimentación.
- Ethernet LAN (R J-45) cantidad de puertos: 1
- Consumo energético: 5,5 (W)
- Voltaje de entrada: 24 (V)
- Corriente de entrada: 0.5 (A)
- Intervalo de temperatura operativa: - 30 a 75 °C
- Ganancia de la antena (max): 8 (dBi)
- Estándares de red: IEEE 802.3, IEEE 802. 3 u
- Ethernet LAN, velocidad de transferencia de datos: 10,100 Mbit/s
- Wi-Fi velocidad de transferencia de datos (max): 150 Mbit/s
- Memoria Flash: 8 MB
- Memoria interna: 32 MB
- Rango máximo en exteriores: 10000 m

### 3.2.7 Selección del Sensor de Nivel

Se utilizó un sensor de nivel ultrasónico marca BANNER, modelo T30UXIBQ8 con un rango de 0.2 a 2 (m), que ofrece una salida de corriente de 4 a 20 (mA), la configuración se la realizo con el modo manual mediante los botones que dispone el mismo ya que también posee la configuración por software, en la figura 12 se puede observar el sensor utilizado.



Figura 12. Sensor de nivel ultrasónico (Fuente: [8])

### 3.3 Construcción del tablero de control principal

Se construyó el tablero principal conectando el PLC, con todas las señales provenientes de los sensores y actuadores que intervienen en el control automático, así como en cableado de los elementos que intervienen en el control manual.

Razón por la cual se dividió en dos etapas la construcción del tablero, la primera de ellas es la instalación mecánica de canaletas, rieldin, etc. Y la segunda es el cableado de todos los componentes electromecánicos que intervienen en el tablero.

### 3.3.1 Adecuación mecánica del gabinete

Se retiró el doble fondo del tablero para trabajar en la instalación de las canaletas, rieldin y elementos electromecánicos que forman parte del mismo, en la figura 13 se muestra la disposición utilizada.



Figura 13. Placa interior del gabinete con canaletas y rieldin

### Puerta del gabinete

Se realizó 8 perforaciones de  $\frac{1}{2}$  (pulg), para instalar los elementos de visualización y accionamiento, en la figura 14 se muestra la ubicación de los elementos.



Figura 14. Distribución de los elementos en la tapa del tablero



Se realizó dos perforaciones de  $\frac{1}{2}$  pulg por la parte superior, para el ingreso de la acometida y el cable de red que va al puerto Ethernet del PLC.

Se realizó 5 perforaciones de  $\frac{3}{4}$  pulg en la parte inferior, la primera de ellas para el ingreso de cables de las señales de control provenientes del tablero de las bombas de presión, la segunda para los cables de alimentación de la lámpara de rayos ultravioleta, la tercera para los cables de alimentación de los motores de las bombas de 1(HP), las dos últimas como reservas para el futuro.

Se realizó dos perforaciones más de  $\frac{1}{2}$  pulg en la parte inferior, la primera para el ingreso de cables de alimentación hacia los adaptadores de voltaje de las válvulas automáticas de los ablandadores, la segunda para los cables de los flotadores de floculación y ablandamiento.

### **3.3.2 Instalación de elementos electromecánicos**

En la sección superior del tablero, se instaló los breakers desde el Q0 al Q5 y los relés de protección por bajo nivel de agua. Ya que por aquí ingresa la alimentación al tablero.

En la parte central se ubicó los contactores, guardamotors, PLC, fuente de 24 (V) y los relés de 220 (V), que habilitan cada una de las 4 bombas.

Finalmente, en la parte inferior del tablero se instaló todas las borneras correspondientes a las alimentaciones del circuito de fuerza y control, alimentación a la lámpara de rayos ultravioleta, bombas dosificadoras de químicos y válvulas automáticas de los ablandadores, como también las que corresponden a entradas y salidas del PLC, la disposición de los elementos, se puede observar a continuación en la figura 15.

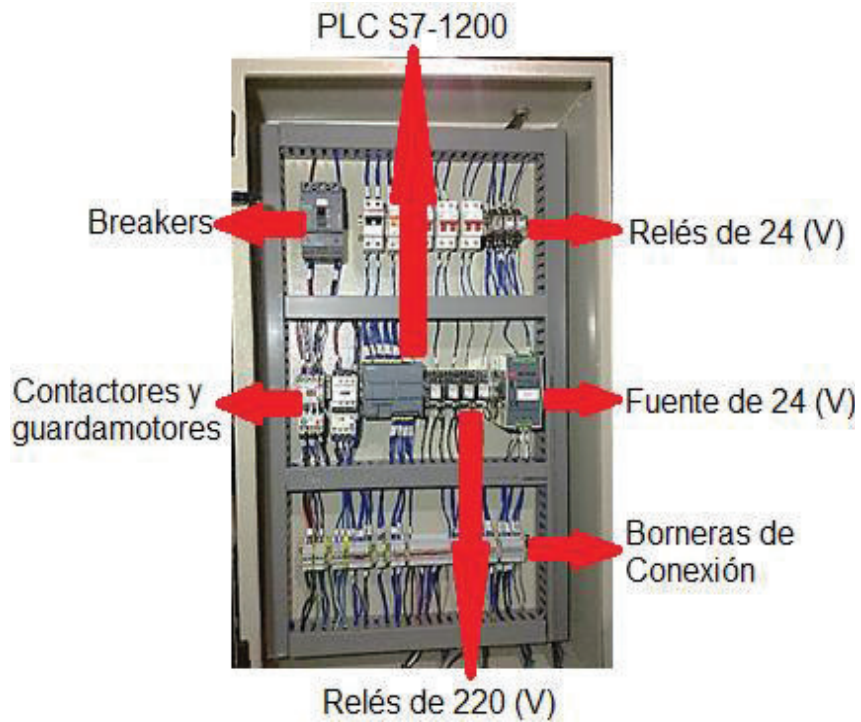


Figura 15 . Distribución de los elementos en interior del gabinete

### 3.3.3 Cableado de elementos electromecánicos

Para el cableado de control de todo el tablero se utilizó cable flexible TFF # 18 AWG, en la figura 16 se muestra el cableado de los elementos de la puerta del gabinete hacia sus respectivos contactores y demás elementos, se utilizó cinta en espiral para mejorar la estética del cableado.

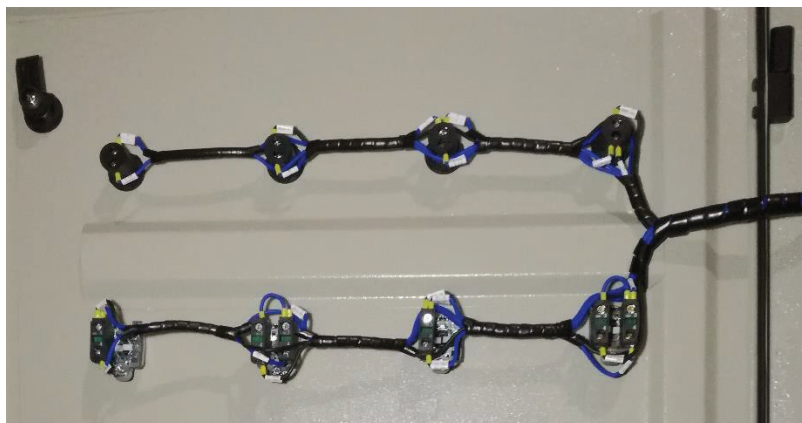


Figura 16. Cableado de la puerta del gabinete

## Conexión de los contactores y guardamotores

Para el cableado de fuerza desde el breaker principal (Q0) hacia los contactores y para la salida de los guardamotores hacia las borneras de conexión de los motores, se utilizó cable flexible # 12 AWG, en la figura 17 se muestra la conexión realizada de los contactores y guardamotores.



Figura 17. Conexión de contactores y guardamotores

### 3.3.4 Etiquetado de cables y rotulación del panel frontal

Para colocar las etiquetas que permiten identificar el origen y destino de cada cable dentro del tablero, se utilizó la primera letra de cada palabra del dispositivo acompañado de su respectiva numeración y para los cables que van a conectados a las entradas y salidas del PLC, se utilizó la nomenclatura que posee cada una de ellas, en la figura 18 se puede apreciar el trabajo realizado con cinta de vinil al momento de etiquetar los cables.

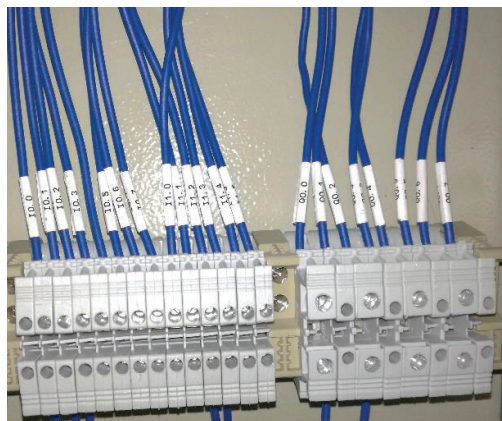


Figura 18 . Etiquetado de cables

Se colocó la rotulación en la parte frontal del tablero que permite al operador maniobrar cada uno de los elementos ya sea en control manual o automático, en la figura 19 se observa el etiquetado del panel frontal.

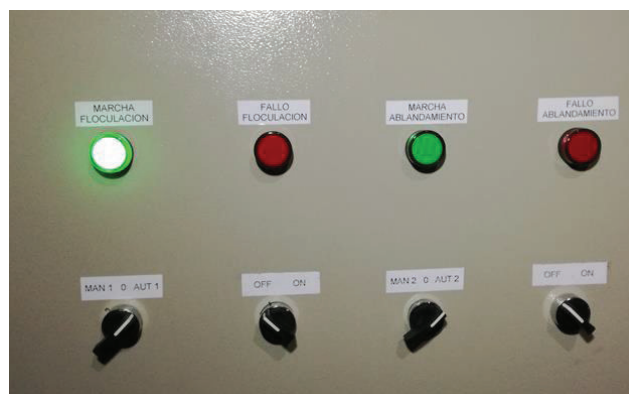


Figura 19 . Rotulación elementos panel frontal

### 3.3.5 Operación manual y automática de los tableros

Se construyó el tablero de control con un PLC para el monitoreo y control de la planta de tratamiento de aguas residuales del campamento la Loma de la Central Coca Codo Sinclair.

En cada una de las bombas se implementó el modo de operación manual, ya que ofrece la facilidad de dar mantenimiento o cambio de alguna de las ellas si se produce una falla, sin afectar todo el proceso de la planta, así se aísla el problema y se da una solución específica a cualquiera de los motores, en la figura 20 se puede apreciar todos los elementos del tablero de control principal.



Figura 20. Tablero de Control Principal

El modo de operación automática de la planta permite suministrar agua tratada a los habitantes del campamento, su comportamiento es el siguiente:

Cada una de las 4 bombas cuenta con un selector de tres posiciones que permite elegir entre 3 modos de operación que son manual, apagado y automático. Para el accionamiento en modo manual de cada bomba se dispone de un selector de dos

posiciones ON y OFF, la operación automática de cada una de las bombas, se pueden monitorear y controlar desde la interfaz diseñada con Wincc Runtime Advanced, así como en el panel frontal de tablero principal, la operación de fallo de cada una las bombas es la misma en modo manual y automático.

Cuando se gira el selector de 3 posiciones a la posición manual, se habilita la operación manual de la bomba de floculación 1, esta se produce cuando se gira el selector a la posición ON, encendiendo la bomba y la luz piloto de color verde, cuando se gira el selector a la posición OFF se apaga la bomba y la luz piloto, en la figura 21 se puede observar este modo de operación.

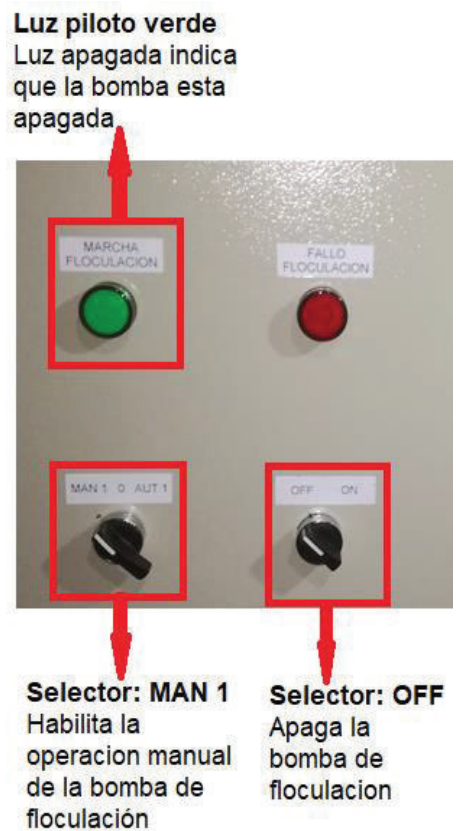


Figura 21. Operación manual de la bomba de floculación

La operación manual de cada una de las 4 bombas es la similar para todas debido a que poseen el mismo sistema de accionamiento y protección.

En la figura 22 se puede observar cuando se activa la protección del guardamotor, se enciende la luz piloto de color rojo y no se apaga hasta revisar la falla que ocasionó su encendido.





**Figura 22. Simulación de fallos de las bombas**

Cuando se gira el selector de 3 posiciones a la posición automático, se habilita la operación automática de la bomba de floculación 1, esta se produce cuando se cierra el contacto del flotador eléctrico de operación porque existe bajo nivel de agua en el tanque de floculación, encendiendo la bomba y la luz piloto de color verde, cuando se abre el contacto del flotador eléctrico porque se llenó el tanque de floculación, se apaga la bomba y la luz piloto; si se vacía la cisterna de agua residual se cierra el contacto del flotador eléctrico de protección y no enciende la bomba, en la figura 23 se puede observar este modo de operación.



**Figura 23. Operación automática de la bomba de floculación**

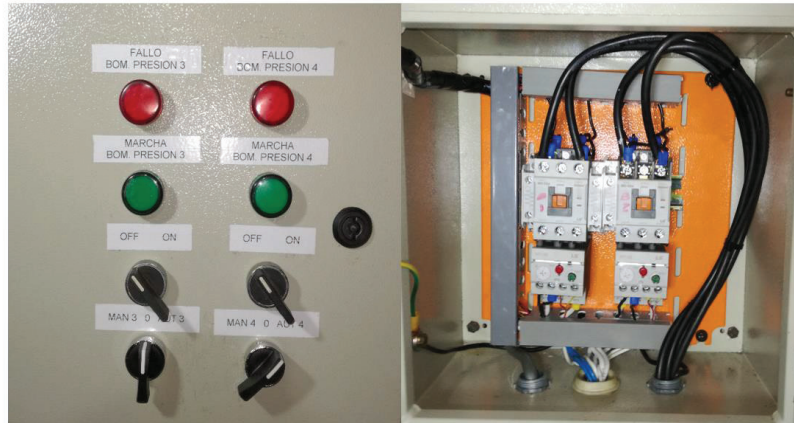
Cuando se gira el selector de 3 posiciones a la posición automático, se habilita la operación automática de la bomba de los ablandadores 2, esta se produce cuando se cierra el contacto del flotador eléctrico de operación porque existe bajo nivel en la cisterna de agua tratada encendiendo la bomba y la luz piloto de color verde, cuando se abre el contacto del flotador eléctrico porque se llenó la cisterna, se apaga la bomba y la luz piloto; si se vacía el tanque de floculación se cierra el contacto del flotador eléctrico de protección y no enciende la bomba, en la figura 24 se puede observar este modo de operación.



**Figura 24. Operación automática de la bomba de ablandamiento**

Se recableo las señales de control del tablero de las bombas de presión y se las llevé hasta el tablero principal donde ese encuentra el PLC para la operación automática de las mismas, ya que de esta manera se integra todo el sistema en una interfaz de monitoreo y control, se realizó dos agujeros más para los selectores de tres posiciones de manual y automático, en la figura 25 se muestra el tablero.





**Figura 25. Tablero de Control de las Bombas de Presión**

En la figura 26 se puede apreciar la operación de las bombas de presión 3 y 4, que operan de forma muy similar, la operación automática de la bomba de presión 3, se produce cuando disminuye la presión en el tanque hidroneumático a 3 (Bar), se activa el presostáto 3 y enciende la bomba y la luz piloto de color verde, una vez compensada la presión hasta 4.4 (Bar), se apaga la bomba y la luz piloto; la bomba de presión 4 se utiliza como respaldo de la bomba de presión 3.

Si se vacía la cisterna de agua tratada se abre el contacto del flotador eléctrico de protección y no se puede arrancar ninguna de las dos bombas de presión,



**Figura 26. Operación automática de la bomba de presión 4**

## **3.4 Implementación del sistema de monitoreo y control**

### **3.4.1 Programación del PLC**

El PLC S7-1200 se programa en la interfaz TIA Portal (Portal de Automatización Totalmente Integrado), la cual posee un software específico para cada aplicación que permite de forma integral la programación y visualización de las variables que intervienen en el proceso de automatización.

Se determinó que los modos de operación manual y automático en cada uno de los motores de las bombas que intervienen en el proceso de purificación de agua en la planta son similares, la única diferencia es el accionamiento, en modo manual habilita el funcionamiento de la bomba el selector de 2 posiciones y en modo automático el que habilita el funcionamiento es el flotador.

Para el caso de las bombas de presión, en modo automático habilita la operación el presostato, razón por la cual a continuación en la figura 27, se detalla una secuencia de funcionamiento general para los motores mediante el uso de un diagrama de flujo.

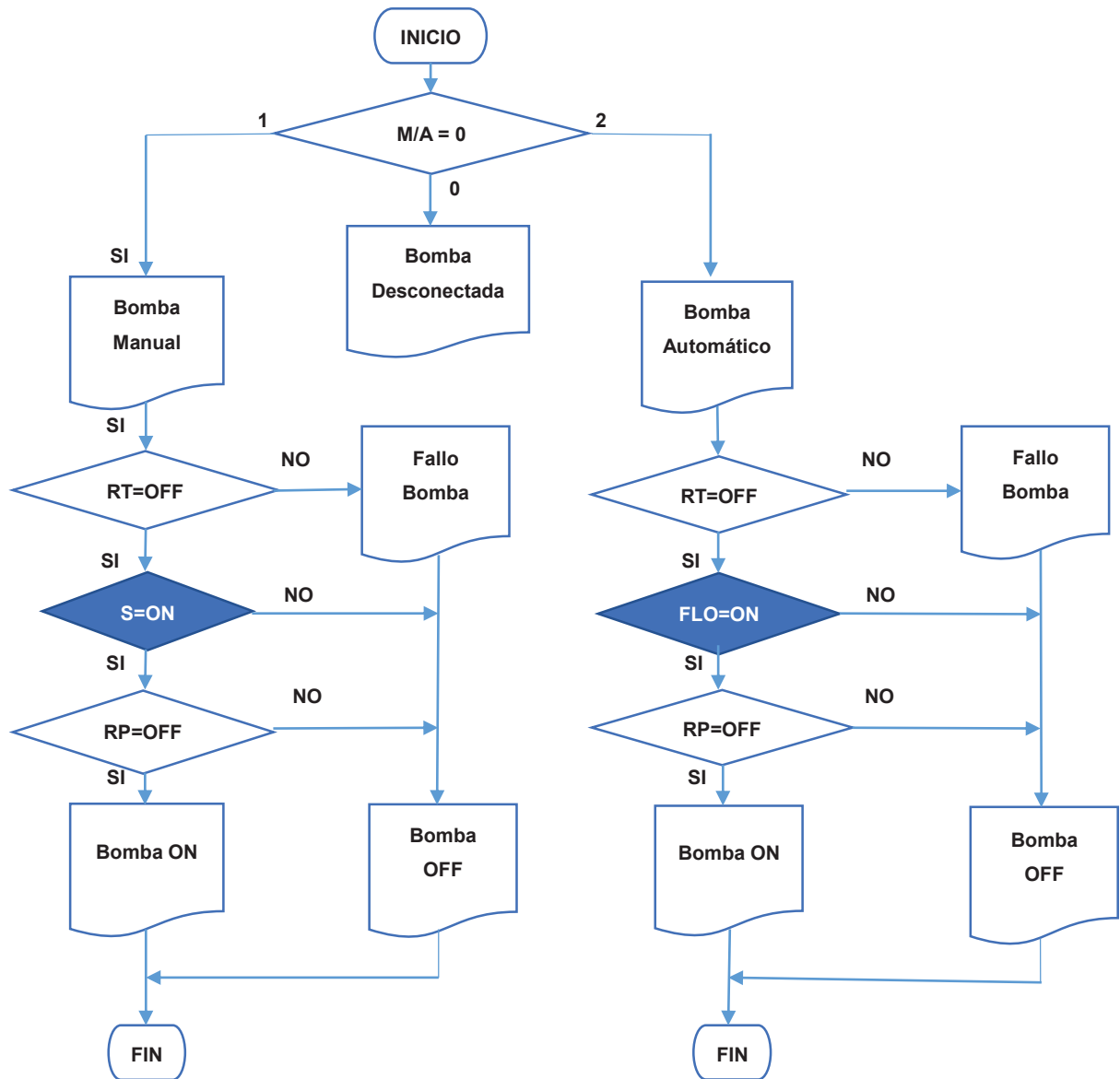


Figura 27. Operación de las bombas de la PTAR

**Terminología utilizada:**

M/A = Manual o Automático

RT = Relé Térmico

S = Selector OFF/ON

FLO = Flotador

PRE = Presostáto

RP = Relé de Protección

Existen 3 modos de operación, los cuales son manual, apagado y automático para cada una de las bombas.

Cuando el selector de 3 posiciones está en modo manual, habilita la operación manual de la bomba, el selector de 2 posiciones enciende o apaga la bomba, para encender la bomba no deben estar habilitadas las protecciones por guardamotor y la protección por bajo nivel de agua.

Si está habilitada la protección del guardamotor se desconecta el circuito de fuerza y enciende la luz de fallo, si está habilitada la protección por bajo nivel de agua, se desconecta la fuerza para que la bomba no arranque sin agua y apaga la bomba.

Cuando el selector de 3 posiciones está en modo automático, habilita la operación automática de la bomba, el flotador enciende o apaga la bomba dependiendo del nivel de agua, para encender la bomba no deben estar habilitadas las protecciones por guardamotor y la protección por bajo nivel de agua.

Si está habilitada la protección del guardamotor se desconecta el circuito de fuerza y enciende la luz de fallo, si está habilitada la protección por bajo nivel de agua, se desconecta la fuerza para que la bomba no arranque sin agua y apaga la bomba.

Las bombas de presión se encienden por la acción de presostátos en el modo de operación automático, para encender las bombas no debe estar habilitada la protección por bajo nivel de agua.

Cada uno de los relés de protección está conectados a los flotadores de protección que habilitan el uso de sus contactos cuando se energiza o no la bobina con 24 (V).

En la figura 28 se muestra el proceso realizado para obtener el nivel de agua residual en la cisterna.

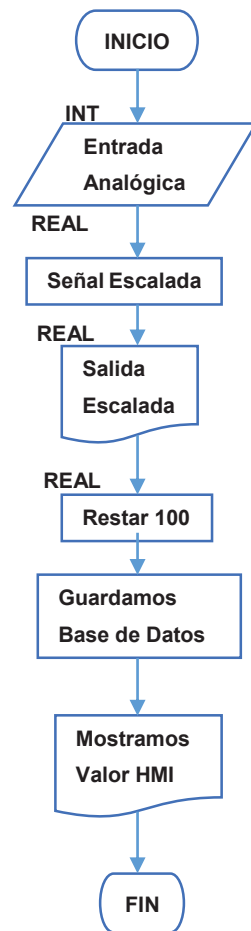


Figura 28. Nivel de agua residual

Se tomó el valor de la señal analógica del sensor de nivel e ingreso al PLC que esta entre 1 y 5 (V) que los limita la resistencia de 250 ( $\Omega$ ), en el primer bloque se convierte el valor de entero a un valor en real, en el segundo bloque se escala la señal, después la salida ya escalada ingresa a un bloque donde se resta de 100, se obtuvo el nivel de agua residual en una escala que va del 0 al 100%.

El valor final es almacenado en una base de datos, donde se accede a la información para consultar el registro de mediciones ejecutadas cada hora por el sensor, finalmente el nivel de agua residual, se observa en la interfaz que se generó con el software Wincc.

Utilizando el software Step 7 que viene incluido en el paquete de programas que

dispone el TIA Portal, se realizó el bloque de programación en lenguaje de escalera, luego de finalizar la programación de todos los elementos que intervienen en el proceso, se transfirió el programa haciendo uso del simulador del PLC para realizar pruebas funcionales en la tabla 7, se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 7. Variables Simuladas**

<b>VARIABLES SIMULADAS</b>			
<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO DE DATOS</b>	<b>DIRECCIÓN</b>	<b>BITS</b>
Flotador Floculación	Bool	%I0.0	habilitado
Flotador Ablandadores	Bool	%I0.1	habilitado
Presostáto 3	Bool	%I0.2	habilitado
Presostáto 4	Bool	%I0.3	habilitado
Relé Térmico 1	Bool	%I0.4	
Relé Térmico 2	Bool	%I0.5	habilitado
Relé Térmico 3	Bool	%I0.6	
Relé Térmico 4	Bool	%I0.7	
Flotador Protección Floculación	Bool	%I1.0	
Flotador Protección Ablandadores	Bool	%I1.1	
Flotador Protección Bombas de Presión	Bool	%I1.2	habilitado
Marcha Bomba Floculación	Bool	%Q0.0	encendida
Marcha Bomba Ablandadores	Bool	%Q0.1	apagada
Marcha Bomba Presión 3	Bool	%Q0.2	apagada
Marcha Bomba Presión 4	Bool	%Q0.3	apagada
Fallo Bomba Floculación	Bool	%Q0.4	
Fallo Bomba Ablandadores	Bool	%Q0.5	encendida
Fallo Bomba de Presión 3	Bool	%Q0.6	
Fallo Bomba de Presión 4	Bool	%Q0.7	

### 3.4.2 Diseño de la Interfaz de Monitoreo

En la figura 29 se puede observar el diseño implementado de la interfaz de monitoreo la cual se realizó con la ayuda del Wincc Runtime Professional.

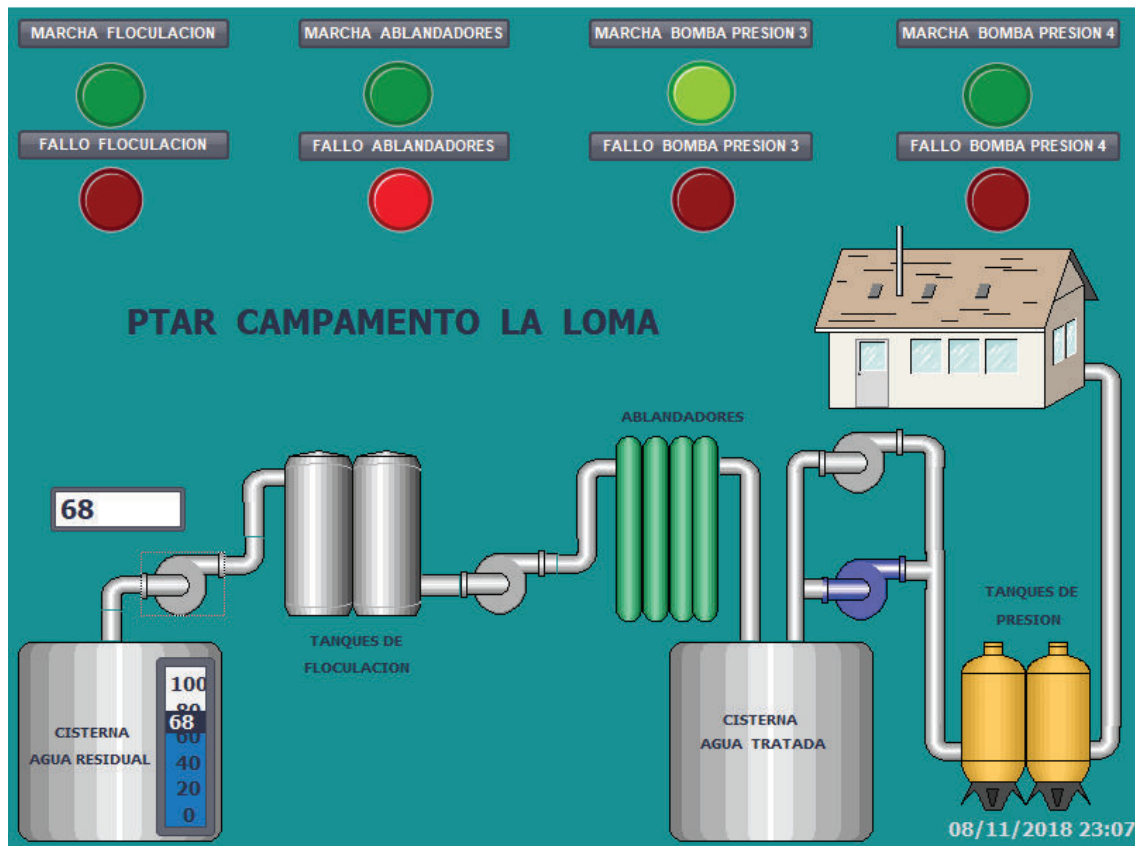
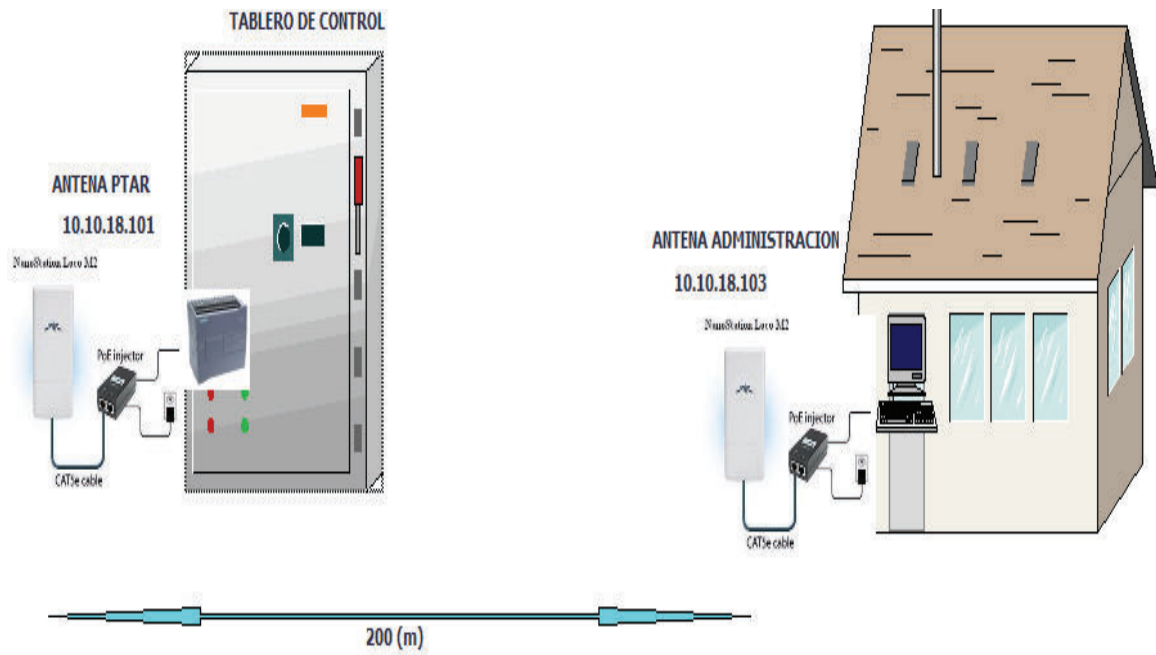


Figura 29. Interfaz de monitoreo y control

Desde este panel se monitorea y controla la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales, la interfaz se comunica con el PLC a través de un radio enlace entre dos antenas direccionales separadas 200 (m) de distancia.

La primera de ellas se encuentra en la PTAR, conectada al PLC que se encuentra en el tablero principal mediante un cable de red, el PLC envía las señales de control utilizando en radioenlace hasta la otra antena que está en la oficina de administración conectada al computador con la interfaz activa, en la figura 30 se puede observar el esquema de conexión de las antenas.



**Figura 30. Esquema de conexión de las antenas**

Cada una de las operaciones que se realiza en la planta se puede observar en la interfaz, ya sea si las bombas arrancaron o si se produce un aviso de falla por la activación de su respectivo relé térmico, también se puede observar que una bomba no se enciende si está habilitada su protección por falta de agua.

### **3.4.3 Creación de la base de datos**

Para la creación de la base de datos de la señal analógica que se obtiene del sensor de nivel ultrasónico, se creó en el TIA Portal un script usando lenguaje C, que permite crear la carpeta y el archivo Excel donde se almacena cada hora los datos de nivel de agua residual en porcentaje y además la fecha y la hora del registro almacenado.

En la tabla 8 se observa los resultados obtenidos en un intervalo de 15 minutos, como ejemplo de la ejecución de script que crea la base de datos.



Tabla 8. Base de Datos

No. DE MUESTRAS	NIVEL DE AGUA RESIDUAL (%)	FECHA Y HORA
1	57.10	30/11/2018 14:38
2	56.49	30/11/2018 14:39
3	56.34	30/11/2018 14:40
4	56.04	30/11/2018 14:41
5	55.71	30/11/2018 14:42
6	55.39	30/11/2018 14:43
7	54.95	30/11/2018 14:44
8	54.79	30/11/2018 14:45
9	54.33	30/11/2018 14:46
10	54.09	30/11/2018 14:47
11	53.41	30/11/2018 14:48
12	53.27	30/11/2018 14:49
13	53.04	30/11/2018 14:50
14	52.75	30/11/2018 14:51
15	52.51	30/11/2018 14:52

### 3.5 Radio Enlace.

Para determinar la banda de frecuencia en la que se trabaja se utilizó la información disponible en la tabla 9.

Tabla 9. Espectro de Radio Frecuencia

ESPECTRO DE RADIO FRECUENCIA				
Nombre	Banda	Frecuencia	Longitud de onda	Uso
		< 3 (Hz)	> 100.000 (Km)	
Extra baja frecuencia	ELF	3 - 30 (Hz)	100.000 - 10.000 (Km)	No se utiliza en radiofrecuencia
Súper baja frecuencia	SLF	30 - 300 (Hz)	10.000 - 1000 (Km)	Comunicaciones submarinas
Ultra baja frecuencia	ULF	300 - 3000 (Hz)	1000 - 100 (Km)	Comunicaciones militares secretas
Muy baja frecuencia	VLF	3 - 30 (KHz)	100 - 10 (Km)	Comunicaciones militares y gubernamentales
Baja frecuencia	LF	30 - 300 (KHz)	10 - 1 (Km)	Comunicaciones aéreas y marítimas
Frecuencia media	MF	300 - 30000 (KHz)	1 (Km) - 100 (m)	Radiodifusión

Alta frecuencia	HF	3 - 30 (MHz)	100 - 10 (m)	Seguridad, defensa, o, corta, radioaficionados
Muy alta frecuencia	VHF	30 - 300 (MHz)	10 - 1 (m)	Televisión, radio FM, aviación, satélites, servicio marítimo
Ultra alta frecuencia	UHF	300 - 3000 (MHz)	1 (m) - 100 (mm)	Televisión, radiotransmisiones uso personal, telefonía móvil, militar
Súper alta frecuencia	SHF	3 - 30 (GHz)	100 - 10 (mm)	Televisión vía satélite, radioenlaces, radar
Extra alta frecuencia	EHF	30 - 300 (GHz)	10 - 1 (mm)	Radioastronomía, radar alta resolución
		> 300 (GHz)	< 1 (mm)	

Fuente: e-educativa.catedu [9]

El radio enlace trabaja en la banda UHF, ya que la frecuencia de banda de las 2 antenas está en 2.4 (GHz), la distancia existente entre las dos antenas es de 200 (m) en un espacio abierto por lo cual no se tiene problemas con la línea de vista.

Para este proyecto se utilizó antenas direccionales, las misma que son capaces de concentrar la mayor parte de la energía radiada de manera localizada, aumentando así la potencia emitida hacia el receptor evitando interferencias introducidas por fuentes no deseadas.

Las antenas direccionales como por ejemplo las antenas Yagi, proporcionan mucho mejor rendimiento que las antenas de dipolo cuando se desea concentrar gran parte de la radiación en una dirección deseada. [10]

La antena está diseñada para operar bajo las condiciones medioambientales más severas. Su construcción de alta calidad permite un fácil ajuste tanto en azimut como en elevación, recomendada para uso en equipos cliente o punto a punto.

El patrón de azimuth es un gráfico de la energía radiada vista directamente desde arriba, al combinar ambas gráficas se tiene una representación tridimensional de cómo es realmente radiada la energía desde la antena, la cual se observa en la figura 31.

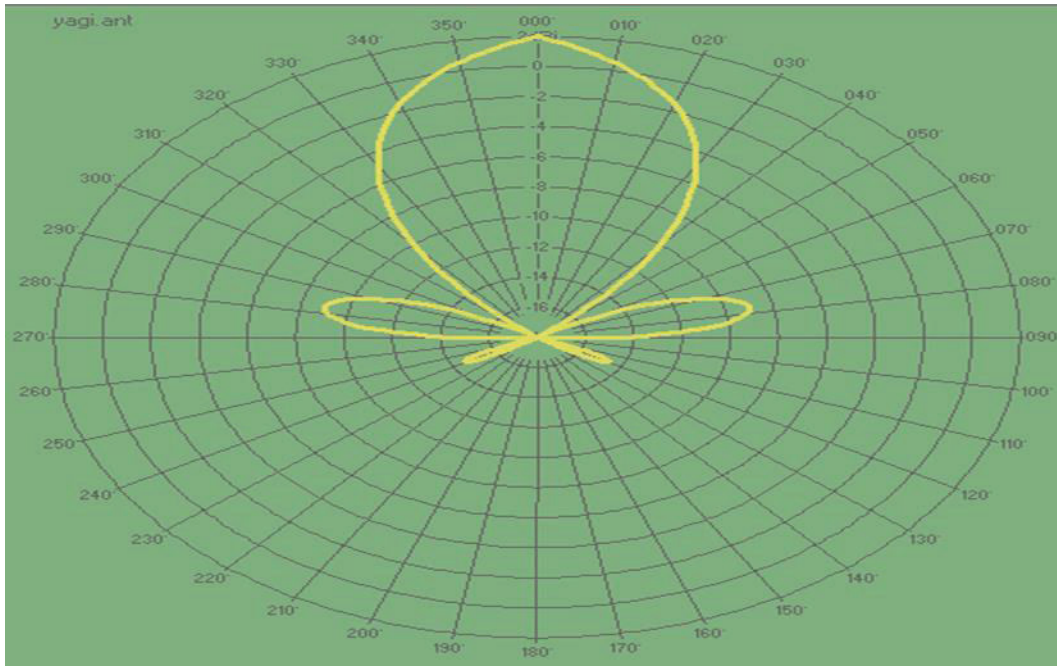


Figura 31. Patrón de azimuth de la antena yagi (Fuente: [11])

### 3.5.1 Simulación de la factibilidad del enlace

El radio enlace implementado entre la PTAR y la oficina de administración, utiliza la topología punto a punto siendo el PLC el punto maestro y por otra parte el computador como esclavo, que recibe y ejecuta en el software las órdenes provenientes del PLC.

Se utilizó la información disponible en Google Earth, para establecer la distancia real la cual es de 200 metros, en la figura 32 se observa dicha distancia.



Figura 32. Distancia entre transmisor y receptor (Fuente: [12])

Google Earth también permite conocer con anticipación el perfil del enlace entre la PTAR y la oficina de administración, en la figura 33 se muestra el perfil topográfico de los dos puntos cada uno de ellos con sus respectivas alturas.

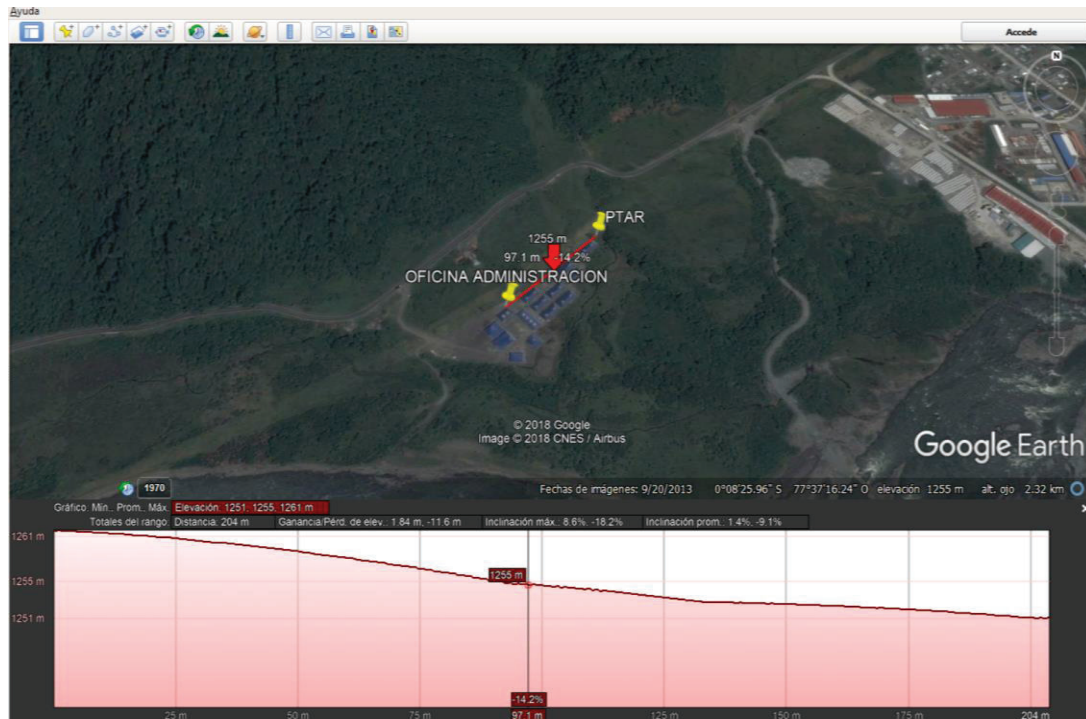


Figura 33. Perfil topográfico PTAR - Oficina de Administración (Fuente: [12])

Radio Mobile es un software de simulación libre, que permite simular radioenlaces que operan en el rango de 20 (MHz) a 20 (GHz), de esta manera podemos simular el enlace que trabaja en los 2.4 (GHz) y usar este software sin ningún problema.

La principal característica de este programa es que usa cartografía y mapas obtenidos de los satélites, este software entrega información muy útil como pérdidas de propagación, despeje de la zona de Fresnel.

Con la información ofrecida por Radio Mobile es más fácil conocer en qué dirección se deben apuntar las antenas, en este proyecto se usan antenas directivas que necesitan línea de vista y deben estar bien alineadas, permitiendo enfocar toda la potencia irradiada hacia la otra antena.

En Radio Mobile también se puede variar las alturas a las que deben estar instaladas las antenas para obtener una altura ideal para cada sitio, que permite despejar la primera zona de Fresnel, la cual es muy importante para poder obtener un enlace estable.

En la tabla 10 se observa las coordenadas de cada punto que fueron obtenidas de Google Earth, es por esto que los perfiles mostrados en Google Earth, así como el de Radio Mobile son similares.

**Tabla 10. Coordenadas de los puntos a enlazar**

<b>Punto</b>	<b>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</b>	
	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
PTAR	0° 8'23.85"S	77°37'14.02"O
Oficina de Administración	0° 8'28.35"S	77°37'18.68"O



Cuando se finalizó la configuración del radio enlace, se ingresó las coordenadas obtenidas en el software Radio Mobile, se obtuvo los siguientes resultados, los cuales se observan en la figura 34, aquí se despliega el radio enlace donde se observa la zona de Fresnel totalmente despejada, además se observa datos como la dirección en la que apuntan las antenas el patrón de radiación de cada una de ellas, alturas, las pérdidas etc.

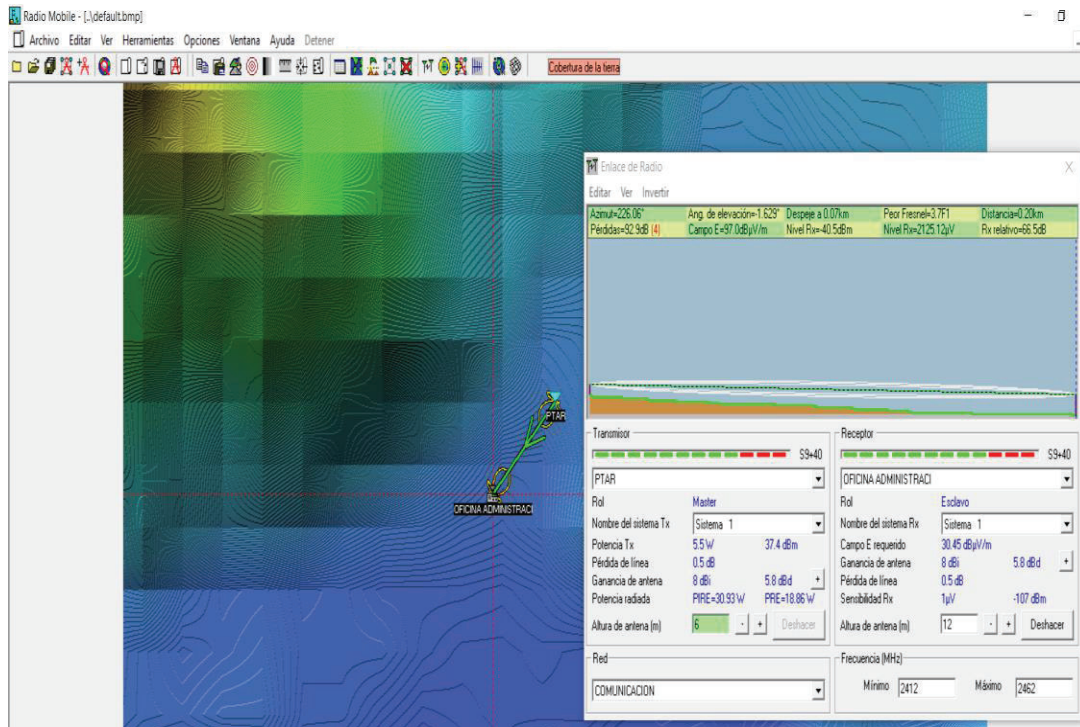


Figura 34. Simulación radio enlace (Fuente: [11])

Luego de realizar la simulación del radio enlace se exportó el archivo al Google Earth para obtener una vista más real en tercera dimensión, determinando de esta manera la total factibilidad del radio enlace, en la figura 35 se observa lo descrito anteriormente.

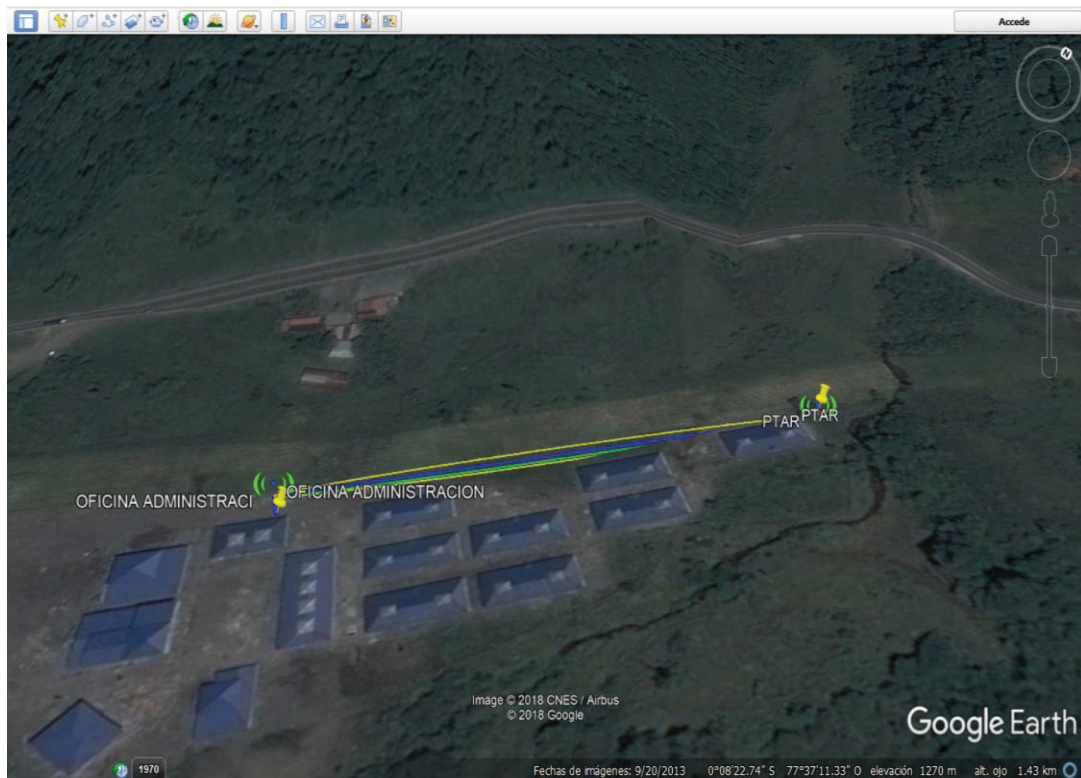


Figura 35. Factibilidad del radio enlace (Fuente: [12])

### 3.5.2 Configuración de las antenas

La configuración de las antenas se la realizó con la interfaz que posee el fabricante vía conexión IP, aquí se estableció el nombre de la red que se denomina PTAR y la seguridad WPA2 (Acceso Wi-Fi Protegido 2), también se configuró la IP de cada antena ya que son parámetros necesarios para establecer el radio enlace.

La IP asignada a la antena que acompaña al PLC es 10.10.18.101 y se asignó la 10.10.18.103 a la antena que va con el computador.

Los resultados obtenidos luego de la configuración de radio enlace se observan en la figura 36, además de esto se puede visualizar la intensidad de señal de cada una de ellas y como transmiten tanto emisor como receptor.

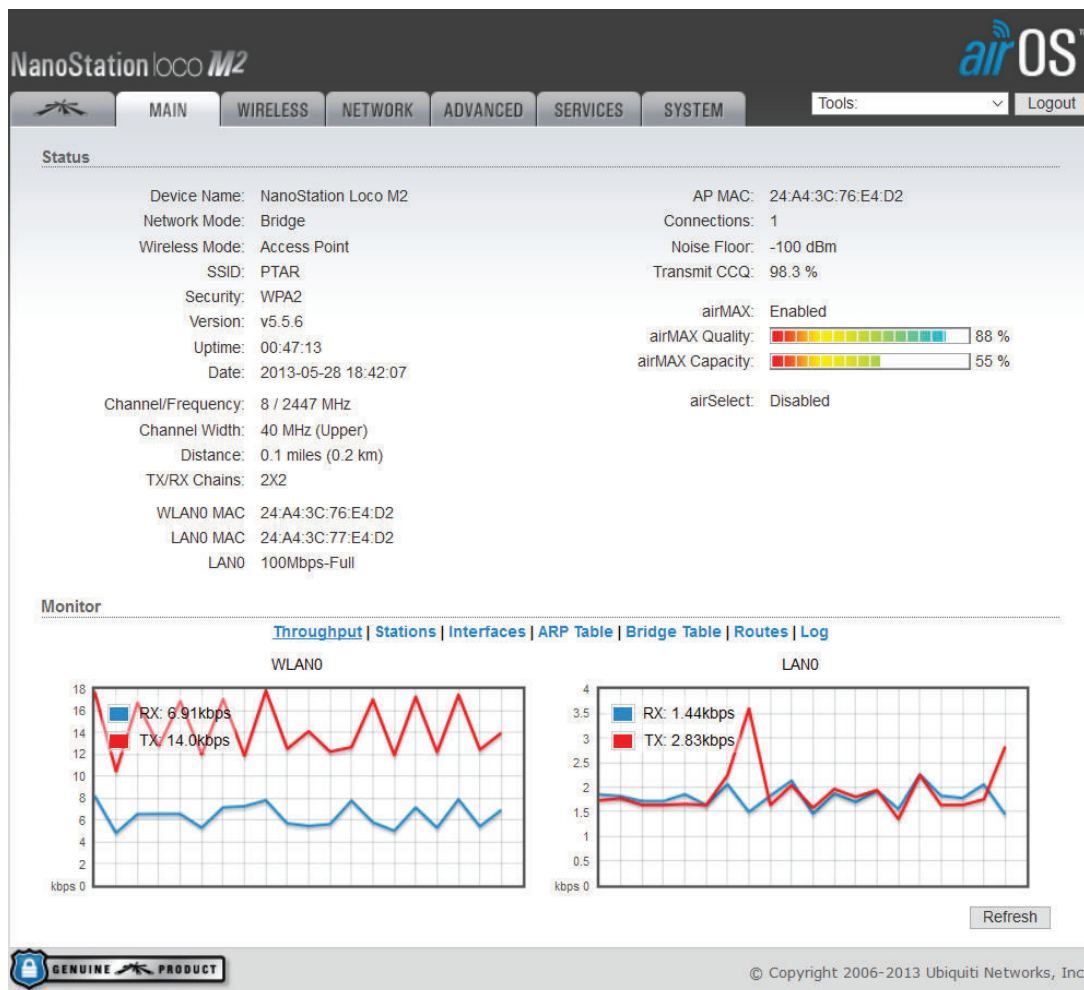


Figura 36. Configuración wireless esclavo (Fuente: [13])

### 3.6 Pruebas y análisis de resultados

Una vez cumplidos los objetivos planteados se procedió a realizar las pruebas necesarias para garantizar el correcto funcionamiento de sistema implementado.

#### 3.6.1 Pruebas de operación mecánica de los elementos

Las pruebas de operación mecánica, se las realizo manipulando cada dispositivo de protección y accionamiento para observar su comportamiento dentro de la operación de la planta, en la tabla 11 se observa los resultados.



Tabla 11. Operación mecánica de los dispositivos

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
Q0, Q1, Q2, Q3, Q4, Q5	Cierre y apertura de polos de los breakers	cumple
RT1, RT2, RT3, RT4	Cierre y apertura de los contactos de los guardamotores	cumple
M/A1, M/A2, M/A3, M/A4	Cierre y apertura los contactos NA de los selectores de 3 posiciones	cumple
S1, S2, S3, S4	Cierre y apertura los contactos NA de los selectores de 2 posiciones	cumple
RFL, RAB, RPR	Cierre y apertura los contactos NA y NC de los relés de 24 (V)	cumple
RB1, RB2, RB3, RB4,	Cierre y apertura los contactos NA de los relés de 220 (V)	cumple
FLO, ABL	Cierre y apertura los contactos NA de los flotadores	cumple
P3, P4	Cierre y apertura los contactos NA de los presostátos	cumple

Como resultado de las pruebas mecánicas se determinó que todos los elementos operan correctamente, lo cual asegura la operación de toda la planta.

### 3.6.2 Pruebas de continuidad del cableado

Las pruebas de continuidad, se realizaron con el uso de un multímetro digital comprobando la distribución del cableado interno y externo en cada uno de los puntos de conexión de todos los componentes electromecánicos, en la tabla 12, se observa las pruebas realizadas al circuito de control.

Tabla 12. Revisión de continuidad en el circuito de control

PRUEBAS DE CONTINUIDAD EN EL CIRCUITO DE CONTROL		
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
Q1, Q2, Q3, Q4, Q5	Puntos de conexión de los breakers	cumple
RT1, RT2, RT3, RT4	Contactos NC y NA de los guardamotores	cumple
M/A1, M/A2, M/A3, M/A4	Contactos NA de los selectores de 3 posiciones	cumple
S1, S2, S3, S4	Contactos NA de los selectores de 2 posiciones	cumple
RFL, RAB, RPR	Contactos NC y NA de los relés de protección de 24 (V)	cumple

<b>RB1, RB2, RB3, RB4,</b>	Contactos NA de los relés de 220 (V) de las bombas	cumple
<b>X1, X2, X3, X4</b>	Puntos de conexión de las luces de funcionamiento	cumple
<b>F1, F2, F3, F4</b>	Puntos de conexión de las luces de fallo	cumple
<b>KM1, KM2, KM3, KM4,</b>	Puntos de conexión de las bobinas de los contactores	cumple
<b>FLO, ABL</b>	Contactos NA de los flotadores de floculación y ablandamiento	cumple
<b>P3, P4</b>	Contactos NA de los presostátos 3 y 4	cumple
<b>SENSOR DE NIVEL</b>	Puntos de conexión y alimentación al sensor de nivel	cumple

De la misma forma se realizó las pruebas de continuidad al cableado del circuito de fuerza, los resultados se observan en la tabla 13.

**Tabla 13. Revisión de continuidad en el circuito de fuerza**

	<b>PRUEBAS DE CONTINUIDAD EN EL CIRCUITO DE FUERZA</b>	
<b>SIMBOLOGÍA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RESULTADOS</b>
<b>Q0</b>	Puntos de conexión de los breaker principal	cumple
<b>RT1, RT2, RT3, RT4</b>	Puntos de conexión de los guardamotores	cumple
<b>KM1, KM2, KM3, KM4</b>	Puntos de conexión de los contactores	cumple
<b>U1, V1, W1</b>	Borneras de conexión de los motores	cumple

El cableado hacia a cada uno de los elementos cumplió con el requisito de continuidad por lo que este sistema es idóneo y no presenta problemas.

### **3.6.3 Pruebas de funcionamiento de los tableros**

Finalmente se realizó las pruebas de funcionamiento del tablero de control principal y del tablero de las bombas de presión, la prueba se realizó en los dos modos de operación manual y automático, en la tabla 14 se observa los resultados obtenidos.

Tabla 14. Pruebas de funcionamiento manual y automático

TIPO DE OPERACIÓN	ACCIONAMIENTO	ESTADOS	RESULTADOS
<b>Selector de 3 P</b>	<b>Selector de 2 P</b>	<b>Bomba de Floculación</b>	
MAN 1	OFF	Apagada	cumple
MAN 1	ON	Encendida	cumple
0	Deshabilita Manual y Automático	Apagada	cumple
<b>Selector de 3 P</b>	<b>Flotador Floculación</b>	<b>Bomba de Floculación</b>	
AUT 1	OFF	Apagada	cumple
AUT 1	ON	Encendida	cumple
<b>Selector de 3 P</b>	<b>Selector de 2 P</b>	<b>Bomba de Ablandadores</b>	
MAN 2	OFF	Apagada	cumple
MAN 2	ON	Encendida	cumple
0	Deshabilita Manual y Automático	Apagada	cumple
<b>Selector de 3 P</b>	<b>Flotador Ablandadores</b>	<b>Bomba de Ablandadores</b>	
AUT 2	OFF	Apagada	cumple
AUT 2	ON	Encendida	cumple
<b>Selector de 3 P</b>	<b>Selector de 2 P</b>	<b>Bomba de Presión 3</b>	
MAN 3	OFF	Apagada	cumple
MAN 3	ON	Encendida	cumple
0	Deshabilita Manual y Automático	Apagada	cumple
<b>Selector de 3 P</b>	<b>Presostáto 3</b>	<b>Bomba de Presión 3</b>	
AUT 3	OFF	Apagada	cumple
AUT 3	ON	Encendida	cumple
<b>Selector de 3 P</b>	<b>Selector de 2 P</b>	<b>Bomba de Presión 4</b>	
MAN 4	OFF	Apagada	cumple
MAN 4	ON	Encendida	cumple
0	Deshabilita Manual y Automático	Apagada	cumple
<b>Selector de 3 P</b>	<b>Presostáto 4</b>	<b>Bomba de Presión 4</b>	
AUT 4	OFF	Apagada	cumple
AUT 4	ON	Encendida	cumple

Se realizó también las pruebas de funcionamiento de las luces de fallo, usando el botón de test que posee cada guardamotor, se realizó las pruebas de funcionamiento a los flotadores de protección, para verificar su operación al desconectar las bombas por falta de agua, en la tabla 15 se observa los resultados obtenidos.

Tabla 15. Pruebas de funcionamiento de guardamotores y flotadores de bajo nivel

ACCIONAMIENTO	ESTADOS		RESULTADOS
<b>Botón de Test Guardamotor</b>	<b>Bomba de Floculación</b>	<b>Luz de Fallo</b>	
OFF	Habilita Manual y Automático	Apagada	cumple
ON	Apagada	Encendida	cumple
<b>Flotador de Protección Floculación</b>	<b>Bomba de Floculación</b>		
OFF	Habilita Manual y Automático	Habilita Manual y Automático	cumple
ON	Apagada	Deshabilita Manual y Automático	cumple
<b>Botón de Test Guardamotor</b>	<b>Bomba de Ablandadores</b>	<b>Luz de Fallo</b>	
OFF	Habilita Manual y Automático	Apagada	cumple
ON	Apagada	Encendida	cumple
<b>Flotador de Protección Ablandadores</b>	<b>Bomba de Ablandadores</b>		
OFF	Habilita Manual y Automático	Habilita Manual y Automático	cumple
ON	Apagada	Deshabilita Manual y Automático	cumple
<b>Botón de Test Guardamotor</b>	<b>Bomba de Presión 3</b>	<b>Luz de Fallo</b>	
OFF	Habilita Manual y Automático	Apagada	cumple
ON	Apagada	Encendida	cumple
<b>Flotador de Protección Bombas de Presión</b>	<b>Bomba de Presión 3</b>		
OFF	Habilita Manual y Automático	Habilita Manual y Automático	cumple

ON	Apagada	Deshabilita Manual y Automático	cumple
<b>Botón de Test Guardamotor</b>	<b>Bomba de Presión 4</b>	<b>Luz de Fallo</b>	
OFF	Habilita Manual y Automático	Apagada	cumple
ON	Apagada	Encendida	cumple
<b>Flotador de Protección Bombas de Presión</b>	<b>Bomba de Presión 4</b>		
OFF	Habilita Manual y Automático	Habilita Manual y Automático	cumple
ON	Apagada	Deshabilita Manual y Automático	cumple

Como resultados de las pruebas de funcionamiento efectuadas, se determinó que todos los elementos trabajan de forma efectiva, asegurando la operatividad de la planta de tratamiento.

### 3.6.4 Pruebas de latencia al radio enlace.

La prueba de latencia, se realizó para determinar los tiempos que se tardan en transmitir los paquetes dentro de la red PTAR, la cual se realizó ejecutando el comando (ping) en el CMD (Símbolo del Sistema) a cada una de la direccione IP que conforman la red, en la tabla 16 se observan los resultados.

Tabla 16. Pruebas de Latencia

DISPOSITIVO	DIRECCIÓN (IP)	COMANDO EJECUTADO	TIEMPO DE RESPUESTA MEDIO (ms)
PLC	10.10.18.100	ping 10.10.18.100	1
ANTENA PLC	10.10.18.101	ping 10.10.18.101	1
COMPUTADOR	10.10.18.102	ping 10.10.18.102	0
ANTENA COMPUTADOR	10.10.18.103	ping 10.10.18.103	0

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- El tablero de control principal de la PTAR, cumplió todos los requerimientos y necesidades del operador y los habitantes del campamento la Loma.
- El cableado de control que va desde el tablero de las bombas de presión, al tablero principal permitió centralizar la automatización de la planta utilizando el PLC.
- Se pudo verificar después de la prueba realizada, que la interfaz de monitoreo y control funciona correctamente ya que todas las acciones que ejecuta la planta en modo automático se pueden observar remotamente.
- La construcción del sistema manual y automático sirve para aislar cada bomba ya sea por un mantenimiento preventivo o correctivo, sin ocasionar la parada total de la planta.
- Los elementos de visualización en el tablero y en la interfaz, sirven para observar el funcionamiento del sistema ya sea erróneo o correcto, sin necesidad de realizar pruebas.
- Los flotadores de protección por falta de agua, ofrecen seguridad a los motores de las bombas debido a que impiden el arranque de las mismas, evitando cualquier daño ocasionado por trabajar en vacío.
- Las pruebas realizadas a los elementos de los tableros determinan, que estos se encuentran en condiciones correctas por lo que el sistema funcionará adecuadamente, de tal manera se garantiza el suministro de agua al campamento.
- Las pruebas de comunicación realizadas entre las antenas garantizan el perfecto funcionamiento de la interfaz de monitoreo y control, debido a que las velocidades de transmisión y los tiempos de respuesta son buenos.
- El PLC seleccionado cumplió con todas las necesidades que se implementó en el proyecto, incluso permitiendo a futuro integrar más variables para mejorar el funcionamiento de la planta.

## 4.2 Recomendaciones

- Reemplazar la válvula manual de 4 (pulg), por una válvula motorizada que realice el llenado automático de la cisterna de agua residual.
- No descuidar la operación de la planta, porque se cuente con una interfaz de control y monitoreo, por el contrario estar alerta de cualquier situación que cause problemas al normal funcionamiento de la planta.
- Revisar periódicamente el nivel de los químicos inyectados y la operación continua de las bombas dosificadoras que garanticen la calidad del agua tratada.
- Realizar el reajuste y lubricación de los elementos internos periódicamente para evitar contactos flojos y corrosión en los mismos.
- Seguir las instrucciones del manual de mantenimiento en los periodos establecidos para evitar el mantenimiento correctivo de algún elemento específico del tablero.
- Verificar periódicamente el estado físico y la intensidad de señal de cada una de las antenas para garantizar las comunicaciones.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] AGUASRESIDUALES.INFO, «[www.aguasresiduales.info](http://www.aguasresiduales.info),» 2018. [En línea]. Available: <https://www.aguasresiduales.info/revista/videos/la-ptar-de-atotonilco-en-mexico-una-de-las-mas-grande-del-mundo-cumple-1-ano-de-vida--1c35s>.
- [2] BNamericas, «[www.bnamericas.com](http://www.bnamericas.com),» [En línea]. Available: <https://www.bnamericas.com/company-profile/es/consorcio-ptar-las-esclusas-guayaquil-consorcio-ptar-las-esclusas-guayaquil>.
- [3] CTIN, «<http://www.ctinmx.com>,» 25 10 2013. [En línea]. Available: <http://www.ctinmx.com/que-es-un-plc/>.
- [4] intertek, «[www.intertek.es](http://www.intertek.es),» [En línea]. Available: <http://www.intertek.es/iluminacion/ip-ingress-protection-iec-60529/>.
- [5] Scheider Electric, «[www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com),» [En línea]. Available: <https://www.schneider-electric.com.co/es/faqs/FA336513/>.
- [6] S. y. Servicios, «[www.solucionesyservicios.biz](http://www.solucionesyservicios.biz),» [En línea]. Available: <https://www.solucionesyservicios.biz/SIMATIC-S7-1200-CPU-1214C-DC/DC/DC>.
- [7] W. Tienda, «[wifi.tienda](http://wifi.tienda),» [En línea]. Available: <https://wifi.tienda/ubiquiti/98-ubiquiti-nanostation-loco-m2-0033585518776.html>.
- [8] R. delivers, «[in.rsdelivers.com](http://in.rsdelivers.com),» 2013. [En línea]. Available: <https://in.rsdelivers.com/product/turck-banner/t30uxibq8/turck-banner-ultrasonic-sensor-block-m12-20-200/8487225>.
- [9] e. catedu, «[e-educativa.catedu.es](http://e-educativa.catedu.es),» [En línea]. Available: [http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3233/html/3\\_aplicacion\\_es\\_de\\_las\\_ondas\\_electromagneticas\\_telecomunicaciones.html](http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3233/html/3_aplicacion_es_de_las_ondas_electromagneticas_telecomunicaciones.html).
- [10] W. Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electronicas, Mexico: Paerson Educacion, 2003.
- [11] r. mobile, «[www.ve2dbe.com](http://www.ve2dbe.com),» [En línea]. Available: <http://www.ve2dbe.com/rmonline.html>.
- [12] g. earth, «[www.google.com](http://www.google.com),» [En línea]. Available: <https://www.google.com/earth/>.
- [13] A. OS, «[www.ui.com](http://www.ui.com),» [En línea]. Available: <https://www.ui.com/airmax/airos7/>.
- [14] J. Valverde, Historia de los Microcontroladores y sistemas micro procesados, Escuela Politecnica Nacional, Folleto 2006.



# ANEXOS

## ANEXO A: CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DEL TABLERO

CORPORACIÓN ELÉCTRICA  
DEL ECUADOR

MINISTERIO DE ELECTRICIDAD  
Y ENERGÍA RENOVABLE



### CERTIFICACIÓN

Yo, René Morales C., Jefe de la Central Coca Codo Sinclair, certifico que he constatado el correcto funcionamiento de la implementación de un sistema de comunicación para el monitoreo y control de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campamento la Loma de la Central Coca Codo Sinclair, realizado por el Sr. Patricio Iván Calderón Tacuri CI. 1714567300, el sistema implementado cumple con los requerimientos y normas de seguridad necesarias para garantizar el suministro constante de agua para la utilización en el Campamento La Loma.

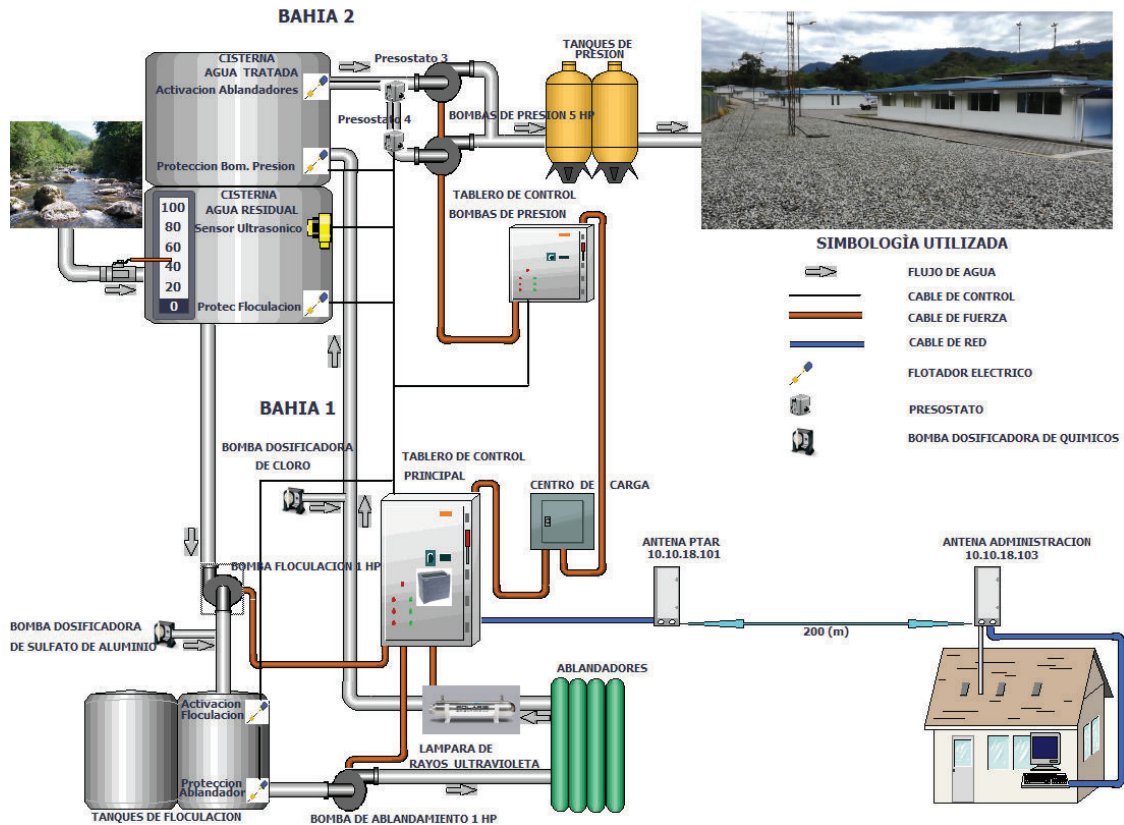
El presente documento servirá para certificar ante la Escuela Politécnica Nacional-Escuela de Formación de Tecnólogos.

**Atentamente,**

**RENÉ MORALES CARDOZO**  
**JEFFE DE LA CENTRAL COCA CODO SINCLAIR**

# ANEXO B: MANUAL DE OPERACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL

## SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL (PTAR) CAMPAMENTO LA LOMA



La operación de la planta funciona de la siguiente manera, el agua del río se almacena en la cisterna de agua residual, este proceso se lo realiza de forma manual mediante una válvula de paso de 4 (pulg), es por esta razón que se instaló el sensor de nivel ultrasónico en la cisterna para visualizar el nivel de agua.

De esta manera cuando se aproxima el llenado de la cisterna el operador cierra la válvula e impide el derrame de agua, por otra parte cuando está por terminar el volumen útil de agua que dispone la cisterna procede nuevamente con el llenado de la misma.

Se denomina tanques de floculación porque en esta etapa se inyecta sulfato de aluminio al agua residual que viene del río, con la ayuda de una pequeña bomba dosificadora de químicos, haciendo que las partículas de mayor tamaño se depositen en el fondo de estos tanques.

Cuando existe bajo nivel de agua en los tanques de floculación se cierra el flotador, encendiendo la bomba de floculación hasta llenar los tanques nuevamente con el agua extraída de la cisterna, si se vacía totalmente la cisterna de agua residual por algún motivo ya sea este de limpieza o descuido del operador, se habilita la protección por falta de agua con otro flotador que se encuentra en la cisterna, de esta manera corta la alimentación a la bomba para que ella no arranque.

Se denomina ablandadores ya que en estos tanques, se produce un intercambio iónico entre el agua y las sales que se encuentran en su interior, reduciendo la dureza del agua este proceso es automático ya que cada tanque cuenta con una válvula automática que realiza el proceso.

Cuando existe bajo nivel en la cisterna de agua tratada se cierra el flotador, encendiendo la bomba de ablandadores para extraer agua desde los tanques de floculación para abastecer a los ablandadores y estos realicen su función sin problemas, si por algún motivo se vacía los tanques de floculación, se habilita la protección por falta de agua con otro flotador ubicado en los tanques de floculación para que la bomba no arranque.

Luego de salir el agua de los ablandadores pasa por una lámpara de rayos ultravioleta que elimina casi el 99 % de agentes patógenos, después con otra bomba dosificadora de químicos se inyecta cloro antes de que vaya a la cisterna de agua residual para su desinfección total.

Con la ayuda de 2 bombas de 5 (HP) y 2 tanques hidroneumáticos, se eleva la presión del agua tratada para distribuir al comedor y las 128 habitaciones con las que cuenta el campamento.

La bomba de presión 4, trabaja como respaldo de la bomba de presión 3, cuando exista algún problema con la misma, cada uno de los presostátos esta calibrado a presiones distintas para el encendido y apagado de las bombas.

Si se vacía la cisterna de agua tratada, se habilita la protección por falta de agua evitando que las dos bombas de presión arranquen, pudiendo ocasionar el daño de las mismas.

El presente manual de operación permite al usuario reconocer los elementos y el papel que desempeñan dentro del tablero ya sea para acciones de control o de fuerza

## Elementos y funcionamiento del tablero

Existen dos modos de operación, modo manual y modo automático el mismo que se aplica a las 4 bombas que intervienen en el proceso de la purificación del agua.

### OPERACIÓN AUTOMÁTICA DE LAS BOMBAS

**Luz piloto verde**  
Luz encendida indica el funcionamiento de la bomba se activo el flotador



**Selector: Posición AUT 1**  
Habilita la operacion automatica de la bomba de floculacion.

**Luz piloto verde**  
Luz apagada indica que la bomba esta apagada no esta activo el flotador



**Selector: Posición AUT 2**  
Habilita la operación automática de la bomba de ablandamiento



**Luz piloto verde**  
Luz encendida indica el funcionamiento de la bomba se activo el presostato

**Selector: Posición AUT 4**  
Habilita la operación automática de la bomba de presión 4

## OPERACIÓN MANUAL DE LAS BOMBAS

**Luz piloto verde**  
Luz encendida indica el funcionamiento de la bomba

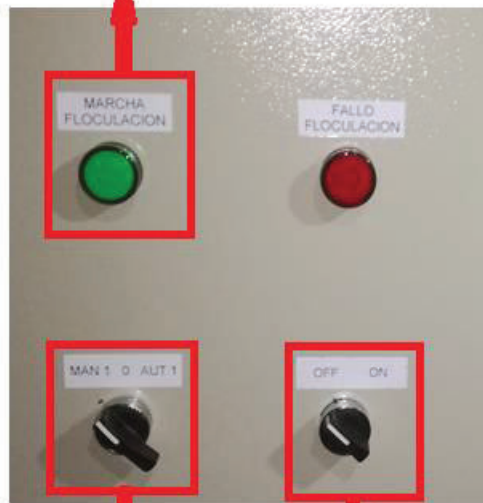


**Selector: MAN 1**  
Habilita la operación manual de la bomba de ablandamiento.

**Selector: ON**  
Enciende la bomba de ablandamiento



**Luz piloto verde**  
Luz apagada indica que la bomba esta apagada



**Selector: MAN 1**  
Habilita la operacion manual de la bomba de floculación

**Selector: OFF**  
Apaga la bomba de floculacion

**Luz piloto verde**  
Luz apagada indica que la bomba esta apagada porque el selector de 2 posiciones esta en OFF



**Selector: Posición MAN 3**  
Habilita la operacion manual de la bomba de presión 3

## SIMULACIÓN DE FALLOS EN LAS BOMBAS



Para la simulación de fallos se hizo uso del botón de **(TEST)** que viene en cada guardamotor.



## **ANEXO C: MANUAL DE MANTENIMIENTO**

Guía de mantenimiento preventivo:

### **1. Revisar los contactores de tablero de control principal y del tablero de control de las bombas de presión cada 3 meses.**

Llevar un registro de las mediciones de resistencia realizadas a las bobinas de los contactores y de ser posible verificar visualmente el estado de las mismas, cuando se enclave el contactor medir el voltaje en los terminales de los contactos de fuerza para apreciar si existe algún desgaste.

### **2. Revisar los elementos de protección cada 6 meses.**

Se comprueba mediante el accionamiento del mismo pero sin energizar para realizar pruebas de continuidad con un multímetro.

Realizar reajuste y lubricación de los contactos de breakers para garantizar que no existan contactos flojos que produzcan calentamiento en terminales y corrosión en los mismos.

### **3. Mantenimiento de selectores de 2 y 3 posiciones cada 6 meses.**

Girar el selector a cada una de las posiciones con las que cuenta y verificar cierre y apertura de contactos.

### **4. Verificar el funcionamiento de las luces piloto.**

Las luces piloto son de tipo LED, es por esto que no se puede determinar un tiempo específico para realizar el mantenimiento de las mismas, por eso cuando una se avería es mejor el reemplazarla que darla mantenimiento.



## **5. Mantenimiento preventivo del tablero cada 3 meses**

Realizar reajuste y lubricación de todos los contactos presentes en el tablero, realizar una limpieza total para eliminar la acumulación de polvo en su interior.

## **6. Chequeo de radio enlace**

Si existe algún inconveniente con la comunicación, lo primero a realizar en el intérprete de comandos del computador, es hacerle un ping a cada una de las direcciones IP de las antenas para observar su respuesta.